



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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



Araştırma Makalesi

Rüzgâr Enerji Santrallerinin Kuruluş Yeri Seçiminde CBS, Çok Kriterli Karar Verme Analizi ve Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılması: Kastamonu ili Örneği

Bekir TAŞTAN^{*1}, Emin Ziya BOZKAN²

¹Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 37150, Kastamonu, Türkiye

²Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü Lisans Öğrencisi, 37150, Kastamonu, Türkiye

*Sorumlu yazar e-posta: bekirtastan@kastamonu.edu.tr

Öz: İnsan nüfusunun hızla artması birçok problemi ortaya çıkarmaktadır. Bu problemlerden birisi temiz, ucuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan erişimdir. Rüzgâr gücünün dünyanın hemen her yerinde bulunması ve erişiminin de diğer enerji kaynaklarına göre daha kolay olması bu kaynağa olan talebi artırmaktadır. Bu talebi karşılayabilmek için santral kurulumuna uygun yerleri tespit edebilecek araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Kastamonu İl'inde çok kriterli karar verme analizlerinden AHP ve bulanık mantık yöntemleri kullanarak rüzgâr enerji santrali (RES) kurulumu yer seçimi analizi gerçekleştirilmiştir. Parametrelerin birbirine göre önem derecelerinin belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. Sonrasında çalışma sahasının niteliklerine ve RES kurulum yeri şartlarına göre parametre alt sınıfları oluşturulmuş ve yeniden sınıflandırılmıştır. Ağırlıklandırılan parametre alt sınıflarına bulanık mantık üyelik değerleri atanmıştır. Ağırlıklı çakıştırma yöntemi hem AHP hem de bulanık üyelik sınıfları için kullanılmıştır. Sonuçta iki farklı uygunluk değer haritası üretilmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre Kastamonu İl'inin rüzgâr enerji santrali kurulumu uygunluk yerleri ilin kuzeyinde yoğunlaşmaktadır. Cide, Doğanyurt, Devrekani, Bozkurt ve Pınarbaşı ilçelerinde RES santrali kurulumuna uygun yerler bulunmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar rüzgâr enerjisi potansiyeli (REPA) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların REPA atlasındaki bulgularla büyük ölçüde benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma alanı için yer seçimi analizinde bulanık mantık yönteminin kullanılmasının literatüre katkı sunacağı kanaatindeyiz.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi yöntemi (AHP), Bulanık mantık, Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Rüzgâr enerji santrali

The Use of GIS, Multi-Criteria Decision-Making Analysis, and Fuzzy Logic Method for Site Selection of Wind Power Plants: The Case of Kastamonu Province

Abstract: The growing human population presents numerous challenges, one of the most significant being the need for access to affordable, clean, and renewable energy sources. Wind power is increasingly favoured over other energy sources due to its widespread availability and accessibility around the globe. To meet this demand, it is essential to conduct research that identifies optimal locations for constructing wind power plants (WPPs). This study uses fuzzy logic and the Analytical Hierarchy Process (AHP) to analyze site selection for WPPs in Kastamonu Province. The AHP method was employed to assess the relative importance of various factors influencing site selection. Following this, parameter subclasses were defined and categorized based on the characteristics and conditions relevant to the study area, particularly the potential WPP installation sites. Membership values were assigned to the weighted parameter subclasses using fuzzy logic. The weighted overlay method was then applied to both the AHP and fuzzy membership classes, resulting in two distinct suitability maps. The findings of the study indicate that the northern part of Kastamonu Province is the most suitable area for wind power plant installations.

Gönderilme Tarihi: 08.10.2024

Kabul Tarihi: 28.02.2025

Nasıl atıf yapılır: Taştan, B., & Bozkan, E. Z. (2025). Rüzgâr enerji santrallerinin kuruluş yeri seçiminde CBS, çok kriterli karar verme analizi ve bulanık mantık yönteminin kullanılması: Kastamonu ili örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(1), 172-190. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1563665>

Specifically, the districts of Cide, Doğanyurt, Devrekani, Bozkurt, and Pınarbaşı were identified as the ideal locations. When compared with the wind energy potential map (REPA), a strong alignment was observed between the study's conclusions and the REPA atlas. We believe that the use of fuzzy logic method in the site selection analysis for the study area will contribute to the literature.

Keywords: Analytical hierarchy process (AHP), Fuzzy logic, Geographic information systems (GIS), Wind power plant

1. Giriş

Fosil yakıtların yenilenemez olmasına ve ciddi çevresel ve sağlık problemlerine yol açmasına rağmen, insan nüfusunun hızla artmasıyla beraber küresel enerji talebinde çok hızlı bir büyüme gerçekleşmiştir (Olabi & Abdelkareem, 2022). Küresel enerjiyle ilişkili karbon emisyonları %1.1'lik bir büyüme gerçekleştirerek 410 milyon ton artmıştır. Karbondioksit emisyonları bu haliyle Paris Anlaşması'nda tespit edilen iklim hedeflerini tutturmak şöyle dursun, 2023'te 37.4 gigatonla yeni bir rekor seviyeye gelmiştir (IEA, 2024). Paris Antlaşması'nın hedeflerini sürdürmek, hava ve su kirliliği, arazi kullanımı ve talebi gibi potansiyel çevresel etkileri en aza indirmek için enerji sektörü şebekesinin karbondan arındırılması (Sıfır karbon emisyonunu sağlayacak) olası bir çözümdür. Bu amaçların gerçekleştirilmesinde yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir role sahiptir (Mello ve ark., 2020).

Günümüzde yenilenebilir enerji küresel düzeyde karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli olduğu için kamuoyunun artan bir ilgisine sahiptir. Bu ilginin çoğunluğu ise elektrik gücü elde etmeye ve biyoyakıtların üzerine odaklanmıştır (Taibi ve ark., 2010). Rüzgâr gücü çok eski çağlardan bu yana enerji elde etmek için kullanılan yenilenebilir kaynaklardan birisidir. Teknolojinin gelişmesiyle beraber rüzgâr enerjisi rüzgâr gücünün bulunduğu birçok yerde kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinin ekonomik değer kazanması, yaşam için bir ümit kaynağı olmuştur. Dünyada bulunan 2 milyar megawattlık rüzgâr gücünün çok az bir kısmının kullanılması da gelecekte ilgiyi bu alana yönlendirecektir (Yerebakan, 2001). Rüzgâr enerjisi üretilirken herhangi bir fosil yakıt kullanılmaz. Elektrik üretimiyle ilgili herhangi bir emisyonla da sahip değildir (Towler, 2014). Rüzgâr enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji çeşididir. Yerel ekonomiye katkı sağlar. Rüzgâr gücü elektrik bağlantısı olmayan yerlerde bile vardır. Santralleri arazide çok az yer kaplar. Çevresel etkileri oldukça azdır. Bakımları da gayet kolaydır (Enel Green Power, 2024). Küresel elektrik üretiminin karbon yoğunluğuyla 2022'de 436 gCO₂/kWh ile şimdiye kadarki en temiz kaynaklardan üretilen elektrik oranıdır. Bu durum rüzgâr ve güneş enerjisindeki %12'ye varan rekor büyümeden kaynaklanmıştır. Altmıştan fazla ülke şimdi elektrik üretimlerinin %10'undan fazlasını rüzgârdan sağlamaktadır (EMBER, 2023).

Rüzgâr gücü son zamanlarda hem araştırmacıların hem de enerji sektörü çalışanlarının dikkatini çekmeye başlamıştır. 2023 yılında dünyada en büyük rüzgâr enerjisi projelerinden beş tanesi şu şekildedir: 1. Dogger Bank rüzgâr çiftliği, 2. Baltık açık kıyı rüzgâr enerjisi çiftliği, 3. BP's Morgan ve Mona açık kıyı projesi, 4. Sarıçam, 5. RWE Kuzey deniz rüzgâr projeleri. Bu projelerde üretilen ve üretilecek enerji milyonlarca kişiye ulaşacak ve yerel ekonomilere de büyük katkıları olacaktır (McGuire, 2023). Avrupa Birliği'nde de rüzgâr enerjisi üretimiyle ilgili projeler yapılmaya devam etmektedir. Rüzgâr sektörü Avrupa ekonomisi için büyümeyi teşvik etmekte ve uzun dönemli sürdürülebilir meslekleri ortaya çıkarmaktadır. 2022'de Avrupa Birliği'nde rüzgâr enerjisiyle ilgili işçi sayısı 300.000 civarında iken, 2030'a kadar bu sayının 936.000 kişi kadar olması beklenmektedir (EU, 2024). Rüzgâr enerjisi dünyanın hemen hemen her yerinde bulunabilen bir enerji çeşididir. Açık denizlerde, kıyılarda, yüksek yerlerde, yazın veya kışın birçok mevsimde rüzgâr çeşitli atmosferik şartlara, yerel ya da küresel iklim ve hava şartlarına bağlı olarak oluşur. Ancak rüzgâr enerjisinin kullanılabilir olması için bazı niteliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı çalışmalarda korunaklı alanlar, havalimanları, yol ağı gibi parametreler ele alınmıştır (Solbrekke & Sorteberg, 2024). Bazı nitelikler de arazinin topografik yapısıyla alakalıdır. Yükselti, eğim ve bakı bu faktörlerdendir. Bu faktörlerin bileşimi rüzgâr enerji santrallerinin kuruluş yerinin seçiminde etkili olan parametrelerdir. Farklı araştırmalarda farklı parametreler de ele alınabilmektedir. Parametrelerin belirlenmesi ve birbirine göre önem derecesinin ortaya çıkarılmasında, bu faktörlerin tespiti ve enerji santrallerinin yer seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme analizleri birçok çalışmada kullanılmıştır

(Barzehkar ve ark., 2024; Can ve ark., 2024; Gherboudj, 2024; Hall, 2024; Ioannidis & Vagiona, 2024; Placide & Lolchund, 2024; Sahin ve ark., 2024; Solbrekke & Sorteberg, 2024; Vasudevan ve ark., 2024; Yaman, 2024; Yildiz, 2024). Yapılan bu çalışmalar dünyanın birçok bölgesinin rüzgâr enerji potansiyelinin ortaya çıkarılmasını amaçlamıştır.

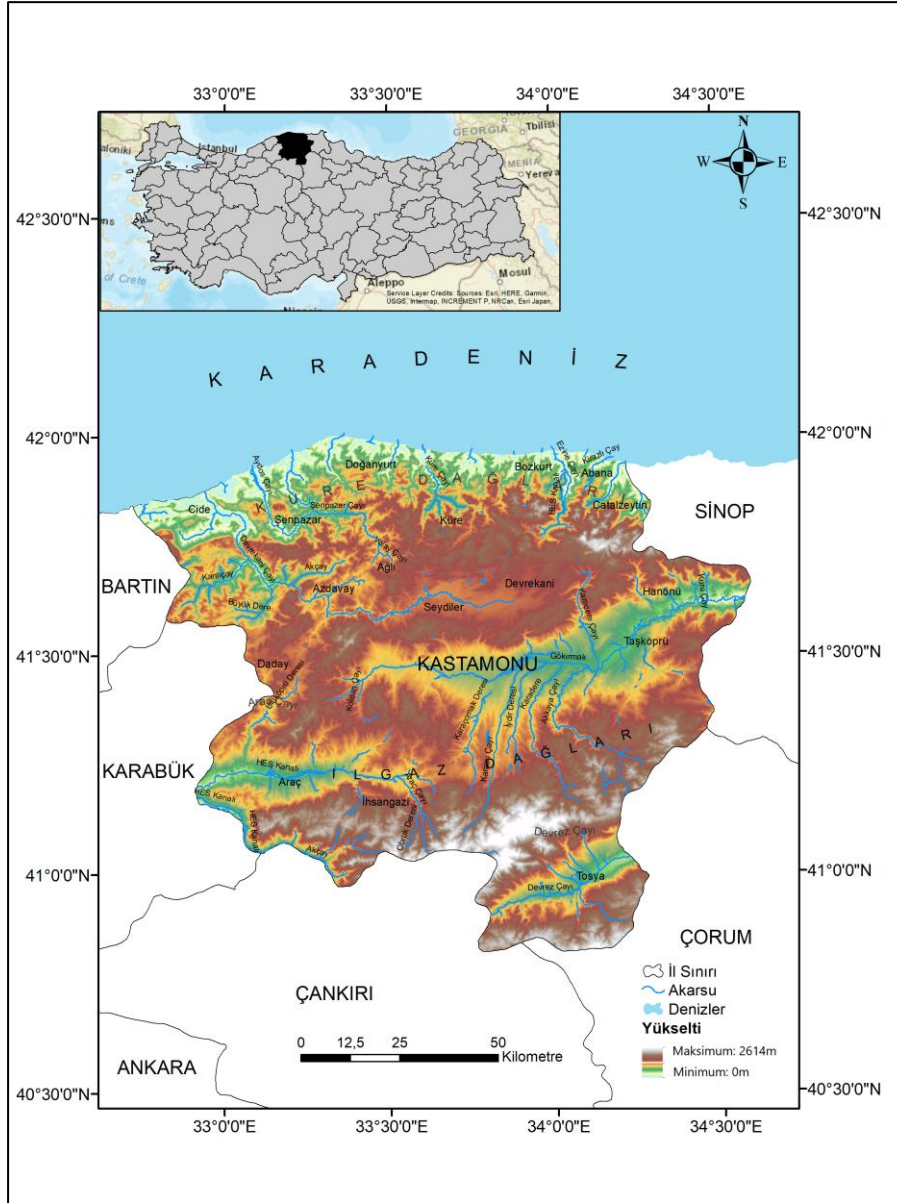
Kastamonu ilinin elektrik santrali gücü 163 Mwe'dir. İldeki 17 elektrik santralinden yılda takribi 328 GWh elektrik üretilmekte ve bu elektriğin büyük kısmı hidroelektrik santrallerinden karşılanmaktadır (Enerji Atlası, 2024). Kastamonu ilinde kurulu rüzgar enerji santrali bulunmamasına rağmen 10 MW'lık rüzgar enerji santrali için lisans alınmıştır. Bu durum ilin rüzgâr enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (KUZKA, 2025). Kastamonu ilinin rüzgar enerji potansiyeli farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Bunlardan Kaya ve ark. (2016), Kastamonu ilinin rüzgâr enerji potansiyeli rüzgâr türbin modelleri kullanarak rüzgâr enerjisi elektrik üretim potansiyeli tahminini gerçekleştirmiştir. Köse & Güneser (2019)'in yaptığı çalışmada Batı Karadeniz'de yer alan 7 farklı kentteki (Zonguldak, Bartın, Kastamonu, Bolu, Karabük, Düzce ve Sinop) rüzgâr enerjisi karakteristikleri ve potansiyeli belirlenmiştir. Şener (2017), Türkiye kıyılarının yenilenebilir enerji kaynağı potansiyelini tespit etmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgulara göre Kastamonu ili kıyılarındaki rüzgar enerjisi güç yoğunluğu potansiyelinin İstanbul, Hatay ve Çanakkale gibi illerle benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bahsedilen çalışmalar rüzgar enerji potansiyelini ortaya çıkarırken, rüzgar enerji santrali yer seçimine yönelik herhangi bir analiz içermemektedir. Rüzgar enerji santrallerinin verimli çalışması için santralin kurulacağı yeri önemlidir. Rüzgar enerjisi verimini tespit etmek rüzgardan elde edilen enerji verimini artıracaktır (Kaya ve ark., 2016). Çalışmada Kastamonu ilinde rüzgar enerjisi santrali kurulabilecek alanların yer tespiti CBS, Analitik Hiyerarşi ve Bulanık mantık yöntemleriyle tespit edilmiştir. Yer tespiti için 13 farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerin önem sırası AHP yöntemine göre belirlenmiş ve ağırlıklı çakıştırma yöntemine göre bindirme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta iki farklı şekilde yer seçimi analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı yöntemler kullanarak sonuçların elde edilmesi ve karşılaştırmaların yapılması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, yer seçimi analizi için alternatifleri artırırken karşılaştırmaları daha kolay ve etkili hale getirmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

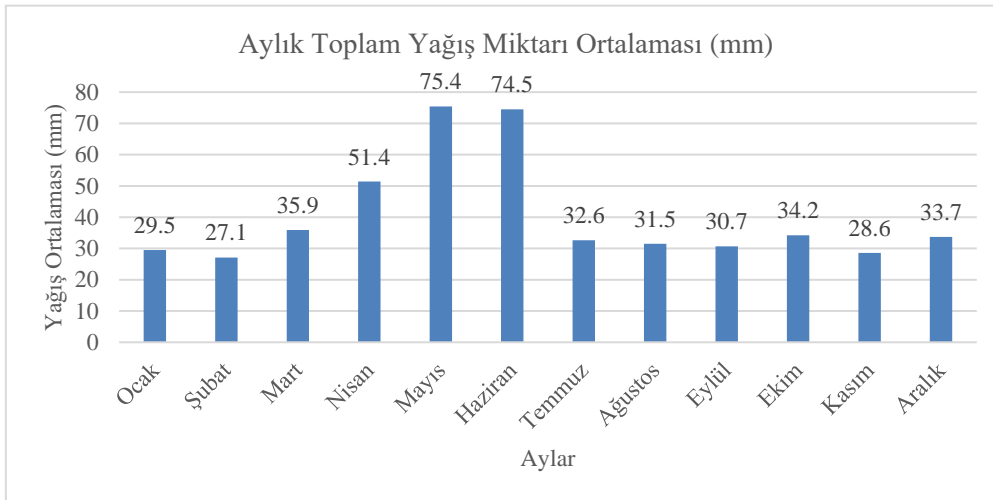
2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı Kastamonu ilidir (Şekil 1). İlde iki büyük dağ sistemi bulunur. Bunlardan Küre Dağları (İsfendiyar Dağları) Alp-Himalaya kıvrım dağ sisteminin bir parçasıdır. Doğu-batı yönlü olarak Karadeniz'in ardında uzanır. Bu sistemin batısında Bartın Çayı, doğusunda ise Kızılırmak nehri vardır (Duran, 2021). Küre Dağları denizle iç kesim arasında bir set teşkil eder. Küre Dağları fazlaca parçalanmıştır. Değişik seviyelerde var olan plato düzlükleri ve kıyının ardında olması nedenleriyle iklim niteliklerinden farklılıklar ortaya çıkar (Kurter, 1982). Örneğin kıyıda bulunan İnebolu meteoroloji istasyonunda yağış en fazla sonbahar mevsiminde görülür. Kastamonu merkez ilçesinde ise en fazla yağış karasallık etkisiyle ilkbahara kaymıştır (Şekil 2).

Engebeye bağlı olarak kıyıda iç kesime doğru iklim değişimi ortaya çıkar. Küre Dağları sayesinde kıyıda Karadeniz ikliminin özellikleri belirgin olarak görülürken, iç kesimlerin iklimi karasallığa kaymıştır (Duran, 2017). Kastamonu Merkez ilçesinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen uzun yıllar (1930-2023) meteorolojik verilerine göre ortalama sıcaklık 9.9 °C iken en düşük sıcaklık ortalaması -1.0 °C olarak ocak ayında, en yüksek sıcaklık ortalaması temmuz ayında 20.2 °C'dir. Kıyıda bulunan İnebolu, Cide gibi yerleşim merkezlerinin rüzgâr hızları Kastamonu merkez istasyonundan daha fazladır. Bu durumun oluşmasında kıyıda rüzgâr hızını kesebilecek herhangi bir engelin olmaması, iç kesimde ise Küre Dağları engelini rüzgarları kesmesinden dolayıdır (Coşkun, 2021).



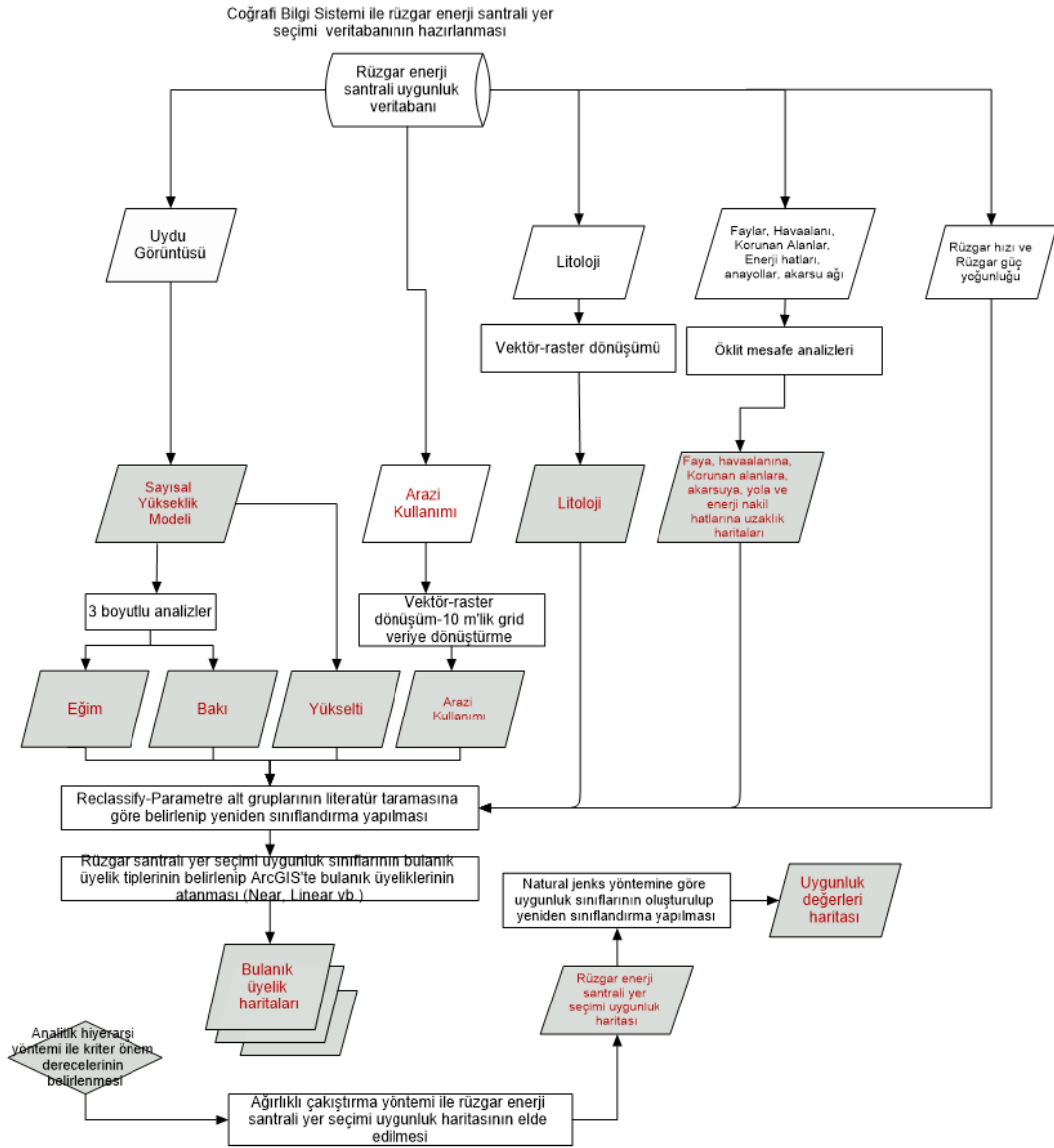
Şekil 1. Çalışma alanının konum haritası.



Şekil 2. Kastamonu ili merkez ilçesi uzun yıllar yağış değerleri ortalaması (MGM, 2024).

2.2. Çalışmada kullanılan veriler ve metot

Çalışmada Kastamonu ili rüzgâr enerjisi kurulabilecek alanlar CBS, çok kriterli karar verme analizlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bulanık Mantık yöntemleriyle belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Rüzgâr enerji santrali yer seçimi işleminin bulanık mantık yöntemiyle gerçekleştirilme işlem adımlarının şematik gösterimi.

Çok kriterli karar verme analizi birden fazla kritere sahip oluna durumlarda en mantıklı karar vermeyi sağlayabilen matematiksel işlemlere bağlı analiz metodudur (Roy, 1996). Rüzgâr enerji santrallerinde kurulum yerlerinin belirlenmesinde parametre ve alt gruplarının birleştirilmesinde çok kriterli karar verme analizleri yoğunlukla kullanılmaktadır. Çok kriterli karar verme analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle çalışma sahasında rüzgâr enerji santralleri yer seçimine ait parametre verileri (Yerleşim alanları, milli parklar ve askeri alanlar, göller ve barajlar, akarsular, karayolları, fay hatları, ormanlık alanlar, eğim, yükselti, kapasite faktörü) elde edilmiştir. Verilerin temin edilmesinden sonra yer seçimi analizi için coğrafi veri tabanı oluşturularak veriler bu ortama aktarılmıştır. Yükselti haritası yüksek çözünürlüklü (12.5x12.5m), ALOS PALSAR uydu görüntüsünden elde edilmiştir. Eğim ve bakı veri grupları ise yükselti verisinden CBS yazılımıyla üretilmiştir. Yerleşim alanlarına, milli parklara ve askeri alanlara, göllere ve barajlara, akarsulara, karayollarına, fay hatlarına, ormanlık alanlara uzaklık Öklid mesafe analizi ile elde edilmiştir.

Sınıflandırma analizi verilerin istenilen bölümlere ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir. Her bir veri alt grubunun yer seçimi analizi üzerindeki etki düzeyi farklılaşabilir. Bu farklılık araştırma sahasının niteliklerine göre değişmektedir. Bu niteliklerin değişkenliği AHP ile veri alt gruplarına atama işlemi ile gösterilmektedir. AHP, Saaty (1994) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem özellikler setinin göreceli değerlerini açıklayan matris oluşturma işlemine dayanır (Coyle, 2004). Bu metod problemin ve aranan bilginin tespiti, üstten alta doğru karar verme hiyerarşisinin belirlenmesi, ikili karşılaştırmalar matrisinin oluşturulması, kriter tutarlılık oranlarının tespiti, kriterlerin birleştirilmesi ve sonuç haritalarının oluşturulması işlemlerine dayanır (Tombuş, 2005). Karşılaştırmanın yapılması için karşılaştırmanın yapıldığı niteliğe bağlı bir özellik veya parametrenin diğerine göre önemi veya baskınlığını gösteren bir çizelgeye ihtiyaç duyulmaktadır (Çizelge 1).

Her bir veri grubunun üyelik sınıflarının ağırlık değerleri AHP'yle belirlendikten sonra bulanık üyelik sınıflarına alınmıştır. Ağırlıklı doğrusal birleştirme analizi ile rüzgâr enerji santrali en uygun yer analizi tespit edilmiştir. En son olarak uygun değil, az uygun, uygun ve çok uygun şeklinde 4 sınıf halinde uygunluk analizi temsil edilerek görselleştirme işlemleri yapılmıştır.

Çalışmada rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi analizi bulanık mantık yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık gerçek dünyada belirsiz ya da iç içe geçmiş, kesin sınırları olmayan varlıkları ya da durumları betimlemekte kullanılan bir yöntemdir. Örneğin en uygun yer analizinde orta eğime sahip olsun, göle yakın, ama ana yola yakın olmasın gibi durumları ifade etmeye çalışırız (Kainz, 2007). Bu tür şartlar klasik küme teorisiyle ifade edilememektedir. Küme teorisinde herhangi bir varlığın veya unsurun belirli bir kümeye ait olup olmaması 1 ya da 0 gibi net ifadelerle belirtilir. Ancak az, orta veya çok gibi durumları belirtmek bu teoride mümkün değildir. Bulanık mantık teorisi Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir (Zadeh, 1988). Bulanık modelleme genel manada, bir sistemin matematiksel terimlerle bir tanımının oluşturulmasını ifade etmektedir (Chen & Pam, 2001). Bulanık modeller oluşturulurken değişik üyelik fonksiyonları kullanılabilir (Altaş, 1999). Probleme bağlı olarak uygun değişkenler seçilerek üyelik fonksiyonları ve bulanık alt kümelere bağlı kural dizisi ve kural tabanları oluşturulur (Ross, 1995).

Çizelge 1. AHP parametre önem ölçeği (Saaty, 1994)

Önem yoğunluğu	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	Her iki faktör eşit öneme sahip
3	Biraz daha önemli	Birinci faktör ikinciye göre biraz daha önemli
5	Güçlü önem	Birinci faktör ikinciye göre daha çok önemli
7	Çok güçlü önem	Birinci faktör ikinciye göre çok güçlü öneme sahip
9	Son derece önemli	Birinci faktör ikinciye göre mutlak üstün bir önem sahip
2,4,6,8	Ara değerler	

2.3. Çalışmada kullanılan parametreler ve normalizasyon işlemleri

Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumunun yer seçimi için birçok parametre gereklidir. Bu parametreler farklı çalışmalardan ele alınmıştır. Bu niteliklerden: topografya, eğim, bakı, yükselti gibi faktörler (Urfalı & Eymen, 2021; Yaman, 2024; Baban & Parry, 2001; Şahin ve ark., 2024), fay hatlarına uzaklık (Can ve ark., 2024; Yıldız, 2024), yol ağına uzaklık (Albraheem & Alawlaqi, 2023) yerleşim alanlarına uzaklık (Baban & Parry, 2001); arazi kullanımı, korunan alanlara uzaklık (Albraheem & Alawlaqi, 2023), rüzgar hızı (Yaman, 2024; Şahin ve ark., 2024; Vinhoza & Schaefer, 2021; Flora ve ark., 2021), rüzgar güç yoğunluğu (Özşahin & Kaymaz, 2013), havaalanına uzaklık (Urfalı & Eymen, 2021), akarsuya uzaklık (Özşahin & Kaymaz, 2013) gibi parametreler analiz yapmak üzere seçilmiştir. Rüzgâr enerji santrali yer seçiminde kullanılan kriterler ve uygunluk sınıflarının elde edildiği ortamlar aşağıdaki Çizelge 2'de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler açık veri kaynaklarından elde edilerek analiz edilmiştir. Yükselti verileri ALOS PALSAR internet sitesinden 12.5 X 12.5 metre çözünürlükte indirilerek yükselti, eğim ve bakı gibi veri altlıklarının üretilmesinde kullanılmıştır.

Rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu Küresel Rüzgâr Atlası (Global Wind Atlas) sitesinden elde edilmiştir. Yerleşim alanları, korunan alanlar, anayollar, havaalanı gibi veri altlıkları ise Open Street Map'ten elde edilmiştir. Elde edilen verilerden yerleşim merkezleri, korunan alanlar, enerji hatları, havaalanına uzaklık ve ana yollara uzaklık parametre haritaları Öklid Mesafe Analizi yöntemiyle elde edilmiştir. Diğer parametrelerden olan eğim sayısal yükseklik verisinden elde edilmiştir.

Çizelge 2. Rüzgâr enerji santrallerinin yer seçiminde etkili olan parametrelere ait verilerin elde edildiği ortamlar

Parametre	Veri tipi	Verinin elde edildiği ortam	Url'si
Rüzgâr hızı	Raster	Global Wind Atlas	https://globalwindatlas.info/en
Rüzgâr güç yoğunluğu	Raster	Global Wind Atlas	https://globalwindatlas.info/en
Enerji nakil hatlarına uzaklık	Vektör	Overpass (OSM)	https://overpass-turbo.eu/
DEM	Raster	ALOS PALSAR	https://search.asf.alaska.edu/#/
Eğim	Raster	DEM	
Fay hatlarına uzaklık	Vektör	MTA	http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx
Arazi kullanımı	Raster	ESRI Land Cover	https://livingatlas.arcgis.com/landcover/
Akarsuya uzaklık	Vektör	Hidroloji analizi	
Yerleşim alanlarına uzaklık	Vektör	OSM	https://www.openstreetmap.org/
Korunan alanlara uzaklık	Vektör	OSM	https://www.openstreetmap.org/
Havaalanına uzaklık	Vektör	OSM	https://www.openstreetmap.org/
Anayollara uzaklık		OSM	https://www.openstreetmap.org/

2.4. Parametrelerin ağırlıklandırılması ve normalizasyon işlemleri

2.4.1. AHP yöntemiyle kriterlerin ağırlıklandırılması

Parametrelerin ağırlıklandırılması ve normalizasyon işlemleri için AHP ve Bulanık Mantık yöntemlerinden yararlanılmıştır. AHP yöntemi (Saaty, 1990) tarafından geliştirilmiş bir metottur. Bu yöntemde sürecin matematiği ve hesaplama teknikleri özelliklere ait setin göreceli değerlerini açıklayan bir matris oluşturma işlemine dayalıdır (Coyle, 2004). Parametrelerin ağırlıklandırılmasında literatür araştırmasından yararlanılmıştır (Özşahin & Kaymaz, 2013; Arca & Keskin Çıtıröğlü, 2020; Ekiz ve ark., 2022). Her bir parametre 1-10 değer aralığında ağırlıklandırılmıştır. Parametre ikili karşılaştırma çizelgesi aşağıda verilmiştir (Çizelge 3).

Kriterlerin karşılaştırılmasının ne kadar tutarlı olduğunun ölçümü için tutarlılık oranı hesaplanmıştır (Ekiz ve ark., 2022). Tutarlılık oranı 0.10'dan büyük çıkma durumunda değerlerin birbiriyle tutarsız şekilde girildiği anlaşılır (Urfalı & Eymen, 2021).

Yapılan çalışmada ikili karşılaştırmalardan elde edilen tutarlılık oranınının 0.7 olduğu tespit edilmiştir. Toplamda 13 parametre için RI değeri 1.56 alınmış, CI değeri 0.102, CR değeri $\frac{CI}{RI} = 0.065$ 'tir. Bu değer 0.10'dan küçük olduğu için (Saaty, 1994) yapılan işlemlerin tutarlı olduğu ortaya çıkmıştır. Rüzgâr enerji santrallerinin en uygun yer analizi için 13 farklı veri seti kullanılmıştır (Şekil 4a ve Şekil 4b). Bunlardan rüzgâr hızı Global Wind Atlas'tan temin edilmiştir. Global Wind Atlas'tan elde edilen veriler 5 sınıfa ayrılmıştır (Çok fazla, uygun, orta, az ve uygun değil). Yapılan ikili karşılaştırmalarda AHP'de en fazla öneme sahip parametre olarak tespit edilmiştir (%21.9). Rüzgâr güç yoğunluğu rüzgâr enerji santrallerinin kurulumunda önemli bir parametredir. Birimi w/m^2 'dir (Korkmaz ve ark., 2023). İkili karşılaştırmalarda AHP'de tutarlılık oranı en yüksek ikinci parametre olarak (%16.9) bulunmuştur.

Çizelge 3. Rüzgâr enerji santrali en uygun yer analizi faktörleri AHP etki değerleri ikili karşılaştırma matrisi

Faktörler	Rüzgâr hızı	Rüzgâr güç kapasitesi	Korunan alanlara uzaklık	Enerji hatlarına uzaklık	Yerleşim alanlarına uzaklık	Karayollarına uzaklık	Fay hatlarına uzaklık	Yükselti	Eğim	Arazi kullanımı	Havaalanına uzaklık	Anayollara uzaklık	Akarsuya uzaklık	AHY ağırlık %
Rüzgâr hızı	1	3	3	3	3	3	3	5	5	5	7	9	9	21.9
Rüzgâr güç kapasitesi	½	1	3	3	3	3	3	5	5	5	7	9	9	16.9
Korunan alanlara uzaklık	1/5	1/3	1	2	2	3	3	3	3	7	7	7	9	12.4
Enerji hatlarına uzaklık	1/3	1/3	½	1	1	2	3	3	5	5	5	9	9	9.7
Yerleşim alanlarına uzaklık	1/3	1/3	½	1	1	1	2	3	3	5	7	7	9	9.3
Anayollara uzaklık	1/3	1/3	1/3	½	1	1	1	2	3	3	5	7	9	7.7
Fay hatlarına uzaklık	1/3	1/3	1/3	1/3	½	1	1	1	3	3	5	7	7	6.6
Yükselti	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1	1	1	2	5	7	7	5
Eğim	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	2	2	7	3.4
Arazi kullanımı	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	½	1	1	1	3	5	2.8
Havaalanına uzaklık	1/7	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5	½	1	1	1	3	1.9
Litoloji	1/9	1/7	1/7	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	½	1/3	1	1	3	1.5
Akarsuya uzaklık	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1

Koruma altına alınan alanlar biyolojik çeşitliliğe sahip yerlerdeki kaynakların korunması ve devamlılığının sağlanması amacıyla ilgili yasal hükümlere göre yönetilen karasal, sucul ya da denizel alanlara denir (ÇŞİDB, 2024). Koruma altına alınmış alanların zarar görmemesi, yok olmaması için bu alanlara uzaklık önemli bir faktördür (Ekiz ve ark., 2022). Korunan alanlara uzaklıktaki mesafelerin belirlenmesi amacıyla Öklid mesafe analizi yapılmıştır. Sonuç haritası 6 sınıfa ayrılmıştır ve AHP’de tutarlılık oranı %12.4 olarak tespit edilmiştir. Enerji nakil hatlarına uzaklık da rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için önemli parametrelerden birisidir.

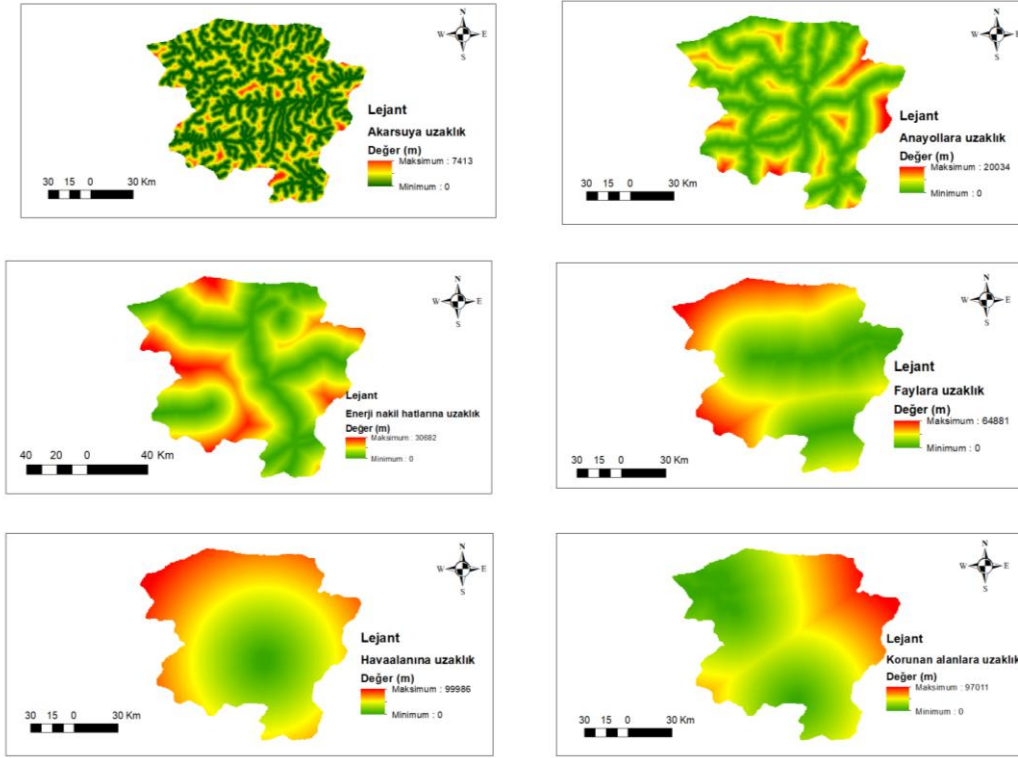
Enerji santrallerinde türbin pervane yarıçapı 101 metre olduğu için 100 metreden yakın alanlar kısıtlanmalı, enerji hatlarından uzaklaşıldıkça verilen skorda azalma meydana gelecektir (Sunak ve ark., 2015). Enerji hatlarına uzaklık Öklit mesafe analiziyle tespit edilmiştir. Bu veri katmanının yapılan analizle AHP’de tutarlılık oranının %9.4 olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr enerji santrallerinin sosyal kabullerden, gürültü, güvenlik estetik şartlardan dolayı yerleşim alanlarının dışında kurulması gereklidir (Sunak ve ark., 2015). Çalışma alanında 1355 yerleşim birimine uzaklıkların ortaya konması için öklid mesafe analizi gerçekleştirilerek uzaklık haritası oluşturulmuştur. Bu veri sınıfı yeniden sınıflamaya tabi tutularak ağırlıklandırılmış yerleşim alanlarına uzaklık veri katmanı üretilmiştir.

Yola uzaklık da RES kurulum yeri seçiminde etkili olan faktörlerden birisidir. Santrallere rahatça ve masrafsız şekilde ulaşım için firmalar yol açtırmaktadır (Özşahin & Kaymaz, 2013). Yola uzaklık veri sınıfını elde etmek için Öklit mesafe analizi gerçekleştirilmiştir. Deprem sırasında binalar, alt yapı unsurları zarar görmektedir. Rüzgâr enerji santralleri de deprem sırasında zarar görebilir. Aktif olan fay hatlarından uzaklaşıldıkça deprem etkisi de azalacağı için yer seçim analizinde faya yakınlık dikkate alınan bir faktördür (Arca & Keskin Çıtıroğlu, 2020).

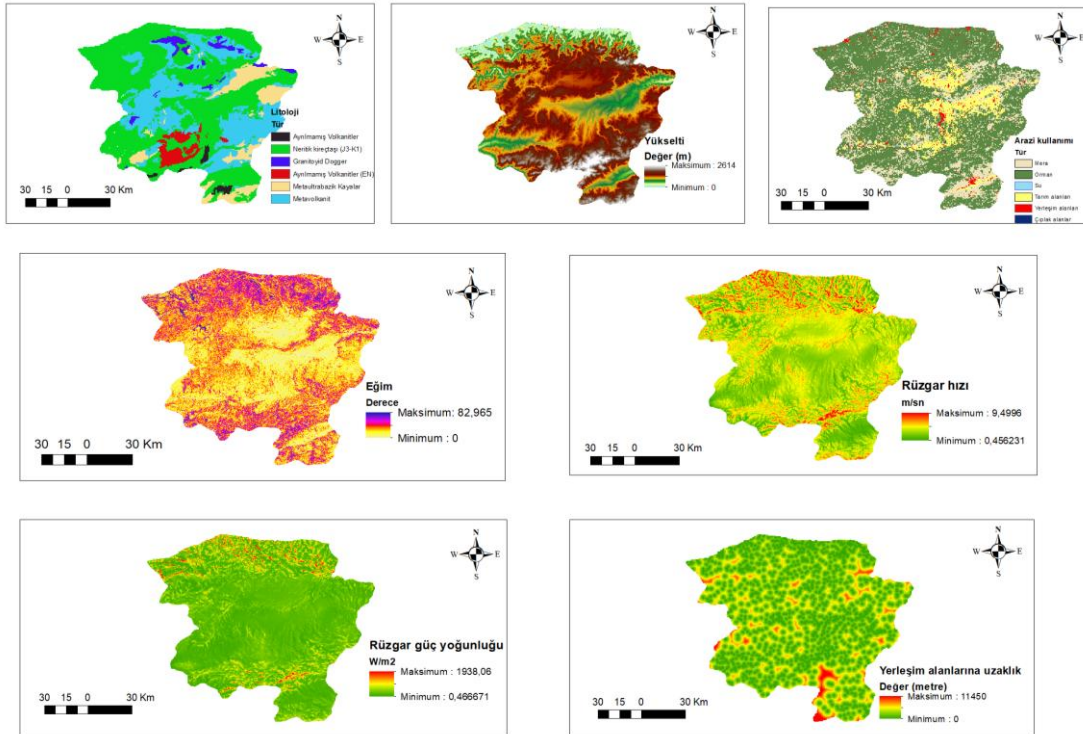
Dünya’da ve Türkiye’de en faal fay hatlarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı Kastamonu Şehir merkezine 35 kilometre uzaklıkta ve Kastamonu’ya önemli bir tehdit kaynağıdır (Özmen, 2011). Fay zonlarına yakınlığın belirlenebilmesi için Öklid mesafe analizi gerçekleştirilmiştir. Mesafe analizinden elde edilen veri sınıfı 6 sınıfta temsil edilerek yeniden sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr hızıyla yükselti arasında korelasyon söz konusudur. Buna göre rüzgâr hızı yükseltiye bağlı olarak her yüz elli metrede bir artış göstereceği belirlenmiştir (Özşahin & Kaymaz, 2013). Yükselti haritası ALOS PALSAR uydusundan 12.5x12.5 metre çözünürlükte elde edilmiştir. 6 sınıfa ayrılan yükselti veri sınıflarına rüzgâr hızı ilişkisine bağlı olarak etki değeri atanarak yeniden sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma alanında yükselti 0 metreden 2614 metreye kadar değişiklik göstermektedir. Yükseltisi az olan yerlerin rüzgâr enerji potansiyeli az olacağı düşünüldüğünden etki değeri az, yükseltisi fazla olan yerlerin rüzgâr enerji potansiyeli fazla olacağı düşüncesiyle yüksek etki puanı verilmiştir. Ancak yüksek yerlerde enerji santrali kurulması arazi şartlarından dolayı zor olacağı için 1500 metreden yüksek yerlerin etki değeri en az olarak değerlendirilmiştir (Ekiz ve ark., 2022). Topografik niteliklerden bakı, eğim ve yükselti arazi kullanımını etkilemektedir. Uçurumlara yakın yerler ve yüksek yerler rüzgâr türbini yapımı için uygun değildir (Bennui ve ark., 2007). Yükselti haritasından derece olarak elde edilen eğim değerleri 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 ve 30’dan büyük olmak üzere 6 sınıfa ayrılarak etki değerleri ataması yapılmıştır. Eğimi en az olan yerlere en büyük etki değerleri, eğimi fazla olan yerlere ise en az etki değer ataması gerçekleştirilmiştir (Ekiz ve ark., 2022).

Arazi kullanım niteliği de rüzgâr enerji santralleri yer seçiminde etkili olan faktörlerden birisidir. AHP ikili karşılaştırmalarında arazi kullanımını ağırlık değeri yüzde 2.8 olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki arazi kullanımını sınıfları şunlardır: Mera, orman, su, tarım alanları, yerleşim ve çıplak alanlardır. Bunlar içerisinde RES santrallerinin yapımı için en az uygun olduğu düşünülen arazi sınıfı olan orman, su ve yerleşim alanlarına en düşük ağırlık değeri verilirken; çıplak alanlara, tarım alanlarına en yüksek etki değeri verilmiştir (Özşahin & Kaymaz, 2013). Havaalanlarının çevresindeki ilk 3000 metre içerisinde insanların toplu biçimde bulunacağı hastane, otogar ve uçuş güvenliğini riske atacak yapılara müsaade edilmemektedir. Rüzgâr enerji santrallerinin yüksekliği fazla olduğu için havaalanından 3000 metre uzaklıkta yapımlarına izin verilmemektedir (Ekiz ve ark., 2022). Havaalanına uzaklık birimlerinin belirlenmesi için Öklit mesafe analizi yapılmış, sonrasında elde edilen uzaklık değerleri 0-3000, 3000-6000, 6000-9000, 9000-12000, 12000-15000 ve >15000 şeklinde 6 farklı sınıfta yeniden sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında litoloji birimleri olarak granitoyid, ayrılmamış volkanitler, metavolkanit ve neritik kireçtaşı gibi birimler bulunmaktadır. Bu birimler MTA’nın sitesinden indirilerek sayısallaştırılmıştır. Zemin sertliği ve sağlamlığı nedeniyle metamorfik birimlere en yüksek etki değeri verilirken, sedimanter birimlere en düşük etki değeri verilerek yeniden sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Akarsulara yakın olan alanlar rüzgâr türbini kurulması için uygun değildir (Ekiz ve

ark., 2022). Çalışma alanındaki akarsulara uzaklık faktörünün elde edilmesi için Öklit mesafe analizi kullanılmıştır. Elde edilen uzaklık değerleri 6 sınıfta yeniden sınıflandırılarak alt faktör grupları oluşturulmuştur.



Şekil 4a. Çalışmada kullanılan veri setleri.



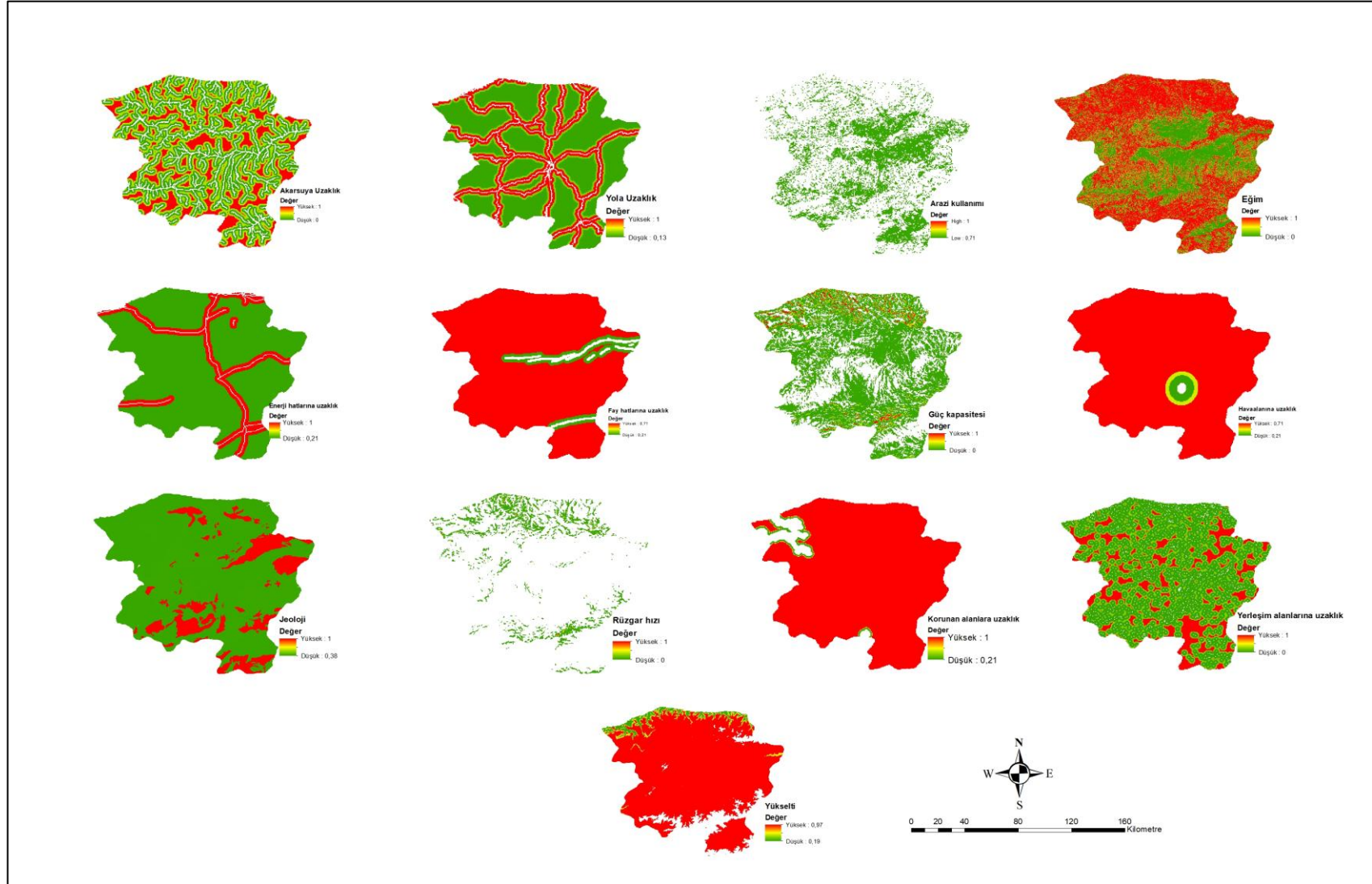
Şekil 4b. Çalışmada kullanılan veri setleri.

2.4.2. Bulanık mantık üyelik işlemleri

Çalışmada AHP'ye bağlı olarak veri gruplarının etki değerlerinin belirlenmesinin yanı sıra Bulanık Mantık yöntemiyle de normalizasyon işlemleri ve bindirme analizi gerçekleştirilmiştir. Bulanık Mantık teorisinde normalizasyon işlemlerini gerçekleştirmeden önce her bir faktörün bulanık üyeliğinin belirlenmesi gerekir. Bu işlem bulanık modellerin oluşturulması ve farklı üyelik fonksiyonlarının atanmasıyla gerçekleştirilir (Altaş, 1999). Bulanık üyelikler keskin bir setin bulanık bir sete ve bulanık bir setin bulanık kümeye dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. 7 farklı bulanık üyelik fonksiyonu bulunur. Bunlar: Gaussian, Lineer, MS küçük, MS büyük, Near, Large ve Small gibi fonksiyonlardır (Taştan, 2021). Çalışma alanının özelliklerine ve veri gruplarının niteliklerine göre faktör üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Faktör gruplarının üyeliklerinin belirlenmesinden sonra bulanık bindirme analizi gerçekleştirilir. Bulanık Mantık yöntemi katmanları birleştirmek amacıyla çeşitli matematiksel ve mantıksal operatörleri kullanır (Mitchell, 2012). 13 farklı faktörün bulanık üyelikleri her bir faktörün niteliği, arazi şartları ve rüzgâr enerji santrali kurulum niteliklerine bağlı olarak belirlenmiştir. Rüzgâr hızı, güç yoğunluğu, fay hatlarına uzaklık, eğim, havaalanına uzaklık, akarsuya uzaklık gibi faktörlerinde veri grupları nitelikleriyle enerji santrali kurulumu etki değerleri arasında doğrusal (Lineer) bir ilişki var olduğu literatür bilgilerinden ve arazi niteliklerinden yola çıkılıp belirlenmiştir. Böylelikle doğrusal üyelik fonksiyonu atanmıştır (Çizelge 4). Litoloji, yükselti, arazi kullanımı, yerleşim alanlarına uzaklık, ana yollara ve enerji güç alanlarına uzaklık gibi faktörlerde veri gruplarıyla üyelik fonksiyon ilişkisi tam olarak belirlenemediği için “Yakın-Near” üyelik fonksiyonu atanmıştır. Üyelik belirleme işlemi 13 farklı veri seti için yapılmıştır (Bakınız Şekil 5). Bulanık bindirme analizi ise her bir veri setinin üyeliklerinin belirlenmesi ve normalizasyon işlemlerinin ardından gerçekleştirilen karşılaştırma analizidir. Bulanık bindirme analizleri 5 bölüm halinde incelenir. Bunlar: And, Or, Sum, Product ve Gamma tipidir. Gamma tipi bindirme analizi Product ve Sum'ın cebirsel bir ürünüdür (Taştan, 2021). 13 farklı faktör farklı etki değerlerine sahip ve farklı üyelik fonksiyonlarına sahiptir. Faktör haritalarının bindirme analizinde bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 4. Faktör alt gruplarına atanan etki değerleri ve bulanık mantık üyelik fonksiyon biçimleri

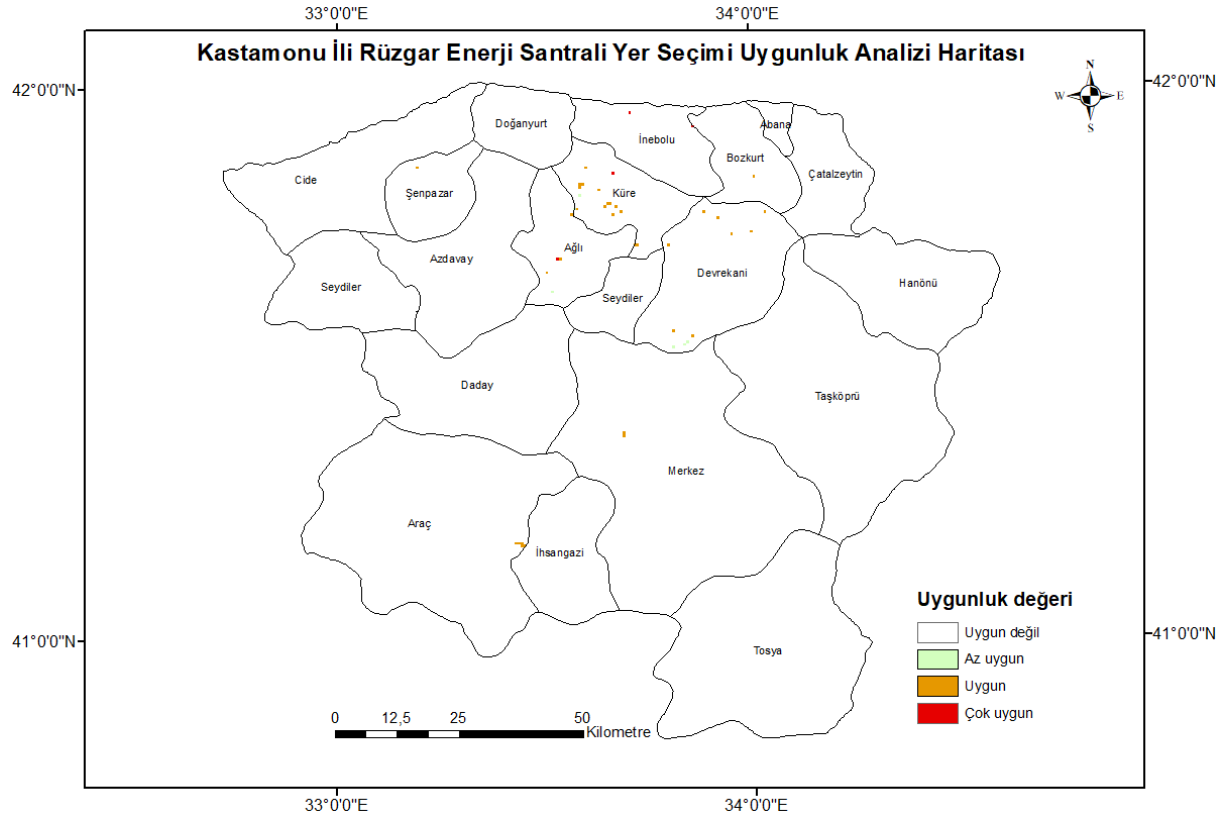
Faktörler	Birim değeri	AHP ağırlık değeri	Çok fazla uygun	Uygun	Orta uygun	Az uygun	En az uygun	Uygun değil	Kaynak	Bulanık Üyelik	Dağılım parametreleri
Rüzgâr hızı	m/sn	21.9	9-9.45	8-9	7-8	6.5-7	5-6.5	<5	Yılmaz ve ark., 2023	Lineer	Min:2 Maks: 10
Rüzgâr güç kapasitesi	W/m ²	16.9	1.938-691	691-425	425-266	266-152	152-76	76-0,46		Lineer	Min: 2 Maks: 10
Korunan alanlara uzaklık	m	12.4	>4000	3500-4000	3000-3500	2500-3000	2000-2500	<2000	Ekiz ve ark., 2022	Near	Midpoint: 8 Spread:0.1
Enerji hatlarına uzaklık	m	9.7	0-100 >10000	100-500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10000	Ekiz ve ark., 2022	Near	Midpoint: 8 Spread:0.5
Yerleşim alanlarına uzaklık	m	9.3	>5000	5000-2500	2000-2500	1500-2000	500-1500	0-500	Urfalı & Eymen, 2021	Lineer	Min: 2 Maks: 10
Anayollara uzaklık	m	7.7	100-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-10000	<100 ve > 10000	Ekiz ve ark., 2022	Near	Midpoint: 10 Spread: 0.1
Fay hatlarına uzaklık	m	6.6	>5000	4000-5000	3000-4000	2000-3000	1000-2000	<1000	Ekiz ve ark., 2022	Near	Midpoint: 8 Spread: 0.1
Yükselti	m	5	750-1500	450-750	300-450	150-300	0-150	>1500	Ekiz ve ark., 2022	Near	Midpoint: 8.5 Spread: 0.1
Eğim	Derece	3.4	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	>30	Ekiz ve ark., 2022	Lineer	Min: 10 Maks: 2
Arazi kullanımı		2.8	Tarım alanları, çıplak alan	Meralar				Su, Orman, Yerleşim	Özşahin & Kaymaz, 2013	Near	Midpoint: 7 Spread: 0.1
Havaalanına uzaklık	m	1.9	>15000	12000-15000	9000-12000	6000-9000	3000-6000	<3000	Ekiz ve ark., 2022	Near	Midpoint:8 Spread: 0.1
Litoloji		1.5	Metamorfik	Volkanik	OfiyolitikPlütonik	(5)	Sedimenter			Near	Midpoint:7 Spread:0.1
Akarsuya uzaklık	m	1	>5000	2500-5000	1500-2500	1000-1500	500-1000	<0-500	Urfalı & Eymen, 2021	Lineer	Min:2 Maks:10



Şekil 5. Bulanık üyelik haritaları.

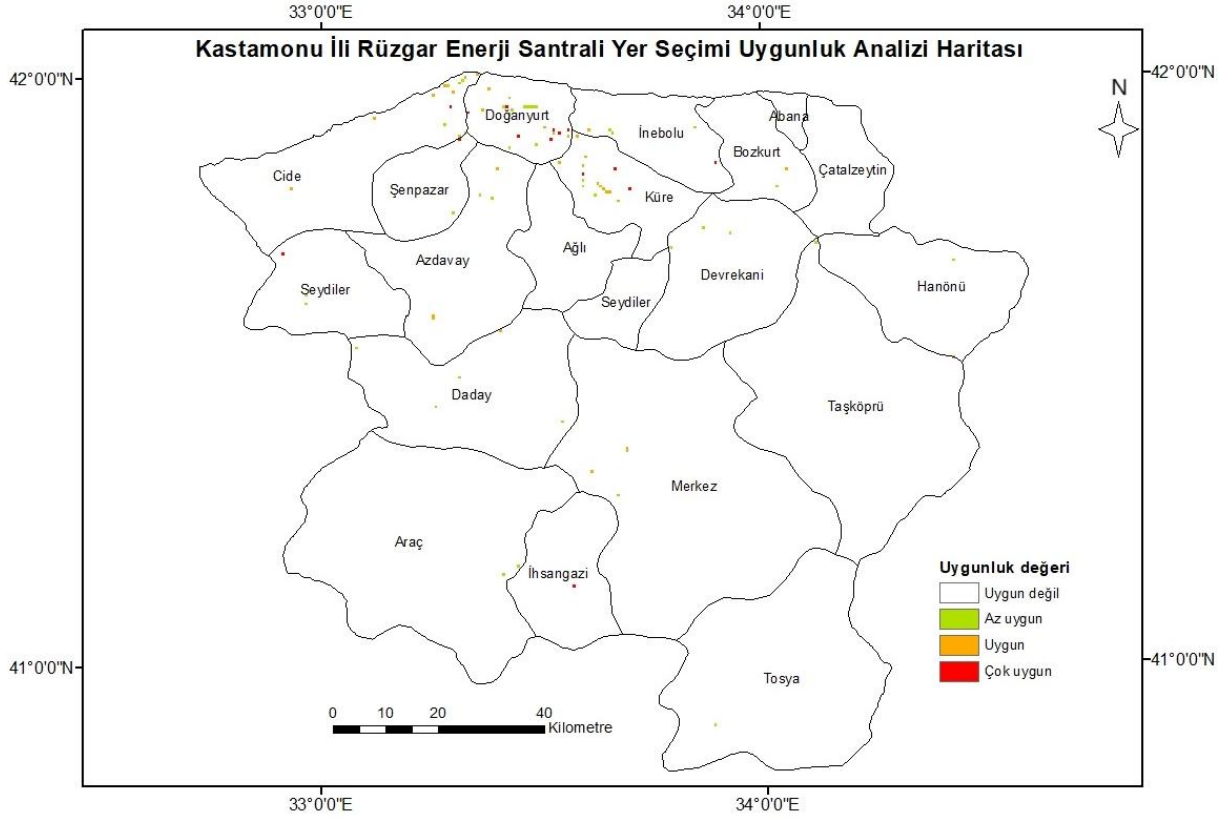
3. Bindirme analizleri ve sonuç değerlerinin elde edilmesi

13 farklı parametre alt gruplarında yukarıda bahsedilen karşılaştırma analizinde etki değerinin olmaması gereken yerler sınırlandırılması gereken yerlerdir. Bu yerler yeniden sınıflandırma analizinde No Data olarak sınıflandırılmıştır. Bu alanlar harita cebri aracıyla başka bir alanla toplandığı zaman bir sayının sıfırla çarpımı yapıldığı gibi sınırlandırılmış bir bölge ortaya çıkarmaktadır (Eroğlu, 2014). AHP’de elde edilen bindirme analizi ağırlık değerleri kullanarak CBS yazılımı ArcGIS 10.8’de “Konumsal analiz-harita cebri” işlemiyle bindirme analizine tabi tutularak sonuç haritası elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. AHP ve ağırlıklı karşılaştırma yöntemiyle elde edilen rüzgâr enerji santrali yer seçimi uygunluk analizi haritası.

Bulanık AHP yönteminde elde edilen faktör ağırlık değerleri Harita Cebri aracında her bir bulanık üyelik değer haritası değeriyle çarpılarak bindirme analizi gerçekleştirilmiştir (Eroğlu, 2014). Elde edilen sonuç haritası Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Bulanık mantık ve ağırlıklı çakıştırma yöntemleriyle elde edilen rüzgâr enerji santrali yer seçimi uygunluk analizi haritası.

4. Sonuç

Fosil kaynakların yakın gelecekte tükenebilir olmasından dolayı insanlar yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini sürdürmekte ve bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi dünyada hemen hemen her yerde kullanılabilir durumdadır. Ancak arazi şartları, nüfus ve yerleşim durumları, hizmetlere uzaklık, rüzgâr hızı ve kapasitesi gibi birçok faktöre bağlı olarak rüzgâr enerji santralının kurulum yeri sınırlanmaktadır. Bu enerji kaynağının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için rüzgâr enerji santral kurulum yerinin ihtiyaçlar ve gereksinimler doğrultusunda belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışmada çok kriterli karar verme analizlerinden AHP ve Bulanık Mantık yöntemiyle rüzgâr enerji santrali en uygun yer analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde birbirinden farklı niteliğe sahip 13 faktörün rüzgâr enerji santrali yer seçimindeki etki değeri incelenmiştir. Hem AHP hem de Bulanık Mantık ve ağırlıklı çakıştırma analizleriyle elde edilen enerji santrali uygunluk değerleri uygun olmayan (Sınırlandırılmış), az uygun, uygun ve çok uygun olmak üzere dört farklı sınıfta gösterimi yapılmıştır. Rüzgâr enerji santrali yer seçiminin yapılabilmesi için birçok farklı kriter gerekmektedir. Yer seçiminin sağlanması için RES'lerin kurulamayacağı alanların belirlenerek, uygun olan yerlerin de birbirine göre önem değerlerinin tespiti gereklidir. Bu kapsamda hem AHP hem de Bulanık Mantık yöntemiyle elde edilen RES dağılım haritaları incelendiğinde Kastamonu ilinin çok büyük bir bölümünün RES kurulumu için yeterli olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu sonucun ortaya çıkmasında RES santralının kurulamayacağı alanların sonuç üzerindeki etkisinin olmaması için yeniden sınıflandırmada No Data verilerek çakıştırma analizlerinin gerçekleştirilmesi, arazi şartları ve farklı detay sınıflarına uzaklık şartları etkili olmuştur.

Analizden belde edilen bulgulara göre RES santrali kurulabilecek alanlar ilin kuzeyinde bulunan Doğanıyurt, Küre, Bozkurt, Devrekani gibi yerleşim merkezlerine yakın alanlarda yoğunlaşmaktadır. AHP yönteminde elde edilen bulgulara göre RES santrali kurulabilecek yerleşmelerin Küre, Devrekani ve İnebolu gibi ilçelerde olduğu görülür. Bulanık mantıkla elde edilen değerlere göre Küre, Doğanıyurt ve Cide çevresinde RES santrali kurulabilecek alanlar yoğunlaşmaktadır. Her iki yöntemde de çok

uygun sınıfların Küre ve Devrekani’de bulunduğu belirlenmiştir. Elde edilen uygunluk değerleri No Data olarak sınıflandırılan alanlarla karşılaştırılmış ve sonuç değerlerinin No Data olarak verilen (Sınırlandırılan) alanlarla örtüşmediği belirlenmiştir. Böylelikle işlemlerin doğru yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda elde edilen uygunluk sonuç değerleri Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası’yla karşılaştırıldığında sonuçların birbirine benzer olduğu ve modellerin uygunluk sınıflarını doğru tespit edebildiğini göstermektedir.

Kastamonu çevresinin engebeli ve yüksek olması, alanda iki tane milli park bulunması, ormanlık alanların fazla oluşu gibi nedenler rüzgâr enerji santralının kurulumunu sınırlandırmaktadır. Bu alanların analize dahil edilmemesi çevresel faktörlerin uygunluk değerini artırmaktadır. RES kurulum yeri faktör ve uygunluk sınıfları için yer seçimi analizlerinde her bir yerleşim biriminin niteliğinin birbirinden farklı olması bu durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Araştırmadan elde edilen bulgular göstermiştir ki, AHP yönteminin yanı sıra Bulanık Mantık yönteminin de kullanılması optimum yer seçimi analizinde alternatif sayısını artırmaktadır. Böylelikle yer seçimi analizlerinde daha farklı ve uygun seçeneklere ulaşmak mümkündür. Ancak araştırmadan elde edilen bulgular saha çalışmalarıyla desteklenerek sonuçlar daha ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışmada “CBS ve çok kriterli karar verme analiz yöntemleriyle rüzgâr enerji santralleri yer seçimi analizi; Kastamonu ili örneği” isimli TÜBİTAK 2209-A Üniversite öğrencileri araştırma projesi verilerinden yararlanılmıştır.

Kaynakça

- Albraheem, L., & Alawlaqi, L. (2023). Geospatial analysis of wind energy plant in Saudi Arabia using a GIS-AHP technique. *Energy Reports*, 9, 5878-5898. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.032>
- Altaş, İ. H. (1999). Bulanık mantık: Bulanıklık kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85.
- Arca, D., & Keskin Çıtıröğlü, H. (2020). Rüzgâr enerjisi santral (RES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Yenice ilçesi (Karabük) örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(2), 168-176.
- Baban, S. M., & Parry, T. (2001). 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)
- Barzehkar, M., Parnell, K., Soomere, T., & Koivisto, M. (2024). Offshore wind power plant site selection in the Baltic Sea. *Regional Studies in Marine Science*, 73, 103469. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103469>
- Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., & Chetpattananondh, K. (2007). *Site selection for large wind turbine using GIS*. PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment, Songkhla, Thailand.
- Can, G., Kocabaldır, C., & Yücel, M. A. (2024). Spatial multi-criteria decision analysis for site selection of wind power plants: a case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46(1), 4012-4028. <https://doi.org/10.1080/15567036.2024.2328826>
- Chen, G., Pham, T. (2001). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039818>
- Coşkun, S. (2021). Küre Dağlarının Kastamonu iklimi üzerindeki etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (77), 37-52. <https://doi.org/10.17211/tcd.833701>
- Coyle, G. (2004). The analytic hierarchy process (AHP), practical strategy, open access material. Erişim tarihi: 10.08.2024. <https://training.fws.gov/courses/references/tutorials/geospatial/CSP7306/Readings/AHP-Technique.pdf>
- ÇŞİDB. (2024). Dünyada korunan alanlar. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Erişim tarihi: 13.08.2024. <https://tvk.csb.gov.tr/korunan-alanlar-i-85717>

- Duran, C. (2017). Kastamonu ili ve yakın çevresinde sıcaklığın ve yağışın yöresel dağılımı. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(52), 509-517. <http://dx.doi.org/10.17719/jisr.2017.1911>
- Duran, C. (2021). Küre Dağları Milli Parkı çevresindeki yerleşim yerlerinin ve nüfusun coğrafi dağılımı. *Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşerî Bilimler Dergisi*, 5(2), 270-288. <https://doi.org/10.46452/baksoder.1012813>
- Ekiz, S., Şirin, A., & Erener, 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>
- EMBER. (2023). Global electricity review. Erişim tarihi: 10.08.2024. <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2023/>
- Enel Green Power. (2024). All the benefits of the wind power. Erişim tarihi: 28.05.2024. <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies/wind-energy/advantages-wind-energy>
- Enerji Atlası. (2024). Kastamonu elektrik santralleri. Erişim tarihi: 31.12.2024. <https://www.enerjiatlası.com/sehir/kastamonu/>
- Eroğlu, H. (2014). *Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve bulanık analitik hiyerarşi metodu (FAHP) kullanılarak rüzgâr santralleri için en uygun yer tayini*. Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu.
- EU. (2024). EU wind energy. European Union. Erişim tarihi: 30.05.2024. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/eu-wind-energy_en
- Flora, F. M. I., Donatien, N., Tchinda, R., Hamandjoda, O. (2021). Selection wind farm sites based on GIS using a Boolean method: evaluation of the case of Cameroon. *Journal of Power and Energy Engineering*, 9, 1-24 <https://doi.org/10.4236/jpee.2021.91001>
- Gherboudj, I. (2024). GIS-based suitability mapping for offshore and onshore wind energy in the United Arab Emirates, *Energy for Sustainable Development*, 80, 101439. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101439>
- Hall, S. (2024). GIS-based multi-criteria decision analysis for marine energy site selection: A case study comparison between Puerto Rico and Hawaii. *Environmental Studies Honors Papers*, 24.
- IEA. (2024). CO2 emissions in 2023. The International Energy Agency. Access date: 28.05.2024. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
- Ioannidis, D., & Vagiona, D. G. (2024). Optimal wind farm siting using a fuzzy analytic hierarchy process: Evaluating the island of Andros, Greece. *Sustainability*, 16(10), 3971. <https://doi.org/10.3390/su16103971>
- Kainz, W. (2007). *Fuzzy logic and GIS*. Univ. Vienna, Austria.
- Kaya, Ü., Caner, M., & Oğuz, Y. (2016). Rüzgâr türbin modelleri kullanarak Kastamonu ili rüzgâr ile elektrik üretim potansiyeli tahmini. *Technological Applied Sciences*, 11(3), 65-74.
- Korkmaz, M. S., Öztürk, N., & Harnuboğlu, S. (2023). Kırşehir il sınırları içerisinde Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) kurulumu için uygun sahaların mekânsal olarak belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 463-495.
- Köse, B., & Guneser, M. T. (2019). Assessment of wind characteristics and wind energy potential in West Black Sea Region of Turkey. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 20(3), 227-237. <https://doi.org/10.18038/estubtda.624359>
- Kurter, A. (1982). *Kastamonu ve çevresinin doğal görünümü*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No. 2930, İstanbul.
- KUZKA. (2025). Çevre ve enerji. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı. Erişim tarihi: 01.01.2025. https://www.kuzka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.kuzka.gov.tr_39_HT8N16LU_422_cevre_enerji.pdf
- Mello, G., Dias, M. F., & Robaina, M. (2020). Wind farms life cycle assessment review: CO2 emissions and climate change. *Energy Reports*, 6, 214-219. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.104>
- McGuire, L. (2023). 5 of the biggest renewable energy projects in 2023. Erişim tarihi: 30.05.2024. <https://www.nesfiroft.com/resources/blog/5-of-the-biggest-renewable-energy-projects-in-2023/>
- Mitchell, A. (2012). *The esri guide to GIS analysis, Volume 3 Modeling Suitability, Movement, and Interaction*. Redlands, California: Esri Press.

- MGM. (2024). Kastamonu merkez ilçesi 1930-2023 arası iklim verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi: 02.06. 2024. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KASTAMONU>
- Olabi, A. G., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112111>
- Özmen, B. (2011). Kastamonu ve yakın çevresi için deprem olasılığı tahminleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 54(3), 109-122.
- Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Rüzgâr enerji santrallerinin (RES) kuruluş yeri seçiminin CBS ile analizi: Hatay örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.
- Placide, G., & Lollchund. M. R., (2024). Wind farm site selection using GIS-based mathematical modeling and fuzzy logic tools: a case study of Burundi. *Frontiers in Energy Research*, (12). <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1353388>
- Ross, T. J. (1995). *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding* (Vol. 12). Springer Science & Business Media.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Sahin, G., Akkus, I., Koc, A., & van Sark, W. (2024). Multi-criteria solar power plant siting problem solution using a GIS-Taguchi loss function based interval type-2 fuzzy approach: The case of Kars Province/Turkey. *Heliyon*, 10(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30993>
- Solbrekke, I. M., & Sorteberg, A. (2024). Norwegian offshore wind power—Spatial planning using multi-criteria decision analysis. *Wind Energy*, 27(1), 5-32. <https://doi.org/10.1002/we.2871>
- Sunak, Y., Höfer, T., Siddique, H., Madlener, R., & De Doncker, R. W. (2015). *A GIS-based decision support system for the optimal siting of wind farm projects*. Aachen, Germany: Universitätsbibliothek der RWTH Aachen.
- Şahin, G., Koç, A., & van Sark, W. (2024). Multi-criteria decision-making for solar power-Wind power plant site selection using a GIS-intuitionistic fuzzy-based approach with an application in the Netherlands. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101307. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101307>
- Şener, B. (2017). The renewable energy potential of Turkish coasts and a concept design of a near shore sea platform. *Journal of Thermal Engineering*, 3(3), 1211-1220.
- Taibi, E., Bazilian, M., & Gielen, D. J. (2010). *Renewable energy in industrial applications. An Assessment of the 2050 Potential*. United Nations Industrial Development organization report.
- Taştan, B. (2021). *Bütünleşik afet risk maruziyetine yönelik coğrafi veri modelinin belirlenmesi*. (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. İstanbul.
- Tomuş, F. E. (2005). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak erozyon risk belirlenmesine yeni bir yaklaşım, Çorum ili örneği*. (Master tezi), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Towler B. F. (2014). *The future of energy*: Vol. 1st ed. Academic Press.
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik*, 6(3), 227-237.
- Vasudevan, V., Gundabattini, E., & Gnanaraj, S. D. (2024). Geographical Information System (GIS)-based solar photovoltaic farm site suitability using multi-criteria approach (MCA) in Southern Tamilnadu, India. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 105(1), 81-99. <https://doi.org/10.1007/s40032-023-01001-3>
- Vinhoza, A., & Schaeffer, R. (2021). Brazil's offshore wind energy potential assessment based on a spatial multi-criteria decision analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111185. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111185>
- Yaman, A. (2024). A GIS-based multi-criteria decision-making approach (GIS-MCDM) for determination of the most appropriate site selection of onshore wind farm in Adana, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02866-3>
- Yılmaz, D., Akkaya, S., & Vaheddoost, B. (2023). Gemlik ilçesi rüzgâr enerji santrali potansiyel yer analizi. *Geomatik*, 8(3), 264-276. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1209940>

- Yildiz, S. S. (2024). Spatial multi-criteria decision making approach for wind farm site selection: A case study in Balıkesir, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114158. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114158>
- Yerebakan, M. (2001). *Rüzgâr enerjisi*. İstanbul Ticaret Odası yayımları. Yayın no: 2001-33. İstanbul.
- Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93. <https://doi.org/10.1109/2.53>