

Derleme: Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin En Uygun Alanların Belirlenmesi Çalışmalarının Geçmişten Bugüne İncelenmesi

Aygün İrem YAVUZ^{1*}, Sinem ATAĞER BAYRAK², Ayfer ŞAHİN³, Dr. Metin TÜRKER⁴

¹Müh., Tarım ve Orman Bakanlığı – Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Çankaya/Ankara, aygunirem.guven@tarimorman.gov.tr

²Müh., Tarım ve Orman Bakanlığı – Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Çankaya/Ankara, sinem.ataker@tarimorman.gov.tr

³Müh., Tarım ve Orman Bakanlığı – Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Çankaya/Ankara, ayfer.sahin@tarimorman.gov.tr

⁴Dr. Tarım ve Orman Bakanlığı – Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Çankaya/Ankara, metin.turker@tarimorman.gov.tr

ÖZET

Yaşanan pandemi ve savaş sonrası karşılaşılabilecek diğer bir büyük felaketin, artan nüfus karşısında talebin karşılanamadığı enerji arzı olacağı öngörüler arasında yer almaktadır. Enerji için ithal ve ya fosil yakıtlara bağımlı olan ülkeler maliyetler ve çevre kirliliğinin artması ile karşı karşıya kalacaklardır. Globalleşen dünyada bir ülkede ve ya bölgede artan çevre kirliliği ve ekonomik sorunlar tüm dünyayı etkilemektedir. Bu nedenle her ülkenin kendi enerjisini üretmesi ve bu üretim esnasında çevreye verilen zararı minimuma indirirken maliyetlerini de azaltması gerekmektedir. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynağı alanlarının belirlenmesi ve hangi enerji kaynağının hangi alanda daha uygun olacağı konusunda araştırmalar yapılması, etkinlik-verimlilik analizlerinin gerçekleştirilmesi önem kazanmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama (Uz-Al), çoklu karar verme yöntemleri ve yapay zekâ algoritmaları aracılığı ile tüm yenilenebilir enerji kaynakları için kriterler belirlenerek analizler yapılmakta ve verimliliği yüksek olarak hesaplanan yenilenebilir enerji türü için uygun alanların belirlenmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada CBS ve Uz-Al teknolojileri ile yenilenebilir enerji yatırım alanlarının belirlenmesi çalışmalarının hangi tarihlerden itibaren yapıldığı, bu araştırmalarda kullanılan; metodlar, karar verme sistemleri, arazi kullanımı, sıcaklık, nem ve ekolojik etkilere ilişkin verilere yönelik belirlenen kriterler ve edinilen sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yenilenebilir Enerji, CBS, Uzaktan Algılama, Uygun Alanlar

ABSTRACT

REVIEW; DETERMINATION OF SUITABLE AREAS FOR RENEWABLE ENERGY RESOURCES FROM PAST TO PRESENT, USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING METHODS

After the pandemic and the Russian-Ukraine war, it is among the predictions that another major disaster to be encountered will be the energy supply, where the demand can not be met in the face of the increasing population. Countries that need to import energy or fossil fuels for energy will face economic problems and environmental pollution. Increasing environmental pollution or economic problems in a country or region in the globalizing world affect the whole world. Therefore, it is also important to conduct research on the use of renewable energy sources, which energy source system will be more beneficial to establish in which area, and to carry out efficiency analyzes. By using of Geographical Information Systems (GIS), remote sensing (RS), multiple decision making methods and artificial intelligence algorithms, criteria are determined for all renewable energy resource areas and analyzes are made and suitable areas for renewable energy type with high efficiency can be determined. In this study, the determination of investment areas of renewable energy resources for how long has been carried out with GIS and RS technologies, the criteria determined such as the methods used, decision-making systems, land use, temperature, humidity and ecological effects and the results obtained.

Key words: Renewable Energy, GIS, Remote Sensing, Suitable Areas

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler (BM), Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi Başkanlığı çalışmaları ile sürdürülebilir yaşam için hazırlanan 2030 yılı, 17 adet sürdürülebilir kalkınma hedefinden (Şekil1), 7. başlık (Şekil2) ekonomik ve temiz enerji hedeflerine yöneliktir. Bu kapsamda tüm insanların ucuz ve çevreye zarar vermeyen modern enerji kaynaklarına ulaşması hedeflenmektedir (BM).



Şekil1. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (BM Türkiye)



Şekil 2. 7. Sürdürülebilir kalkınma amacı (BM Türkiye)

Yenilenebilir enerji kaynak çeşitleri incelendiğinde sundukları temiz hava, sıfıra yakın sera gazı emisyonu ve sürekliliğin yanında kuruldukları alanların seçiminde; çevreye olan etkileri, fayda/maliyet gibi ekonomik kriterler oldukça önemlidir. Doğru enerji kaynağı için en uygun alanın seçimi ve elde edilen enerjinin kullanılacağı alanın efektif bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynak alanlarının belirlenmesinde tek bir enerji kaynağı için çalışmalar olduğu (M.Sánchez-Lozano vd., 2013; Tercan vd., 2021; Senocak ve Goren, 2021; Türk vd., 2021) gibi hibrid olarak tabir edilen iki veya daha fazla kaynağın birlikte kullanımı için de çalışmalar yapılmaktadır. Bu seçenek ile yenilenebilir enerji kaynaklarında sürekliliğin sağlanabileceği belirtilmektedir (Aydın vd., 2012; Saraswat vd., 2020; Karipoğlu vd., 2022). Bu ihtiyaçların karşılanması için CBS ve Uz-AI teknolojileri ve yapay zeka algoritmaları aracılığı ile kriterler belirlenerek analizler yapılabilir ve belirlenen potansiyel alanlar için ihtiyacın belirlendiği pazarlara en kısa uzaklık analizleri, tampon bölge çalışmaları, optimizasyon analizleri, spektral yansıma değerleri ile birçok mekânsal analiz gerçekleştirilebilmektedir. Bu derleme çalışmasında dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynakları için yatırım alanlarının belirlenmesinde; CBS ve Uz-AI teknolojilerinden yararlanılmasına ilişkin ilk çalışmalardan bu yana veri, metot, kriter ve sonuç incelemeleri yapılmıştır.

2. ÇALIŞMALAR

2.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri Analizleri İle Yenilenebilir Enerji Potansiyel Alanlarının ve Politikalarının Belirlenmesi Çalışmaları

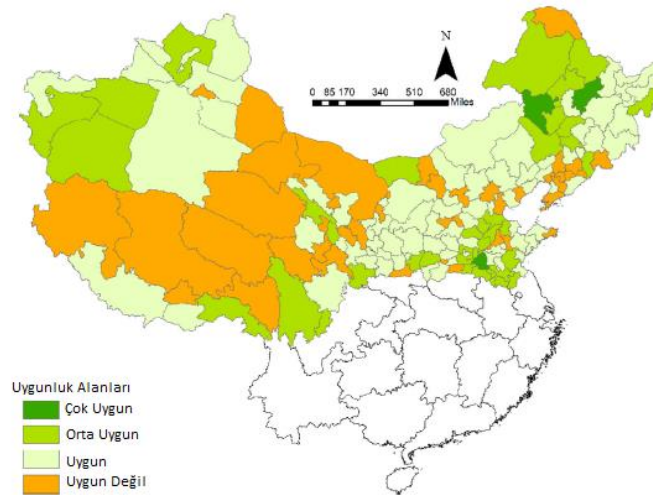
Yenilenebilir enerji kaynak alanlarının CBS ve Uz-AI çalışmaları ile belirlenmesi çalışmalarında karar verme yöntemi olarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden (ÇKKV) yararlanılmaktadır. ÇKKV yöntemleri olmadığı zamanlarda yenilenebilir enerji kaynak alanlarının belirlenmesine yönelik yapılan ilk çalışmalarda karar verme yöntemi olarak ta CBS

teknolojilerinden yararlanılmıştır ve tasarlanan sisteme A Decision Support System (RES-DSS) adı verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları için maliyet ve coğrafi özelliklere ilişkin tüm detaylar bu sistemler ile ortaya çıkarılmıştır (Voivontas vd., 1998). Daha sonra yapılan çalışmalarda ÇKKV uygulanarak öncelikle belirlenen kriterlerin sistemde ne kadar etkin olacağı Çizelge1'deki gibi ağırlıklandırmalar yapılarak belirlenmiştir. ÇKKV uygulanarak elde edilen sonuçlar CBS veri tabanları ile çalışılmış ve sonuçların desteklenmesi sağlanmıştır (M.Sánchez Lozano vd., 2013; Günen, 2021). Kriter olarak bahsedilen öğeler yenilenebilir enerji kaynak alanlarının tespitinde göz önünde tutulması gereken arazi yapısı nedeniyle oluşabilecek erişimin kolaylığı, ana halterlere ve demiryolları gibi ağlara uzaklığı, iklim özellikleri gibi coğrafi özelliklere dayalı teknik detaylar olabildiği gibi zaman içinde oluşan tecrübelerden elde edilen insan ve diğer canlıların yaşam alanlarına olan etkiler gibi sosyal içeriklerden de oluşmaktadır.

Çizelge1. Ağırlıklandırmalara Örnek (M.Sánchez-Lozano vd., 2013)

Kriter	Ağırlık	Faktör	Faktörün Ağırlığı
Çevresel	5.553	Tarıma Elverişlilik	5.553
Topografya	17.259	Arazi Eğimi	11.203
		Arazi Yönelimi	4.815
		Düz Alanlar	1.241
Konum	48.625	Yerleşime Uzaklık	2.849
		Ana Yollara Uzaklık	4.291
		Trafolara Uzaklık	8.946
		Enerji Hatlarına Uzaklık	32.539
İklim	28.562	Güneş Alma Potansiyeli	23.802
		Ortalama Sıcaklık	47.604

Enerji sisteminin kurulacağı alanda elverişli tarım alanlarının bulunmaması, sit alanları gibi arazi kullanımları da değerlendirilmektedir. Hibrid sistemlerde ise rüzgârlılık, rüzgar hızı ve güneşlilik zamanları ayrıca yüzeyden yansıyan ışın miktarları ve su akış yönleri de kriterlere eklenerek yine CBS ortamında belirlenmektedir (Aydın vd., 2012; Günen, 2021). Bu çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının ömrü, maliyeti, teknolojisi, üreteceği enerji gibi kriterlerin optimizasyonu ve modellemeleri için hazırlanan yazılım programlarından olan Hybrid Optimization And Modeling Of Electrical Renewables (HOMER) yazılımından yararlanılmıştır (Bekele ve Tadesse, 2011). Yine aynı amaca hizmet eden Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Simulated Annealing (SA) gibi yazılımlara ilişkin bilgiler de literatürde bulunmaktadır (Erdinc ve Uzunoğlu, 2011).



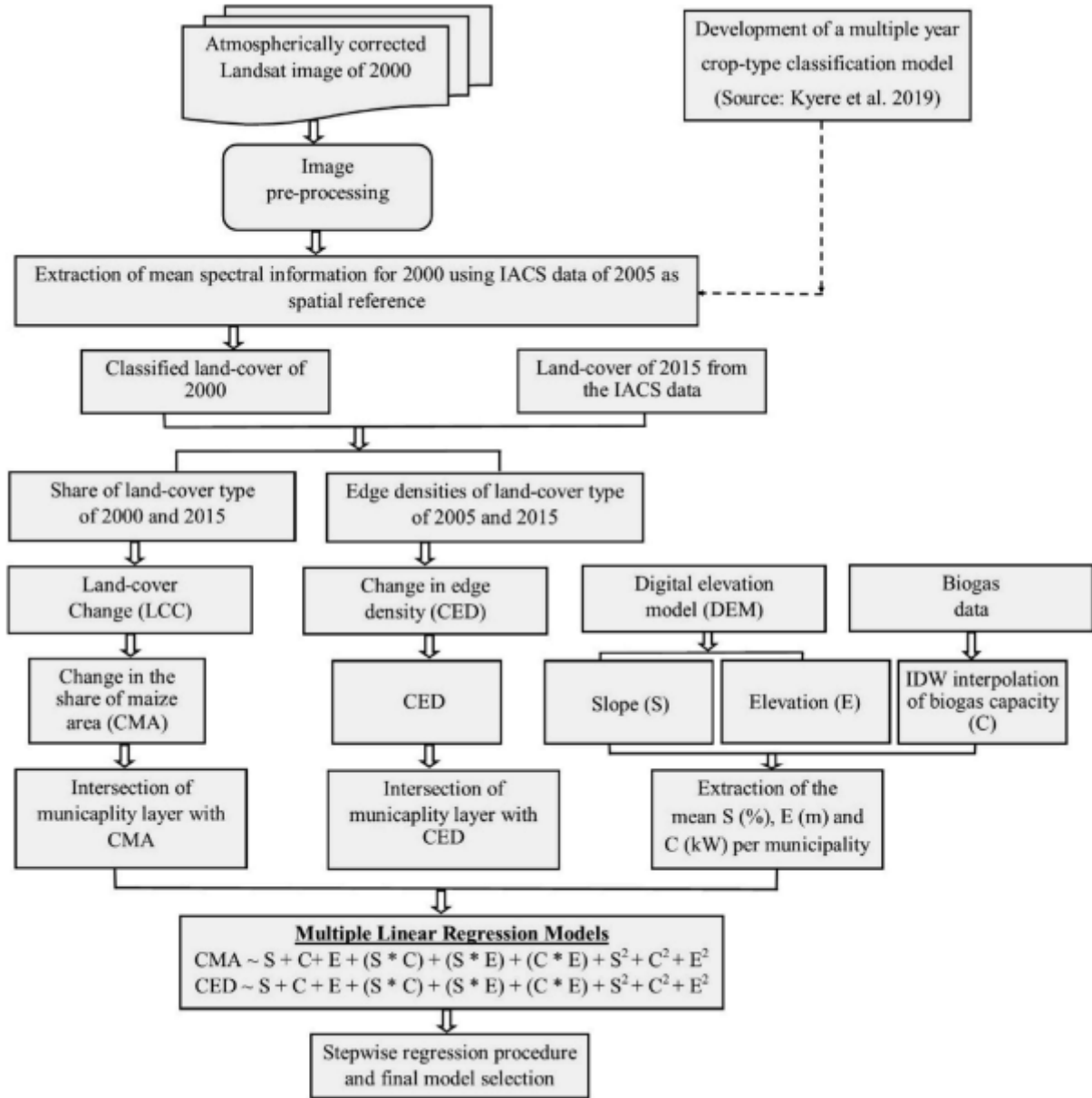
Şekil 3. Biyokütle ve güneş enerjisinin birlikte kullanımının uygunluk seviyelerini gösteren harita (Ma C. vd., 2022)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle ve güneş enerjisi potansiyelleri için yapılan bir çalışmada global karbon emisyonunun %27 sine sebep olan ülke Çin'in merkezi alanları için hesaplanan potansiyel biyokütle enerji değerinin aynı bölgedeki enerji arzı ile orantısını gösteren ve "surplus" olarak adlandırılan değerler hesaplanmıştır. Bu değeri elde edilecek enerjinin kendi kendine yeterliliği olarak tanımlamak mümkündür (Ma C. vd., 2022). Güneş enerjisinin çalışma alanında belirlenen farklı güneş radyasyon değerlere bölünmüş ve bu bölümlerin alan değerleri CBS yazılımları aracılığı ile geometrik alan olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma alanında bulunan bina alanları ve insan popülasyonu da göz önüne alınarak bina alanına denk gelecek kullanılabilir güneş radyasyonu hesaplanmıştır. Tarım, orman ve evsel atıklara ilişkin biyokütle değerleri, mevcut konumdaki enerji talep değerleri ve biyokütle ve güneşten elde edilebilecek potansiyel toplam enerji ile enerji arzı oranları (surplus), karbon emilimi değişik koşullar için hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre CBS ortamında hazırlanan haritalar çakıştırma yöntemi ile yine CBS ortamında analiz edilerek güneş enerjisi ve biyokütle enerji potansiyel alanlarının ve toplam enerji potansiyel alanları Şekil 3'de görüldüğü gibi haritalanmıştır. Bu yöntem ile biyokütleden elde edilecek ısı enerjisinin ısıtma teknolojisinde büyük rol oynamasının yanında güneş enerjisinin de ısıtma sistemlerinde yardımcı olarak kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Bu da, biyokütlenin uzun mesafeler kat ederek karbon emisyon değerlerini artırması gibi bir çelişkiyi ortadan kaldırarak yenilenebilir bir ısınma enerjisi kazanılmasına fayda sağlayabilecek bir sonuç olarak görülmektedir (Ma C. vd., 2022).

Herkesin erişim sağlayabildiği güvenilir, modern enerji politikalarının belirlenmesi kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik kriterlerin belirlenmesinde de destekleyici bir sistem olarak CBS yeteneklerinden yararlanma çalışmaları, Polonya'nın Zielona G'ora şehri için uzmanlar ile çalışarak gerçekleştirilmiştir. Sosyal, ekonomik, teknolojik ve şehir yapılarına yönelik kriterler belirlenmiş, senaryolara göre sorular oluşturulmuş, CBS yardımı ile Bulanık Mantık ve ÇKKV yöntemleri neticesinde elde edilen sonuçların görselleştirilmesi, sunulması ve mekânsal analizler ile politikaların değişimi ayrıca oluşabilecek finansal ve çevresel etkilerin hızlıca gösterilmesi sağlanmıştır. Şehir kriterlere göre öncelikle bölgelere ayrılmıştır. Bölgelerin enerji potansiyelleri senaryolar özelinde hesaplanmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Diğer şehirlerde de yapılabilecek bu çalışma ile bir ülke kapsamında kendi içinde dahil farklı özelliklere sahip olan şehirler için birçok kriter ve senaryo oluşturularak politika yapıcılara bütünsel bir bakış açısı sağlanabilmektedir (Mr'owczy'nska vd., 2021).

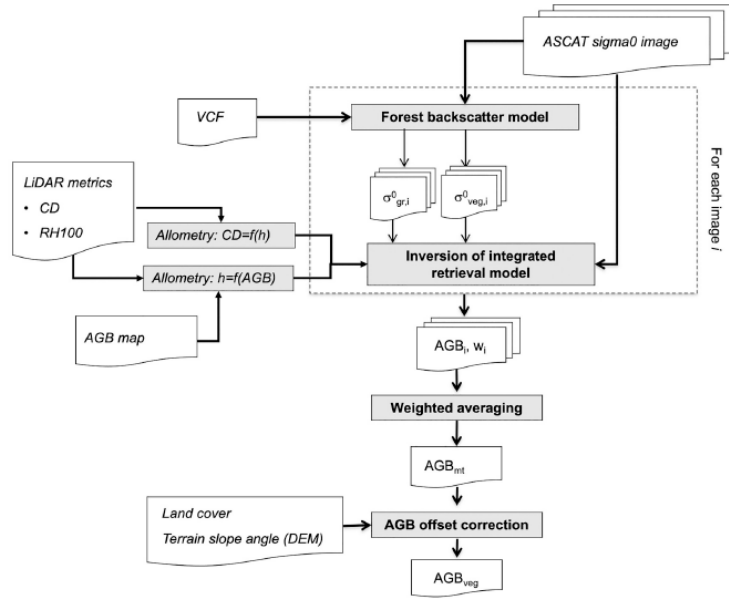
2.1.2 Uzaktan Algılama Nokta Bulutları ve Uydu Görüntüleri İle Yenilenebilir Enerji Potansiyel Alanlarını Belirleme Çalışmaları

CBS yeteneklerinden yararlanarak analizler yapılan sistemlere ek olarak uzaktan algılama yöntemleri ve yapay zekâ uygulamalarını da sisteme katarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. CBS ve Uz-Al verilerini birleştirerek yapılan çalışmalara bir örnek olarak; Almanya Kuzey Hessen bölgesinde yapılan çalışma incelenebilir. Biyokütle ile enerji üretiminin tarım alanlarında oluşturduğu zamansal değişimi incelemek için ülkede daha önce kurulmuş olan ve tarımsal desteklemelere, dolayısıyla ürün desenine, ilişkin bilgilerin CBS ortamında tutulduğu Entegre İdare Kontrol Sistemi (EİKS) ve Landsat görüntüleri ayrıca doğrusal regresyon modelleri kullanılarak Şekil4'te gösterilen akış şemasına uygun olarak 2000-2015 yılları arasında inceleme ve analizler gerçekleştirilmiştir. Landsat uydu görüntülerinden özellikle erken ve geç büyüme sezonlarında atmosferik düzeltmeleri yapılmış görüntüler elde edilerek Random Forest (RF) algoritması ile sınıflandırmalar yapılmıştır. Vegetasyondaki farklı büyüme aşamalarını elde ederek daha hassas ürün tahmin sınıflaması yapabilmek için erken ve geç büyüme dönemlerinde görüntülerin elde edilmesi, işlenmesi ve mozaiklenmesi sağlanmıştır. Böylece Landsat görüntülerinden elde edilen 6 band ile Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Gelişmiş Bitki Örtüsü İndisi (EVI), Toprak İndisi (SAVI), Normalize Edilmiş Fark Toprak Nem İndisi (NDMI) olmak üzere 4 adet vegetasyon indisi elde edilmiştir. Oluşturulan model 2000 ile 2015 yılları arasındaki görüntülere uygulanarak değişimler elde edilirken EİKS'te bulunan ürünlere ilişkin poligon saha verileri ile de daha doğru tahminleme yapılması sağlanmıştır. Burada elde edilen tablo verileri CBS aracılığı ile poligonlara tanımlanabilmektedir. Biyokütlesi aracılığı ile enerji üretilen ekinlerin konumları coğrafi bilgi sistemleri veri tabanında noktasal olarak işaretlenmiştir. Alanın sayısal yükseklik modeli ücretsiz olarak web ortamında bulunan sağlayıcılarından elde edilmiş, EİKS verilerinden de yararlanılarak arazi örtüsü mera, mısır, yazlık ve kışlık ürünler olmak üzere 4 ana gruba ayrılarak 2000 ile 2015 yılları arasındaki değişimler incelenmiştir. 2000-2015 yılları arasındaki EİKS verilerinden elde edilen arazi sınırlarının bağlı olduğu ürün sınırlarındaki farklar yine CBS ortamında hesaplatılmıştır (Kyere vd., 2021).



Şekil 4. Çalışmanın akış şeması (Kyere vd., 2021)

Uzaktan algılama teknolojisinden yararlanan diğer çalışmalar ise LİDAR ve uydu görüntülerinden faydalanarak biyokütle enerji alanlarını ve biyokütle hesaplamalarını yapabilmektedir. (Şekil5) Above Ground Biomass (AGB) olarak adlandırılan; ürün, ağaç veya çalı gibi bitkilerin toprak üstünde kalan kuru kütlelerinin hesaplanması, biyokütleden enerji üretiminin hesaplanabilmesi için uydu, İHA görüntüleri veya LİDAR ile elde edilen nokta bulutlarından yararlanılmaktadır (Torre-Tojal L. vd., 2022, Sangjan,W.vd., 2022; M. Santoro vd., 2022).



Şekil 5. AGB tahmin yöntemi akış şeması örneği (M. Santoro vd., 2022)

Bu çalışmalarda makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılması araştırmaları literatürde oldukça fazla olarak görülebilmektedir (Sharma, P. v.d., 2022; Tappayuthpijarn ve Vindevogel 2021). Yapay zekâ algoritmaları yenilenebilir enerji çalışmalarında özellikle biyokütle enerjisinin tespitinde kullanılmıştır. İnsansız Hava Araçları (İHA) ve uydu verilerinden elde edilen veriler ve yapay zekâ algoritmaları kullanılarak toprak üstü biyokütle (AGB) tespitleri yapılmıştır (Sharma, P v.d.,2022; Tappayuthpijarn ve Vindevogel 2021). Orman atıkları olarak adlandırılan odunsal biyokütle tahmin hesaplarında yararlanılan nokta bulutu verileri ile yapılan çalışmalarda, daha önce oluşturulan ulusal ağaç envanterlerinde yer alan arazi verileri de modele katılmaktadır. Nokta bulutu verileri obje bazında filtrelenerek arazi yüzey modeli ve bitki yüzey modeli aracılığı ile bitki yükseklikleri hesaplanmakta ağaç taç genişlikleri için allometrik denklemler uygulanmaktadır. Lidar sistemleri, allometrik denklemler, uydu bantları ile elde edilen vejetasyon indisleri ile uzaktan algılama teknolojilerinden yararlanan çalışmalar arazi ölçümleri ve CBS yetenekleri ile biyokütle değerlerini hesaplayarak Random Forest, Decision Tree gibi yapay zekâ algoritmaları ile süreklilik oluşturabilmektedir.

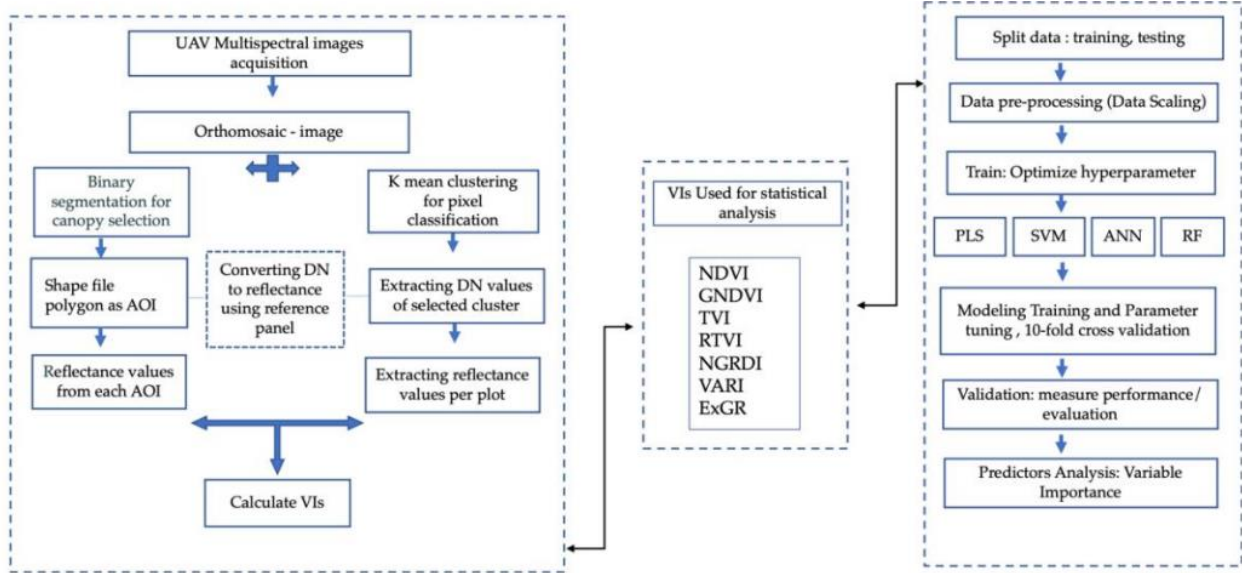
Sharma vd., (2022) yulaf bitkisi için biyokütle değerlerinin araştırıldığı çalışmalarında Volga, Güney Shore ve Beresford'da bulunan yulaf bitkisi ekim alanlarında bitki sapa kalkmadan ve sapa kalktıktan sonraki büyüme evrelerinde ayrıca pas şiddetlerinin de olduğu dönemde görüntü alımları ile farklı ve çeşitli vejetasyon indisi verileri elde edilmiştir. Bu veriler Partial Least Squares (PLS), Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network (ANN) ve Random Forest (RF) makine öğrenmesi yöntemlerinde kullanılmak üzere elde edilmiştir (Sharma, P v.d., 2022). Taç pas şiddeti tüm alandaki yaprak alanlarının yüzdesi alınarak hesaplanmıştır. Bitki yem için hasat edildiğinde toprak üzerinde kalan miktar ölçülmüştür. Kuru madde içeriği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Madde İçeriği (\%)} = \frac{\text{Kuru Biyokütle Ağırlığı}}{\text{Yaş Ağırlık}} \quad (1)$$

$$\text{Kuru Biyokütle} = \frac{\text{Yaş Biyokütle} * \text{Kuru Madde İçeriği}}{100} \quad (2)$$

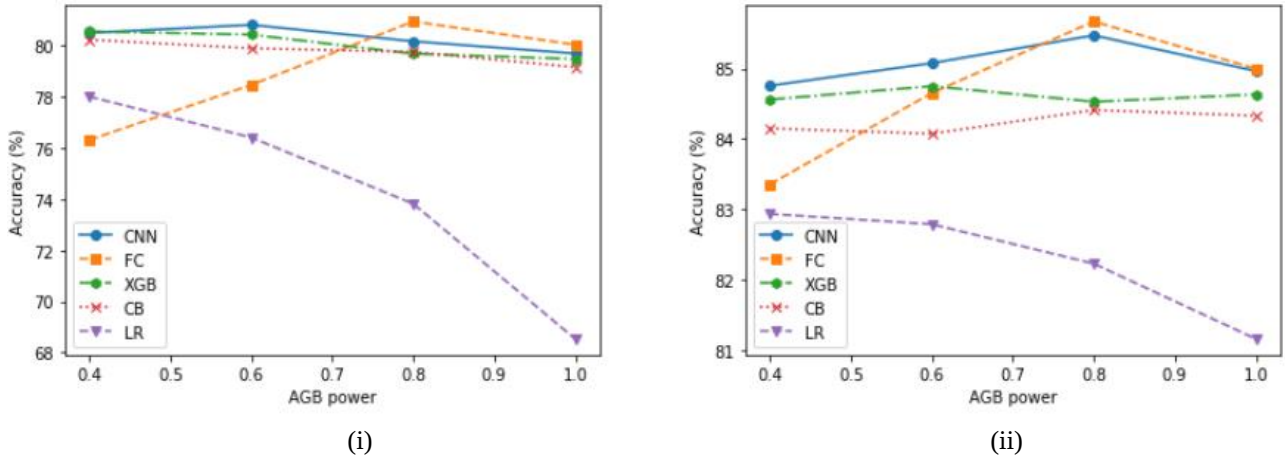
10 adet yer kontrol noktası belirlenmiş ve 0.7 cm çözünürlükte görüntüler elde edilerek görüntü işleme adımları takip edilmiş ve orto mozaikler oluşturulmuştur. Elde edilen veriler ile biyokütle ve vejetasyon indisleri arasında korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak veri seti için görüntüden elde edilen yansıma değerleri ile sahadan elde edilen biyokütle değerleri eşleştirilmiş ve PLS, SVM, ANN ve RF makine öğrenme algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. PLS yaklaşımının doğrusal regresyon ile tahmin edici parametrelere uygunluğu kullanılmıştır. Algoritmalarından yine doğrusal regresyon ile veri noktalarını belirgin bir şekilde sınıflandıran ve karar sınıfı olarak bilinen sürekliliği tahmin eden hiper düzlem oluşturmayı sağlayan SVM Doğrusal Metodu uygulanmıştır. RF algoritmasının temel olarak bitki tahminlerinin bir kombinasyonu üzerinde çalışması, her bitki rastgele bir vektörün (ormandaki ağaçların geri kalanı için benzer dağılıma sahip bağımsız olarak örneklenen) çapraz doğrulama değerleri ile bağımlılığı için

kullanılmıştır. ANN ile bilgisayar ortamında tekrarlanan yapay sinir ağları ve eşikleri kullanılmıştır. Ağın bilgisayar çıkış hataları beklenen değerine ulaştığında ağ eğitimi görevini tamamlanmıştır. (Şekil6) Volga ve Beresford lokasyonlarında vejetasyon indisleri ile kuru biyokütle değerlerinin pozitif korelasyona sahip olduğu, güney Shore lokasyonunda ise önemli bir korelasyon oluşmadığı tespit edilmiştir. Tek bir konumda (Beresford) varyans değerinin %70'i RF, SVM ve PLS algoritmaları ile tanımlanabilmektedir. Konumlar arasında farklılıklar olsa da bu çalışma ile İHA kullanımı ve makine öğrenmesi ile biyokütle tahmini yapılmasının uygun olacağı ortaya konmuş daha iyi sonuçlar elde etmek için yer kontrol noktası sayısı ve çok yıllık görüntü alımlarının faydalı olacağı belirtilmiştir (Sharma, P. vd.,2022).



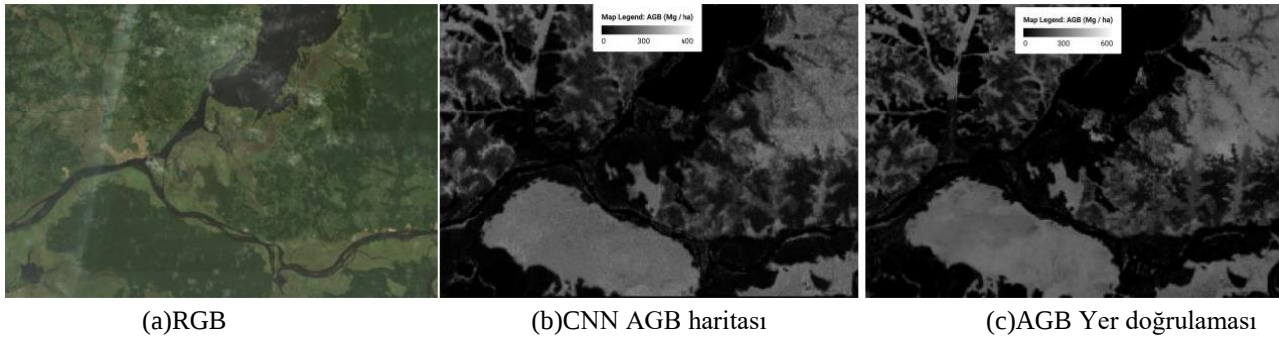
Şekil 6. Makine öğrenmesi yöntemlerini çalışmaya katan akış şeması örneği (Sharma, P vd.; 2022)

Tappayuthpijarn ve Vindevogel (2021) Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde (DRC) yaptıkları çalışmada ücretsiz olarak ulaşılabilir uydu verileri ile geniş alanda araştırma gerçekleştirmişlerdir. Daha önceki çalışmalarda sınırlı sayıda AGB eğitim verisi bulunduğu için uydu verileri ile eşleştirme ve istatistik oluşturmada limitlerin yaşandığını belirten yazarlar bu gibi sınırlamalardan kaçınmak için; eğitilebilir verinin yaklaşık 10 katı kadar AGB eğitim verisinin kullanılmasına, üretilen Deep Neural Network (DNN) bazlı modellerin kullanılabilirliğinin devamlılığının sağlanması için uydu ve saha verilerinin gelecek birkaç yıl için ulaşılabilir veriler olabilmesine önem vermişlerdir. Bunun için tüm dünya üzerinde veri alabilen ve tekrar geçiş zaman aralığı kısa olan Avrupa Uzay Ajansının (ESA) ürünü, Sentinel-1 Sentinel-2 uydu verileri ile çeşitli vejetasyon indisleri üretilmiştir. Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından üretilen yaprak alan indeksleri (LAI), ESA tarafından üretilen Copernicus Global Arazi Örtüsü Sınıfları ve Ağaç Alanları, 2015 yılında DRC için yüksek doğrulukla LİDAR ölçümleri ile üretilen AGB haritası üretilmiştir. Bu alanın uydu görüntüleri ile aynı alanda olacak şekilde kullanılması sağlanmıştır. Görüntü verileri ile AGB haritası verileri arasındaki korelasyon değerleri elde edilmiş ve üretilen vejetasyon indisleri ile daha yüksek korelasyon oluştuğu tespit edilmiştir. Girdi özellikleri ile hedef değişkeni arasındaki doğrusal ilişkileri varsayan Lineer Regresyon (LR), Ağaç Tabanlı, birden fazla zayıf ağaçtan oluşturulan bir topluluk modeli olan XGBoost (XGB) ve afin dönüşüm katmanları ardından birbiri üzerine yığılmış doğrusal olmayan bir dönüşüme sahip DNN modelinin daha basit bir mimariye sahip olan Fully Connected sinir ağı (FC), ve bir giriş görüntüsüyle çalışmak üzere tasarlanmış DNN modeli olan Convolutional Neural Networks (CNN) modelleri eğitilmiştir (Tappayuthpijarn ve Vindevogel 2021).



Şekil 7. AGB tahmin doğruluğu: i) Global arazi örtüsü sınıfları, ii) Geniş yapraklı ormanlar (Tappayuthpijarn ve Vindevogel 2021)

Şekil 7’de görüldüğü üzere FC ve CNN modelleri her iki senaryoda da en iyi tahmin sonuçlarını vermiştir. CNN modeli tüm arazi sınıfları için en yüksek doğruluğu verirken (%80,812), FC modeli geniş yapraklı orman alanları için en doğru sonuçlara (%85,669) ulaşmıştır. Şekil 8a’da seçilen bir alanın RGB görüntüsü ve Şekil 8b’de aynı alanın CNN modeli ile oluşturulmuş AGB haritası ve Şekil 8c’de yine aynı alanın AGB yer doğrulama haritası görülmektedir (Tappayuthpijarn ve Vindevogel 2021).



Şekil 8. Test Alanı

3.SONUÇ

Sağlık, çevre, tarım, ulaşım, politika geliştirme gibi tüm güncel konularda yetenekleri kullanılarak zaman, iş gücü ve paradan tasarruf sağlayan ve bütüncül bir bakış açısı sağlayabilen CBS ve Uz-Al teknolojileri ile yenilenebilir enerji kaynak alanları için de birçok araştırma ve proje geçmişten günümüze gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaların bazıları eğitim, ulaşım ağları, korunan alanlar, tarım alanları, spektral yansıma değerleri ve diğer arazi kullanım verilerinden yararlanılarak en uygun alanları belirlerken tekil veya hibrid kaynaklarının kullanımlarının uygunluğu da belirlenmektedir. Ayrıca enerji politikalarının geliştirilmesinde, enerji uygunluk alanları için sıcaklık, rüzgârlılık, su alanları gibi çalışmalarda da ÇKKV yöntemleri ile birlikte mekânsal anlamda analiz ve sunumlar sağlayıcı yetenekleri ile CBS destekleyici bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapay zekâ algoritmaları ile yapılan sınıflandırmalarda da CBS ve Uz-Al araçlarının kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Uydu görüntüleri ve bu görüntüleri işleyen programlar ve algoritmaların olmaması durumunda çalışma yapılmak istenen her araziye gidilerek arazi kullanımlarının, yüzey yükseklik modellerinin ölçülmesi, koordinatlandırılması ve belirlenmesi aylar sürecektir maliyetli bir çalışmayı gerektirmektedir.

Yenilenebilir enerji alanlarına yönelik çalışmalarda birçok web tabanlı CBS platformu da kullanıcılara sunulmaktadır. Ülkemizde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının “Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası” yararlanıcılar tarafından kullanılan çevrimiçi CBS ara yüzü olup, Bosna Hersek’in; “Biomass Potential Mapping In Bosnia And Herzegovina” CBS web platformu 2017 yılına kadar olan verileri sunmaktadır. Ayrıca “Global Wind Atlas” tüm dünya için veri sağlayan yine çevrimiçi CBS platformu olarak örnek gösterilebilir.

Özellikle biyokütle alanlarının belirlenmesinde, görüntü işleme yöntemlerinden ve yapay zeka algoritmalarından yararlanan web tabanlı CBS platformları teknolojinin en güncel haliyle kullanıldığı arayüzlerdir. Hindistan'ın "Spatial Information System of Biomass Potential from Crop Residues Bhuvan, JAIVOORJA", Finlandiya'nın "Biomassa Atlas" arayüzleri bu uygulamalar için güzel örneklerdir. Yapay zekâ, CBS ve Uz-Al yetenekleri ile oluşturulan bu platformlar çevrim içi olarak kullanımına sunulan ara yüzler olup yararlanıcılara fayda sağlarken veri güvenliğini de sağlamaları mümkündür.

Artan nüfus karşısında yetersiz kalmaya başlayan fosil yakıtlar terk ederek, gelişen teknoloji ve sürdürülebilir yaşam hedeflerinden biri olan mümkün olduğu kadar az - hatta sıfır emisyon amacına uygun olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu yönelim için uygun alanların, politikaların, ürünlerin belirlenmesinde CBS ve Uz-Al yeteneklerinden yararlanmak bizlere gelişen teknolojiye uyumlu hızlı çözümler üretmektedir. Bu amaçlar ile diğer algoritmalarından da yararlanarak destekleyici unsur olarak bu teknolojilerin araştırmalara ve projelere dâhil edilmesi sürdürülebilir yaşam hedeflerine ulaşma konusunda önemli bir yardımcıdır.

4.TEŞEKKÜR

Bu derleme, Türkiye'deki tarımsal biyokütle potansiyelini değerlendirmek adına, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) ve Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO), Küresel Çevre Fonu (GEF) finansörlüğünde yürütülen "Türkiye Ekonomisinin Yeşil Büyüme Yolunda Kalkınmasını Desteklemek Amacıyla Sürdürülebilir Biyokütle Kullanımı Projesi" kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Aydin, N. Y., Kentel, E. ve Duzgun, H.S., 2012, GIS-Based Site Selection Methodology For Hybrid Renewable Energy Systems: A Case Study From Western Turkey, Energy Conversion And Management 70(2013)90–106, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.004>.

Bekele, G. ve Tadesse, G., 2011, Feasibility Study Of Small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid ruralelectrification in Ethiopia, Applied Energy 97 (2012)-15, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.059>.

Birleşmiş Milletler Türkiye, <https://turkiye.un.org/tr/sdgs/7>, (26/10/2022).

Bosna Hersek, Biomass Potential Mapping In Bosnia And Herzegovina, <http://atlasbm.bhas.gov.ba/>, (27/10/2022).

Erdinc, O. ve Uzunoğlu, M., 2011, Optimum Design Of Hybrid Renewable Energy Systems: Overview Of Different Approaches, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(2012), 1412–1425, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.011>.

Finlandiya, Biomassa Atlas, <https://biomassa-atlas.luke.fi/?lang=en>, (27/10/2022).

Global Rüzgar Atlası, <https://globalwindatlas.info/en>, (27/10/2022).

Günen, M. A. (2021), Evaluation Of GIS Based Ranking And AHP Methods In Selecting The Most Suitable Site: A Case Study in Kayseri, Türkiye, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-239049/v1>

Hindistan, Spatial Information System of Biomass Potential from Crop Residues Bhuvan, JAIVOORJA, <https://bhuvan-app1.nrsc.gov.in/bioenergy/index.php>, (27/10/2022).

Karipoğlu, F., Genç, M.S. ve Akarsu, B. 2022, GIS-based optimal site selection for the solar-powered hydrogen fuel charge stations, Fuel 324(2022), 124626, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124626>.

Kyere, I., Astor, T., Graß, R., Fricke T. ve Wachendorf M., 2021, Spatio-Temporal Analysis of The Effects Of Biogas Production On Agricultural Lands, Land Use Policy 102(2021), 105240, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105240>.

Ma, C., Zhang, Y. ve Li T., 2022, GIS-Based Evaluation Of Solar And Biomass Perspectives – Case study of China Regions, Cleaner Production, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132013>.

M.Sánchez-Lozano, J., Teruel-Solano, J., L.Soto-Elvira, P. ve García-Cascales, M.S., 2013, Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case Study in south-eastern Spain, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>.

Mr'owczyńska, M., Skiba, M., Sztubecka, M., Bazan-Krzywoszańska, A., Kazak J.K. ve Gajownik, P., 2021, Scenarios as a tool supporting decisions in urban energy policy: The analysis using fuzzy logic, multi-criteria analysis and GIS tools, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 137(2021), 110598, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110598>.

Santoro M., Cartus O., Wegmüller U., Besnard S., Carvalhais N., Araza A., Herold M., Liang J., Cavlovic J., Engdahl M. E., 2022, Global Estimation Of Above-Ground Biomass From Spaceborne C-Band Scatterometer Observations Aided By LIDAR Metrics Of Vegetation Structure, *Remote Sensing of Environment* 279 (2022) 113114, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113114>

Sangjan,W., McGee, R.J. ve Sankaran, S., 2022, Optimization of UAV-Based Imaging and Image Processing Orthomosaic and Point Cloud Approaches for Estimating Biomass in a Forage Crop. *Remote Sens.* 2022, 14, 2396, <https://doi.org/10.3390/rs14102396>.

Saraswat, S.K., Digalwar A. K., Yadav S.S. ve Kumar G., 2020, MCDM and GIS Based Modelling Technique For Assessment Of Solar And Wind Farm Locations In India, *Renewable Energy* 169 (2021) 865e884, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.056>

Senocak, A.A. ve Goren H. G., 2021, Forecasting The Biomass-Based Energy Potential Using Artificial Intelligence And Geographic Information Systems: A Case Study, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.04.011>

Sharma, P., Leigh, L., Chang, J., Maimaitijiang, M. ve Caffé, M., 2022, Above-Ground Biomass Estimation in Oats Using UAV Remote Sensing and Machine Learning. *Sensors* 2022, 22, 601. <https://doi.org/10.3390/s22020601>

Tappayuthpijarn K. ve Vindevogel B.S., 2021, High-accuracy Machine Learning Models to Estimate Above Ground Biomass over Tropical Closed Evergreen Forest Areas from Satellite Data, doi:10.1088/1755-1315/1006/1/012001

Tercan, E., Eymen A., Urfalı, T. ve Saracoglu, B. O., 2021, A sustainable framework for spatial planning of photovoltaic solar farms using GIS and multi-criteria assessment approach in Central Anatolia, Turkey, *Land Use Policy* 102 (2021) 105272,doi: 10.1016/j.landusepol.2020.105272

Torre-Tojal L., Bastarrika A., Boyano A., Lopez-Guede J. M. ve Graña d M., 2022, Above-ground biomass estimation from LiDAR data using random forest algorithms, *Journal of Computational Science* 58 (2022) 101517, <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2021.101517>

Türk S., Koç, A. ve Şahin, G., 2021, Multi-Criteria Of PV Solar Site Selection Problem Using GIS-İntuitionistic Fuzzy Based Approach In Erzurum Province/ Turkey, *Scientific Reports*, doi: 10.1038/s41598-021-84257-y

Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası, <https://bepa.enerji.gov.tr/>, [27/10/2022]

Voivontas, D., Assimacopoulos, D. ve Mourelatos, A., 1998, Evaluation Of Renewable Energy Potential Using A GIS Decision Support System, *Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3, pp. 333 344, 1998, PII: S0960-1481 (98)00006—8, [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00006-8)