

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 4, Issue: 2, p. 1-27, 2021

ENERJİ BİTKİSİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI: FİL OTU İÇİN UYGUN ALANLARIN BELİRLENMESİ UTILIZATION OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM CAPABILITIES FOR ENERGY CROP CULTIVATION ACTIVITIES: DETERMINATION OF SUITABLE AREAS FOR MISCANTHUS

Mehtap Özenen KAVLAK¹
Saye Nihan ÇABUK²

(Received 28.01.2021 Accepted 25.06.2021) – Research Article

Özet

Biyokütle enerjisi tarımsal, hayvansal vb. organik atıklardan veya ürünlerden temin edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerji gurubu içerisinde yer alan enerji bitkilerinin araştırılması ve bu bitkilerden biyodizel, biyoetanol gibi biyoyakıtların üretilmesi konusunda yapılan çalışmalar tüm dünyada araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir. Ülkemizde ise 2010 yılından itibaren biyokütle enerjisine yönelik yatırımlar ve araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Enerji bitkileri yetiştiriciliğinde çoğunlukla sulama ve bakım gereksinimleri düşük olan bitkiler tercih edilmektedir. Enerji bitkilerinin marjinal alanlara uyum sağlayarak ekosisteme büyük ölçüde katkı sağlayabilmesi de ayrıca önem taşımaktadır. Dolayısıyla tarımsal faaliyetler açısından kabul edilen alanlarda enerji bitkilerinin üretilmesi ve bu bitkilerin işlenerek biyoenerji ham maddelerinin üretilmesi önem taşımaktadır. Switchgrass (dallı darı), miscanthus (fil otu) ve sorgum (sorgum) ülkemizde deneme tarımı ve saha çalışmaları yapılan başlıca enerji bitkisi türleri arasındadır. Bu çalışmada, Eskişehir ilinde fil otu bitkisinin yetiştirilebileceği en uygun alanların saptanması için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli yer seçimi analizi gerçekleştirilmiştir. Uygunluk sınıfları 1 en düşük ve 5 en yüksek olmak üzere 5 sınıfta değerlendirilmiştir.

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir. mehtapozenen@eskisehir.edu.tr

² Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, sncabuk@eskisehir.edu.tr

Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından 20DRP006 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmektedir.

Öncelikle 1.404.055 ha olan çalışma alanından, kısıt alanlar ile fil otu ekimi uygun olmayan alanlar çıkarıldıktan sonra geriye kalan ve alanın %20,62'sini oluşturan 289.550 ha'lık alanda farklı kriterler açısından analizler ve ağırlıklı karşılaştırma işlemleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre 224.956 hektarlık alanın orta uygun (3) ve 64.594 hektarlık alanın ise yüksek uygun (4) uygunluktaki arazilerden meydana geldiği saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: CBS, Enerji Bitkisi, Fil Otu, Yenilenebilir Enerji, Yer Seçimi Analizi.

Abstract

Biomass energy is a renewable energy source obtained from agricultural or animal organic waste or products. Studies on the research of energy crops and the production of biofuels such as biodiesel and bioethanol from these plants get attention from researchers all over the world. Investments and researches in the field of biomass energy have also been conducted in Turkey since 2010. Mostly, species with low irrigation and maintenance needs are preferred for energy crop cultivation activities. The ability of energy crops to adapt to marginal areas and contribute to the ecosystem is also important. Therefore, it is significant to grow the energy crops in the idle lands unpreferable for agricultural purposes and to produce bioenergy raw materials by processing these crops. Switchgrass, miscanthus, and sorghum species are among the main energy crops that have been tested via cultivate and field trials in Turkey. In this study, a Geographical Information Systems (GIS) aided site selection analysis was made to determine the suitable lands for the cultivation of miscanthus plant in Eskişehir province. A 5-scale suitability classification, where 5 referred to the most suitable lands while 1 showed the least suitable ones, was adopted. In the first place, restricted and unsuitable lands were extracted from the study area covering 1.404.055 hectares, and then a number of multi-criteria based analysis and weighted overlay processes were performed within the remaining lands corresponding to an area of 289.550 ha (20,62% of the total study area). According to the results, a total land of 224.956 hectares fell in the moderate suitability (3) class, while the amount of high suitability (4) lands were found to cover 64.594 hectares.

Keywords: Energy Crop, GIS, Miscanthus, Renewable Energy, Site Selection Analysis.

1. GİRİŞ

Biyoenjeri, biyolojik kökenli olup katı, sıvı veya gaz formunda olabilmektedir (Li ve Khanal, 2015). Hem hayvansal hem de bitkisel kaynaklardan biyokütle olarak yararlanmak mümkündür (Topal ve Arslan, 2008). İçeriklerinde oksijen, hidrojen ve karbon barındırmaları sayesinde enerji temininde kullanılabilirler (Açıklan, 2010; Öztürk Tophanecioğlu, 2009). Biyokütle enerjisi, güneş enerjisinden oluşması sebebiyle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Aktaş, Dalmış, Tuğ, Dalmış ve Kayışoğlu, 2016). Yıldız enerjisi neredeyse sonsuz bir enerji kaynağı olup, ışığı yaşama dönüştürebilmektedir. Bu sayede enerjiyi bitkinin bünyesinde adeta bir pil gibi glikoz olarak depolamak mümkün olmaktadır. Biyokütlenin marjinal alanda düşük bakım ve su gereksinimi ile yetiştirilebilmesi özellikle kırsal alanlarda sosyo-ekonomik açıdan önem arz etmektedir (Kumaravel ve Ashok, 2012). Modern biyokütle enerjisi sayesinde biyodizel, biyoetanol gibi biyoyakıtlar elde edilmektedir (Demirbas, 2008; Karaca, Başçetinçelik ve Öztürk, 2004).

Biyokütle enerjisi günümüzde yenilenebilir enerji açısından en büyük küresel katkıya sahip olmakla birlikte ısı, elektrik ve yakıt üretiminde için de önemli bir potansiyele sahiptir (Resch vd., 2008). Sürdürülebilir enerji arzı, özellikle iklim değişikliğini ele alma ihtiyacı nedeniyle insanlığın önümüzdeki on yıllarda karşılaşacağı temel zorluklardan birisidir. Biyokütlenin gelecekte enerji talebinin sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasına ciddi bir katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (Berndes, Hoogwijk ve Van den Broek, 2003). Günümüzde Brezilya ve Amerika Birleşik Devletleri biyoyakıt üretimi konusunda lider iki ülkedir (REN21 Community, 2018). Bu ülkeleri Çin, Kanada ve Fransa takip etmektedir (EIA, 2015). Türkiye’de 2019 yılı biyoyakıt teslim miktarları incelendiğinde 195.816,256 ton üretim yapıldığı görülmektedir (EPDK, 2020). Türkiye’de 28346 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan tebliğ uyarınca, “benzin türlerine 1/1/2014 tarihinden itibaren en az %3 (V/V), oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içermesi zorunludur” (28346 No’lu Resmi Gazete, 2012). Ancak COVID-19 salgını nedeniyle dezenfektan ve kolonya benzeri sağlık hijyen ürünü üreticilerinin etanol ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla EPDK, 13 Mart 2020 ve 13 Haziran 2020 tarihleri arasında benzin türlerine etanol harmanlama zorunluluğunu askıya alınmış, 1 Temmuz 2020’den itibaren ise % 2 olarak uygulanmasını kararlaştırmıştır (Nuran Erkul, 2020). Bu durum Türkiye’de halihazırda üretilen biyoetanol miktarının yeterli olmadığını göstermektedir.

Dünyada enerji tarımı 1930’lu yıllardan itibaren mısır, şeker kamışı gibi bitkiler ile gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Ancak bu bitkilerin gıda maddesi olması ve dünyada yaşanan kıtlıklar nedeni ile büyük tartışmaları da beraberinde getirmiştir (Ar, 2008; Duygu ve Cısdık, 2011; FAO, 2008; Wang, 2012). Günümüze gelindiğinde biyoyakıtlar son yıllarda gıda fiyatlarında meydana gelen çarpıcı artışların nedeni olarak görülmektedir (Dornburg vd., 2010; Golden, 2008). Türkiye’de halihazırda biyoetanol üreten tesislerde kullanılan hammaddeler buğday, şeker pancarı melası ve mısırdır. Bu bitkilerin enerji üretiminde kullanılmayarak, enerji bitkilerine yönelim sağlanması ile

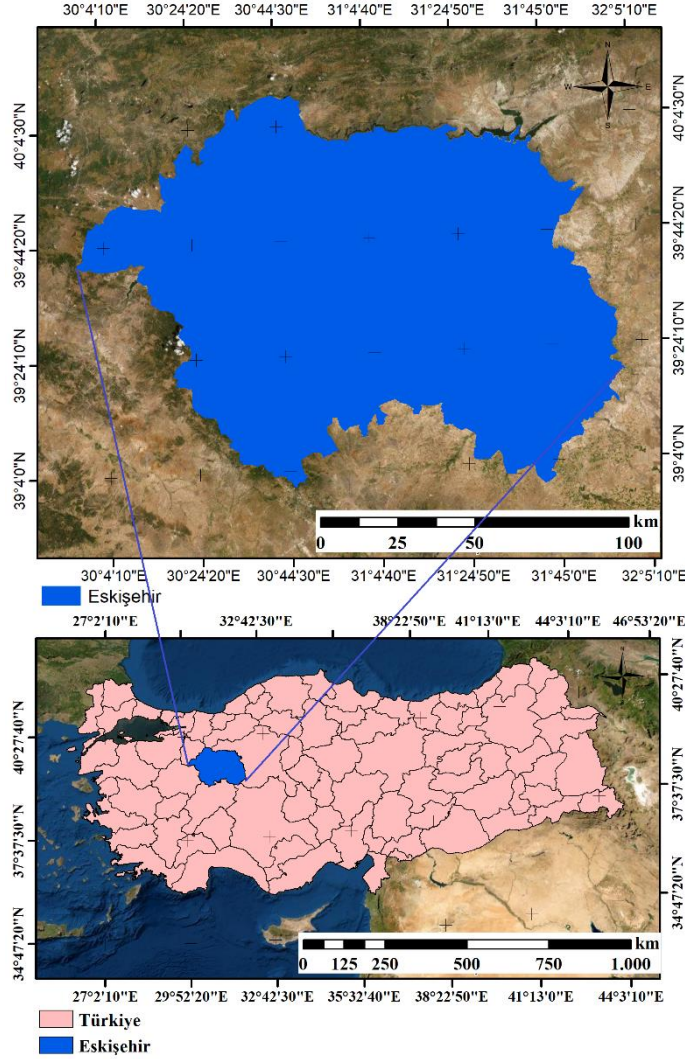
hem gıda maddelerinin beslenme amaçlı kullanılması hem de dış borçlanma kaynağına sebebiyet veren mısır ve buğday ithalatının azaltılması mümkün olabilecektir (Koçar vd., 2012; Toprak Mahsulleri Ofisi, 2017). Ayrıca biyoyakıtların yaygın kullanımı ile bir ulus; yabancı yağa olan kritik bağımlılığını ve karbondioksit emisyonlarını azaltma olanağına da sahip olacaktır (Lunnan, 1997; Sanderson vd., 1996).

Türkiye ekilebilir toprakları açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ayrıca biyokütle hammaddesi üretiminde de önemli bir avantaja sahiptir (Koçar vd., 2012). Gıda temininde kullanılmayan, iyi toprak drenajına sahip olmayan, iklimsel kısıtlılıklar barındıran, tuzlu veya killi topraklarda enerji bitkisi tarımı yapılarak bu alanların biyoetanol üretiminde kullanılabilmesi mümkün olmaktadır. Eskişehir ili için de fil otu bitkisi yetiştiriciliği ile atıl alanların değerlendirilebilmesi, sosyal, çevresel ve ekonomik katkı sağlanabilmesi için farkındalık oluşturulabilmesi amacıyla bu çalışmada fil otu bitkisi yetiştiriciliği için en uygun alan yer seçimi, CBS ortamında gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle literatür verileri incelenerek, tarım alanı seçiminde uygulanan CBS yöntemleri araştırılmıştır (Aydın, 2015; Balezentiene, Streimikiene ve Balezentis, 2013; Fiorese ve Guariso, 2010; Graham, English ve Noon, 2000; Lovett vd., 2009). Yapılan incelemelerde bitkisel üretim için CBS destekli pek çok araştırmanın yapılmış olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Fiorese ve Guariso (2010) Kuzey İtalya'da bulunan Emilia - Romagna bölgesinde bazı kavak, söğüt, yalancı akasya ağaçları ile sorgum bitkisi türlerini yetiştirebilmek için en uygun alanları CBS ortamında belirlemiştir. Graham vd. (2000) biyoenerji bitkilerinden potansiyel biyokütle tedariklerini tahmin etmek için CBS tabanlı bir modelleme sistemi sunmuştur. Bu sistem bir eyaletteki enerji bitkisel hammadde tedarikinin maliyetlerini ve çevresel etkilerini tahmin etmektedir. Ayrıca enerji bitkilerinin nerelerde yetiştirilebileceğini, verimlerdeki mekânsal değişkenliği ve bir enerji tesisi için ham madde alımıyla ilişkili taşıma maliyetlerini göz önüne almaktadır. Lovett vd. (2009) CBS tabanlı bir yöntem ile biyokütle bitkilerinin ekili olduğu alanları belirlemiştir. Böylelikle bir verim haritası oluşturmuş ve tahmini bölgesel enerji üretimi potansiyellerini tespit etmiştir. Balezentiene vd. (2013) MULTIMOORA (bulanık çok kriterli karar verme yöntemi) yöntemine dayalı olarak enerji bitkilerinin önceliklendirilmesi için çok kriterli bir karar verme yöntemi uygulamıştır. Çalışmada, Litvanya iklimi için uygun enerji ürünlerine yönelik alternatifler ortaya konmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ve Çalışma Materyali

Çalışma alanı Eskişehir ili olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Şehir, İç Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup karasal iklim hakimiyetindedir. Eskişehir'in yüzölçümü 13.960 km², 2019 TÜİK verilerine göre nüfusu 887.475 kişidir (TÜİK, 2020). Çalışma alanının 14 ilçesi ve 539 mahallesi bulunmaktadır. Ayrıca, Eskişehir, önemli sanayi kuruluşlarını bünyesinde barındırmakta, aynı zamanda öğrenci kenti olarak anılmaktadır.



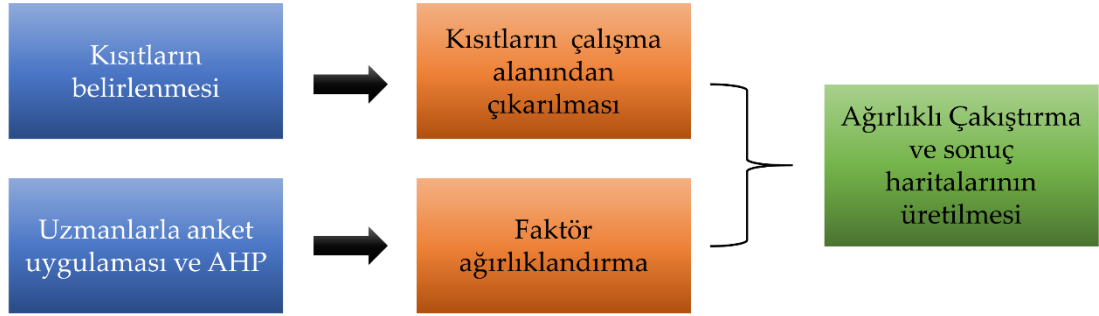
Şekil 1. Çalışma alanının gösterimi

Yer seçiminin gerçekleştirilmesi için yapılması gereken analizlerde ArcGIS 10.7.1 programı kullanılmıştır. Bitki özellikleri verisi EcoCrop Database veritabanından raster veri formatında, karayolları – demiryolları, ırmaklar-göller ve arazi kullanımı verileri ESTÜ Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü’nden vektör veri formatında, toprak kriterleri; pH, kuru madde yoğunluğu, organik karbon içeriği Soilgrids veritabanından raster veri formatında, sıcaklık ve yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) excel tablo veri formatında ve DEM verisi U.S. Geological Survey (USGS) ve NASA Aster GDEM veritabanlarından raster veri formatında elde edilmiştir.

2.2. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada ana yöntem olarak ağırlıklı çakıştırma kullanılmıştır. Ağırlıklı çakıştırmada kullanılacak ağırlık puanlarının atanabilmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılmıştır. AHP yöntemine kaynak olarak kullanılmak üzere anket hazırlanmış ve alanında uzman kişilerce doldurulan bu anketin sonuçlarına göre AHP

uygulanmıştır. Böylelikle çalışmada kullanılacak olan her katman için ağırlık puanlarına ulaşılmıştır. Kriterlerin puanlaması gerçekleştirilirken 1 ile 5 arasında değişen bir skala kullanılmıştır. 1 puan çok düşük uygunluğu temsil ederken 5 puan çok yüksek uygunluğu temsil etmektedir. Hiçbir şekilde uygun olmayan alanlar ise 0 puan almaktadır. Sırasıyla çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük uygunluk sınıflandırılması yapılmıştır. Şekil 2’de gösterilen yöntem akış şeması kullanılarak fil otu bitkisinin yetiştirilmesi için en uygun alanların saptanması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Yöntem akış şeması

2.2.1. CBS modelinin oluşturulması

Kısıtların Elenmesi

Gerçekleştirilmesi planlanan yer seçimi çalışmasında tarım alanı olarak kullanılmayan atıl arazilerin değerlendirilecek olması ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle gıda yetiştiriciliği yapılan 1., 2. ve 3. sınıf tarım alanları kısıtlar kapsamında çalışmadan çıkarılmıştır. Buna ek olarak fil otu bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılması uygun olmayan ve uygun alan tespitine dahil edilmeyecek alanlar da Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kısıtlar

KISITLAR
Avlaklar
Maden alanları
Orman alanları
Tarım alanları (AKK)
Sit alanları- Ulusal koruma alanları
Su yüzeyleri
Yollar
Kamu arazileri ve hava alanları - Askeri alanlar - Endüstriyel bölgeler - Yerleşim alanları

2.2.2. Enerji Bitkisi Yetiştirilecek Alanların Belirlenmesine Yönelik Kriterler

Enerji bitkisi yetiştirebilmek için en uygun alanlar belirlenirken Tablo 2’de yer alan kriterler ve alt kriterler göz önüne alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kriterlerin enerji bitkisi yetiştiriciliğinde ele alınmasına ve uygunluk sınıflarının belirlenmesine yönelik temel özellikler ise aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 2. Analizde kullanılan katmanlar

Jeomorfolojik Kriterler	Eğim
	Yükseklik
İklimsel Kriterler	Sıcaklık
	Yağış
Toprak kriterleri	pH
	Toprak Kuru Madde Yoğunluğu (TKM-BD)
	Toprak Organik Karbon Değeri (TOK-SOC)
	Toprak Derinliği
Diğer kriterler	Su yüzeylerine olan mesafe
	Yerleşim alanlarına olan mesafe
	Yollara olan mesafe

Jeomorfolojik Kriterler

➤ *Eğim*

Enerji bitkilerinin yetiştirilmesinde makineli tarım uygulanmaktadır. Bu bitkilerin hem ekimi hem de hasadı evrelerinde eğim oldukça önemli bir kriterdir. Ayrıca suyun süzülümü ve akışını da eğim faktörü kontrol etmektedir. Yüksek eğimler suyun tutunumu konusunda toprağı olumsuz etkilemektedir (Maxson, 2008; Yanmaz ve Usul, 2006).

➤ *Yükseklik*

Deniz seviyesinden yükseklik bir bölge için önemli bir faktördür. Yüksekliğin çok düşük olduğu alanlarda sel riski gözlemlenebilmektedir (Pareta, 2013). Enerji bitkileri söz konusu olduğunda bu bitkilerin marjinal alanlarda yetiştirilmeye uygunluğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada uzman görüşleri dikkate alınarak yükseltisi fazla olan alanlar da analizlere dahil edilmiştir.

İklimsel Kriterler

➤ *Sıcaklık*

Enerji bitkisi yetiştiriciliğinde bitki türleri itibarı ile bölgenin sıcaklık ihtiyacı farklılık göstermektedir (Soylu, 2012; Thapa, 2012). Sıcaklık açısından ayırt edici olan

husus ise “minimum kış sıcaklığı” faktörüdür. Bitkinin kış şartlarında hayatta kalabilmesini sağlayan minimum kış sıcaklığı değeri önemli bir parametredir.

➤ Yağış

Enerji bitkileri fazla sulamaya ihtiyaç duymayan türlerdir. Ancak bölgenin yıllık olarak aldığı yağış miktarının bitkinin biyokütle verimliliğini düşürmeyecek seviyede olması beklenmektedir (Thapa, 2012).

Toprak Kriterleri

➤ pH

pH değeri, toprağı fiziksel, kimyasal ve biyolojik açılardan etkilemekte olup bitkilerin yetiştirilmesi için gerekli olan P, N, S, K, Mo Cu, gibi elementlerin miktarını temsil etmektedir. pH değerinin düşük veya yüksek olması bitkilerin gelişimini olumsuz olarak etkilemekle birlikte bitki gelişimine de engel olabilmektedir (Maxson, 2008). Dolayısıyla uygun pH değeri bitki sağlığı açısından oldukça önemli bir kriterdir.

➤ *Toprak Organik Karbon değeri (TOK-SOC)*

Bitkilerin kök gelişimi için önemli bir diğer kriter TOK değeridir. Toprakta bulunan organik karbonun artması toprak erozyonunu da en aza indir ve toprak desenini geliştirir (McLaughlin ve Walsh, 1998). Bu değerin ortalamadan yüksek olduğu bölgelerde ise gübre kullanma ihtiyacı görülmez. Gübreleme yapılırsa da verim oldukça artar (Bouton vd., 1998).

➤ *Toprak Kuru Madde yoğunluğu (TKM)*

Kuru madde yoğunluğu bitkilerin kök gelişimini etkilemektedir. Bitkilerin kök gelişimi bu oran arttıkça azalmaktadır (Arias, 2008). Bu nedenle TKM oranının fazla olduğu bölgeler bitki ekimi için daha az tercih edilmektedir. Eskişehir ilinde TKM oranları fazla yüksek değildir.

➤ *Toprak derinliği*

Enerji bitkilerinde kök verimleri incelendiğinde yoğun köklenmenin bütün çeşitlerde özellikle 0-20 cm toprak derinliğinde oluştuğı, bu derinlikteki kök veriminin toplam kök veriminin % 70'ine yaklaştığı görülmüştür (Şeflek, 2010). Son çalışmalar, enerji bitkilerinin toprak organik maddesini artırarak toprak kalitesini yükselttiğini göstermektedir. Bu artışın en büyük nedeninin yüksek toprak altı biyokütle olduğu belirtilmektedir.

Diğer Kriterler

➤ *Su yüzeylerine olan mesafe*

Akarsular ve göllere yakın mesafelerde yer alan ekim-dikim bölgelerinde, bitkilerin kökleri ile yüzey sularını yüksek oranlarda çekmelerini önlemek amacı ile tampon bölge uygulanması önerilmektedir. Bu nedenle akarsuların ve göllerin etrafında 50 m'lik bir tampon bölge oluşturulmuştur.

➤ *Yerleşim alanlarına olan mesafe*

Yerleşim alanları etrafında sürekli bir büyüme ve gelişme söz konusu olmaktadır. Enerji bitkisi tarımında ise 20 yıl gibi sürelerde uzun süreli ve sürekli bir ekim önerilmektedir (Caslin, Finnan ve Easson, 2010). Bu süreç içerisinde bu alanlarda görülecek gelişimin iki taraf açısından da olumsuz sonuçlar oluşturmaması amacı ile literatürde yer alan örnekler de değerlendirilerek bu bölgeler etrafında uygun bir tampon bölge oluşturulmuştur (Asakereh, Omid, Alimardani ve Sarmadian, 2014; Koikai, 2008; Wang, 2012).

➤ *Yola olan mesafe*

Enerji bitkisi yetiştiriciliğinde bitkiler genellikle yüksek boyutlara ulaşım yol civarını kapatma riski oluşturabileceği için yol etrafında belirli bir alan için tampon bölge oluşturularak (50 m) mesafe verilmesi önerilmektedir (Aydın, 2015). Ayrıca biyokütlenin tarladan biyokütle bazlı etanol tesislerine olan taşınma mesafesinin kısılması ulaşım maliyetini büyük ölçüde azaltacaktır. Bu nedenle oluşturulan tampon bölgeden itibaren enerji bitkilerinin yetiştirileceği yerler seçilirken yola mesafenin mümkün olduğunca kısa olması tercih sebebidir.

2.2.3. Ağırlıklı Çakıştırma Katmanlarının Üretilmesi

Pek çok katmanın aynı anda farklı ağırlık puanları ile analiz edilmesi gerekliliği CBS içerisinde yer alan ağırlıklı çakıştırma aracı sayesinde mümkün olabilmektedir. Burada sadece değerleri belli olan raster veriler kullanılabilir. Ağırlıklı çakıştırmadaki puanlama sistemi sayesinde en düşük puanın verildiği alanlarda en az uygunluk, en yüksek puanların verildiği alanlarda ise en yüksek uygunluk kriterlerinin sağlandığı anlaşılabilir (ESRI, 2016).

Bu çalışmada toplamda 12 katman uzman görüşlerine dayalı gerçekleştirilen AHP sonuçlarına göre elde edilen ağırlık puanları kullanılarak analiz edilmiştir. Kriterlerin puanlaması gerçekleştirilirken 1 ile 5 arasında değişen bir skala kullanılmıştır. 1 puan çok düşük uygunluğu temsil ederken 5 puan çok yüksek uygunluğu temsil etmektedir. Hiçbir şekilde uygun olmayan alanlar ise 0 puan almaktadır. Sırasıyla çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük uygunluk sınıflandırılması yapılmıştır. Ağırlık puanlarının ondalıklı değer alması nedeniyle ağırlıklı çakıştırma raster calculator aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ölçeği 1/500.000'dir ve kullanılan raster verilerin piksel boyutu 250 m x 250 m'dir.

2.2.4. AHP Uygulaması

Fil otu bitkisi için çalışmada kullanılan ağırlık puanlarının hesaplanması amacıyla bir AHP anketi hazırlanmıştır. Bu anketin değerlendirilmesinde konu üzerinde mevcut çalışmaları bulunan, yüksek orman mühendisi bir akademisyenden görüş alınmıştır (Bilgili, 2017). Verilen puanlar çerçevesinde oluşturulan ağırlıklı çakıştırma bilgileri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Ağırlıklı çakıştırmada kullanılan ağırlık puanları

İKLİMSEL KRİTERLER %46,04	MİNİMUM SICAKLIK	%23,02
	(-5) - (-10) °C	2
	(-10) - (-14) °C	1
	< (-14) °C - Toprak altında kalan bitki kökünü öldürücü min. hava sıcaklığı	0
	YAĞIŞ	%23,02
	300 - 350 mm	3
	350 - 500 mm	3
	500 - 750 mm	4
	750 - 900 mm	5
	TOPRAK KRİTERLERİ %28,54	pH
< 5,5		2
5,5 – 6,3		3
6,3 – 7,5		4
7,5 - 8		5
> 8		4
TOK (Toprak organik karbon değerleri) kg/m3		%10,97
0-25		2
25-50		3
50-75		4
75-100		4
100-125		5
> 125		4
TKM-BD (Toprak kuru madde yoğunluğu) kg/m3		%8,29
950-1050		1
1050-1150		3
1150-1250		4
1250-1350		5
1350-1487		4
TOPRAK DERİNLİĞİ		%6,51
A +120 cm	4	
B 90-120 cm	4	
C 60-90 cm	4	
D 30-60 cm	3	
E diğer 0-30 cm	2	

Tablo 3'ün devamı Ağırlıklı çakıştırmada kullanılan ağırlık puanları

JEOMORFOLOJİK KRİTERLER %15,21	EĞİM	%6,77
	Düz (%3)	5
	Hafif eğimli (%3-6)	5
	Orta eğimli (%6-10)	4
	Dik (%10-20)	3
	Çok dik (%20-30)	3
	Sarp (%30-45)	1
	> % 45	1
	YÜKSEKLİK	%8,44
	174-200 m	5
	200-400 m	5
	400-600 m	4
	600-800 m	4
	800-1000 m	3
1000-1200 m	2	
1200-1400 m	2	
1400-1600 m	1	
>1600 m	1	
DİĞER KRİTERLER %10,21	YOLA UZAKLIK (0-50 m kısıt)	%1,91
	50 m – 1 km	4
	1 – 2 km	4
	2 – 3 km	5
	3 – 4 km	5
	> 4 km	3
	SU YÜZEYLERİNE OLAN MESAFE (0-50 m kısıt)	%6,69
	50 – 250 m	5
	250 – 500 m	5
	500 – 750 m	4
	750 – 1000 m	4
	> 1000 m	3
	YERLEŞİME UZAKLIK (0-1000 m kısıt)	%1,61
	1 – 2 km	3
	2 - 3 km	4
	3 - 4 km	4
4 - 5 km	4	
>5 km	5	

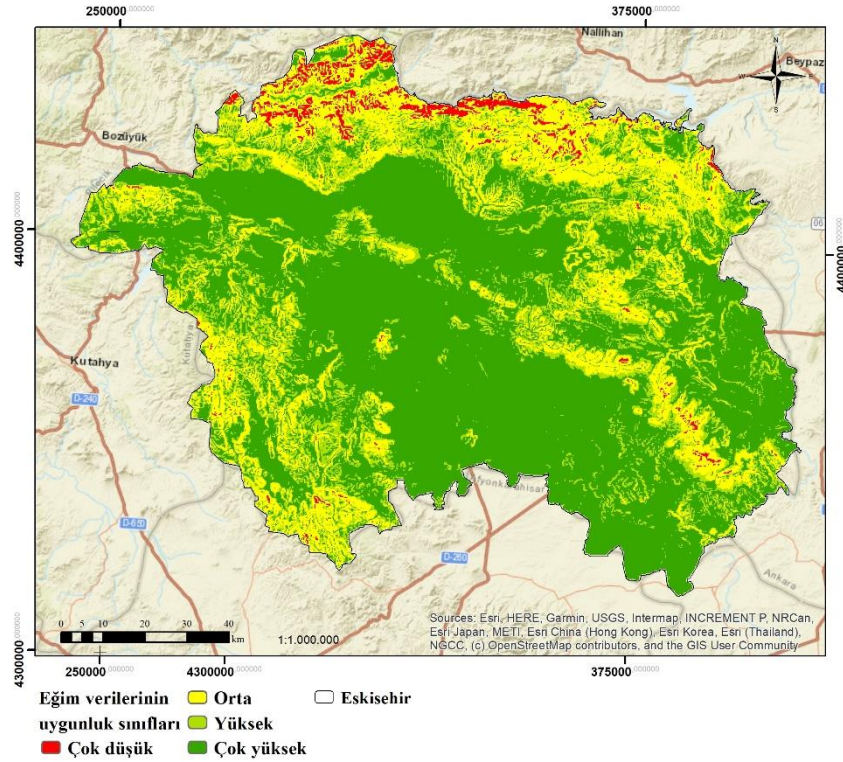
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Yeniden Sınıflandırma İşlemi ile Tematik Haritaların Üretimi

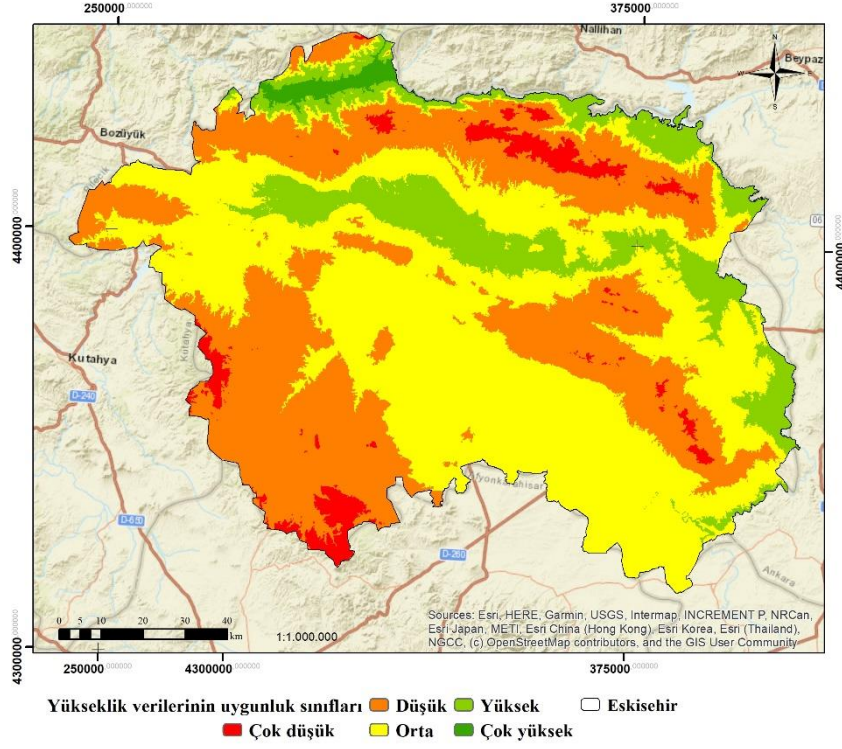
Çalışma alanına ait, analizlerde kullanılacak katmanlarla (Tablo 2), ağırlıklı çakıştırmada analizi yapılabilmesi için bu katmanlar ile çeşitli analizler yapıldıktan sonra (buffer-tampon bölge analizi, inverse distance weighted (IDW) gibi), Tablo 3’de belirtilen ağırlık puanları ile yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Buradan yola çıkılarak hazırlanan, ağırlık puanları ile yeniden sınıflandırılmış tematik haritalar Şekil 5 - Şekil 14’de gösterilmektedir.

3.1.1 Jeomorfolojik Kriterler

Jeomorfolojik kriterler içerisinde yer alan araziye ait eğim ve sayısal yükseklik haritaları DEM verisi kullanılarak üretilmiştir. Ağırlık puanları ile yeniden sınıflandırılmış eğim ve yükseklik haritaları ise Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterilmektedir.



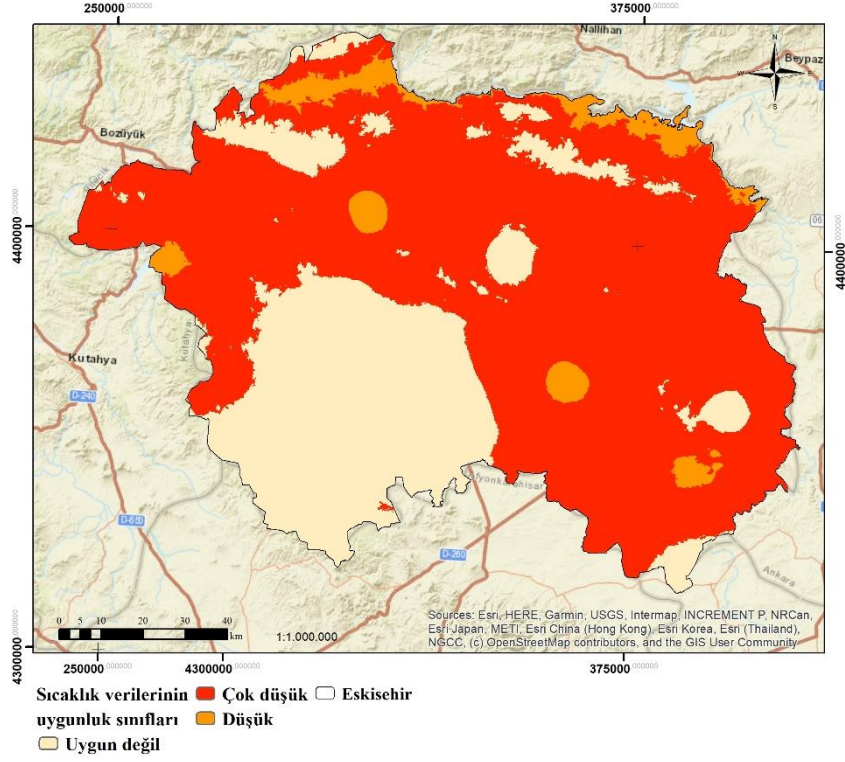
Şekil 3. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış eğim haritası



Şekil 4. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış sayısal yükseklik haritası

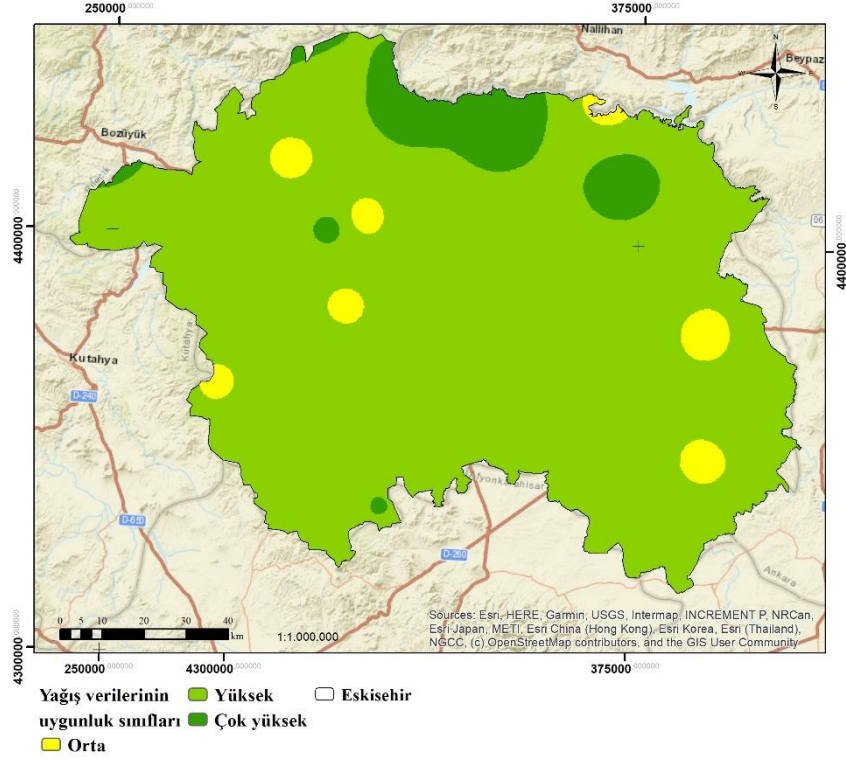
3.1.2 İklimsel Kriterler

Eskişehir ili ile Eskişehir ili civarında oluşturulan 20 km'lik tampon bölge içerisinde yer alan 52 adet meteorolojik gözlem istasyonunun 5 yıllık (2014-2018 yılları arası) en düşük ve 5 yıllık ortalama en düşük sıcaklık serileri kullanılarak IDW analizi ile oluşturulan en düşük sıcaklık haritasının yeniden sınıflandırılması ile oluşturulan harita Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış ortalama en düşük sıcaklık haritası

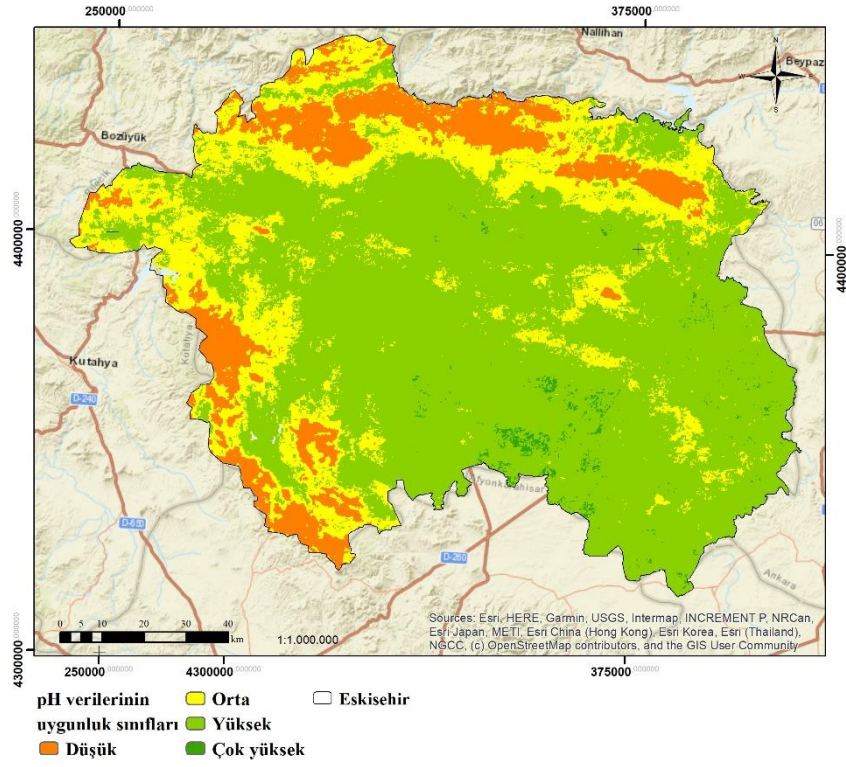
Eskişehir ili ile Eskişehir ili civarında oluşturulan 20 km'lik tampon bölge içerisinde yer alan 50 adet meteorolojik gözlem istasyonunun aylık yağış gözlem serileri kullanılarak IDW analizi ile oluşturulan ortalama yağış haritasının yeniden sınıflandırılması ile oluşturulan harita Şekil 6'da gösterilmektedir.



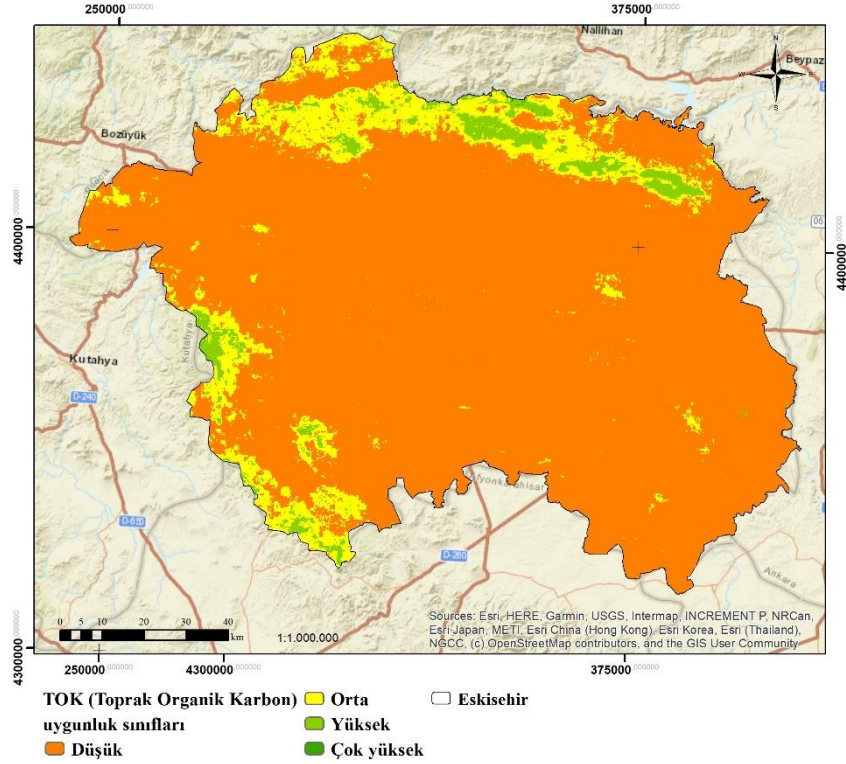
Şekil 6. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış ortalama yağış haritası

3.1.3 Toprak Kriterleri

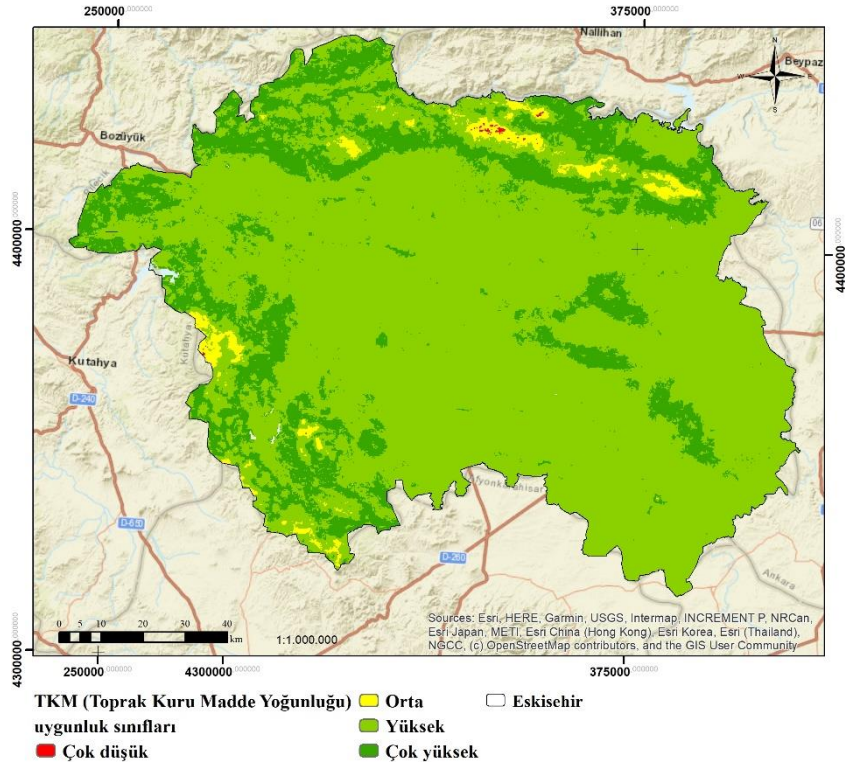
Toprak kriterleri içerisinde yer alan pH, TOK, TKM ve toprak derinliği katmanlarının, ağırlık puanları ile yeniden sınıflandırılması ile oluşturulan tematik haritalar Şekil 7-Şekil 10'da gösterilmektedir.



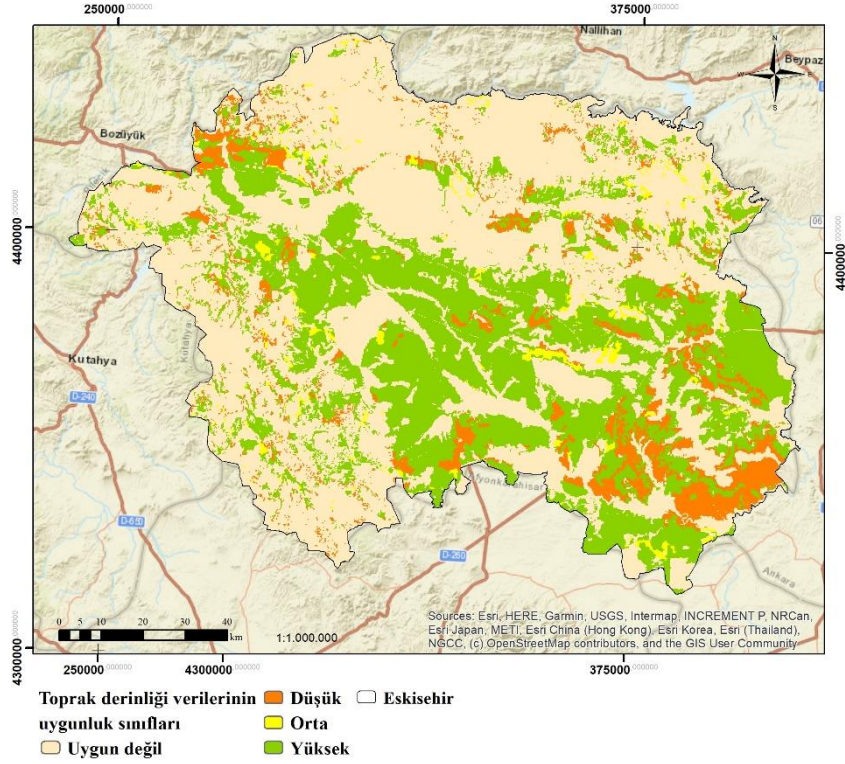
Şekil 7. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış pH haritası



Şekil 8. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış TOK haritası



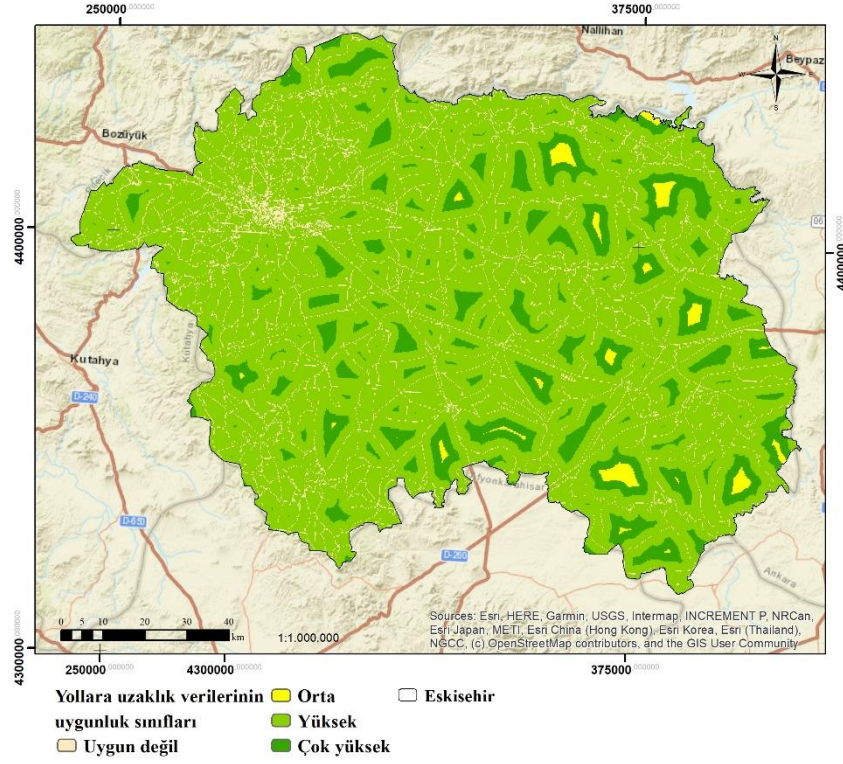
Şekil 9. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış TKM haritası



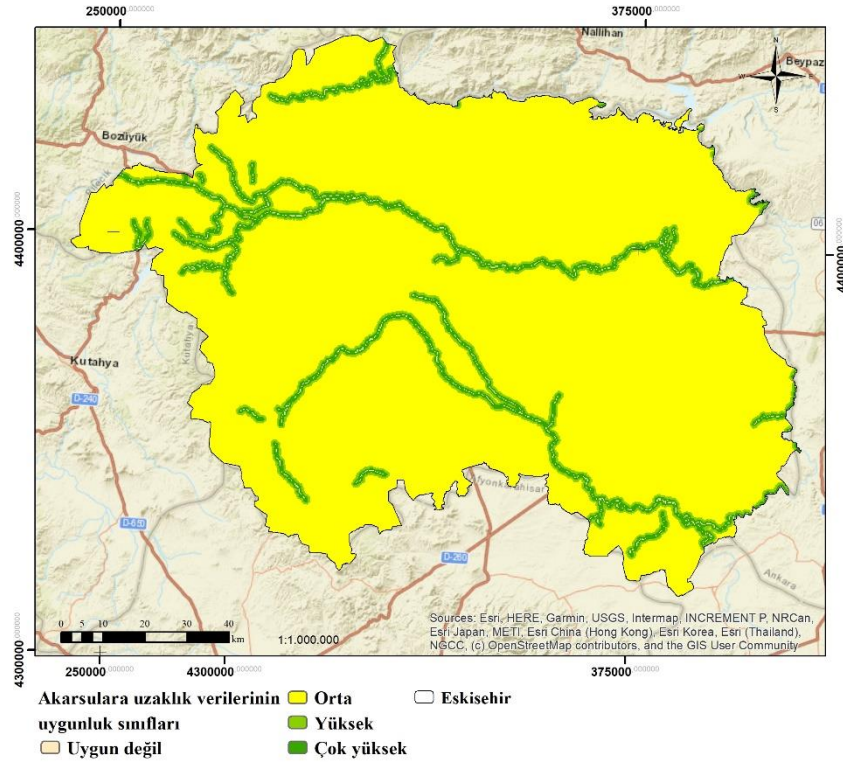
Şekil 10. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış toprak derinliği haritası

3.1.4 Diğer Kriterler

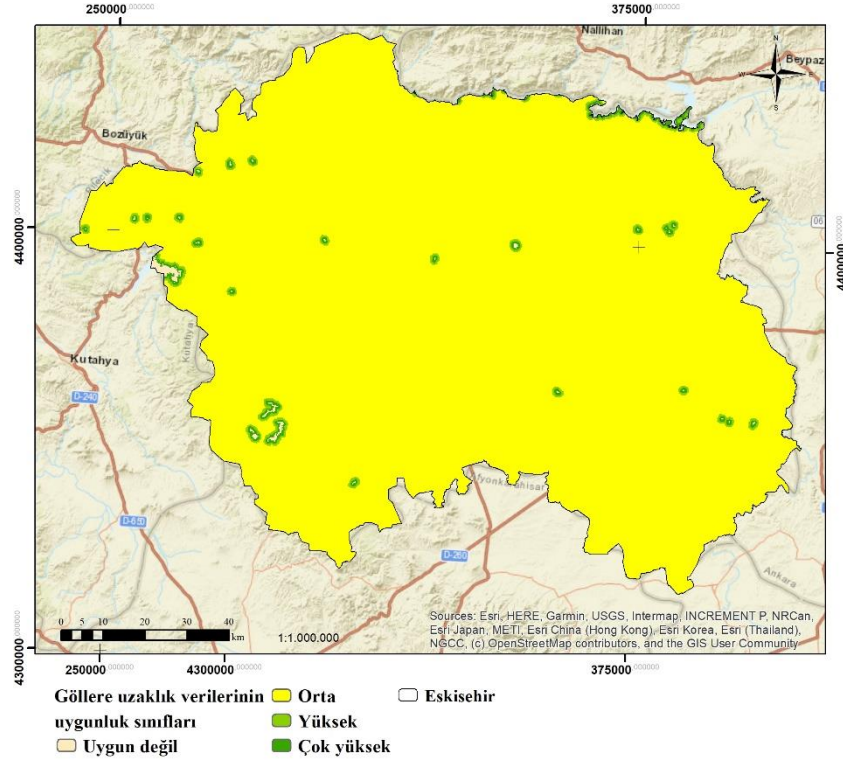
Diğer kriterler içerisinde yer alan su yüzeylerine, yerleşim alanlarına ve yerleşim alanlarına olan mesafe katmanları tampon bölge analizine tabi tutulmuştur. Sonrasında raster formata çevrilerek yeniden sınıflandırma işlemi yapılmıştır (Şekil 11-Şekil 14).



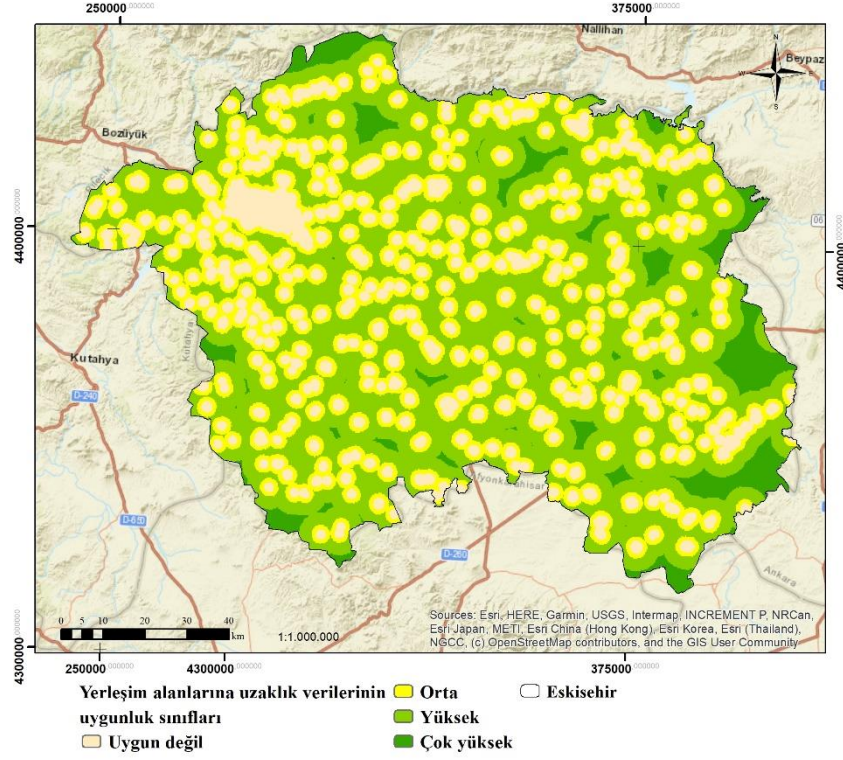
Şekil 11. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış yola mesafe haritası



Şekil 12. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış akarsulara mesafe haritası



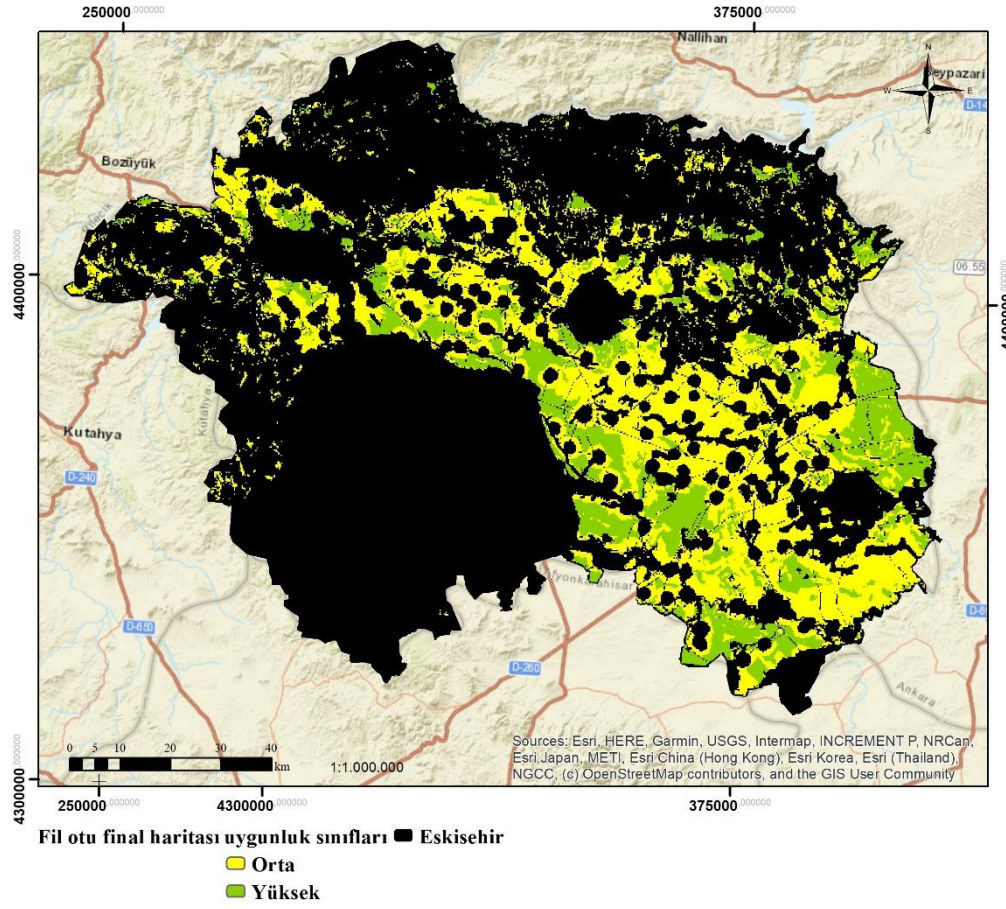
Şekil 13. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış göllere mesafe haritası



Şekil 14. Ağırlık puanlarıyla yeniden sınıflandırılmış yerleşim alanlarına mesafe haritası

3.2 Ağırlıklı Çakıştırma Sonuç Haritası

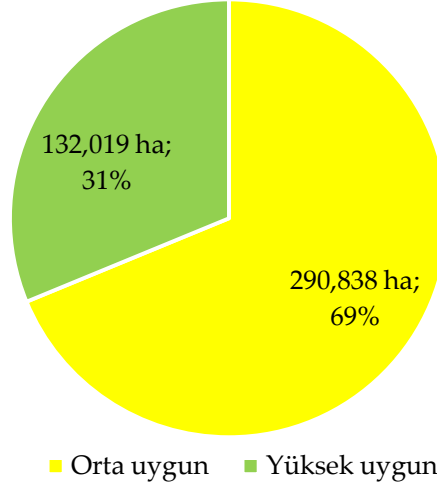
Toplamda 1.404.055 ha olan çalışma alanından, kısıt alanlar ile fil otu ekimi uygun olmayan alanlar çıkarıldıktan sonra geriye kalan 422.856 ha'lık alan analize tabi tutulmuştur. Bu alan, toplam çalışma alanının, yaklaşık %30,11'ini oluşturmaktadır. Elde edilen sonuç haritası; manuel sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu sınıflandırmaya ait harita (Şekil 15) ile saha bilgilerini içeren tablo (Tablo 4) ve grafik gösterim (Şekil 16) aşağıda verilmiştir.



Şekil 15. Fil otu bitkisi için oluşturulan ağırlıklı çakıştırma sonuç haritası

Tablo 4. Ağırlıklı çakıştırma sonuç haritası saha bilgileri

Uygunluk	Değeri	Fil otu		
		Piksel adedi	Piksel alanı (ha)	Yüzde değeri (%)
Çok düşük uygun	1	0	0	0,0
Düşük uygun	2	0	0	0,0
Orta uygun	3	46.534	290.838	68,8
Yüksek uygun	4	21.123	132.019	31,2
Çok yüksek uygun	5	0	0	0,0
Toplam		67.657	422.856	100



Şekil 16. Fil otu bitkisi için oluşturulan saha bilgileri

4. SONUÇ

Türkiye’de 2023 hedefleri doğrultusunda temiz ve güvenli enerji kaynaklarına ulaşılması konusunda iddialı hedefler belirlenmiştir. Biyoenerjiden etkin bir şekilde yararlanılabilmesi ile küresel birincil enerji arzına daha da büyük katkı sağlanabilir. Buna ek olarak sera gazı emisyonlarında düşüş sağlanması ve diğer çevresel faydaların elde edilmesi mümkün olabilir. Ayrıca ithal fosil yakıtlar yerli biyokütle ile ikame edilerek enerji güvenliği ve ticaret dengelerinde iyileştirmeler, yöre halkları için, kırsal topluluklarda ekonomik ve sosyal gelişme fırsatları elde edilebilir.

Tarımsal uygulamalarda, yetiştirilecek her bitkinin gereksinimleri farklılık göstermektedir. Bunu dikkate alarak arazideki tüm kriterler ile bitkinin ekolojik ihtiyaçlarını gözetenek gerçekleştirilecek bir analiz sayesinde hem bitki verimliliği artırılabilir hem de ekonomik faydalar sağlanır. CBS, gelişmiş analiz teknikleri ve çok kriterli karar verme kolaylığı sağlaması açısından eşsiz bir araçtır.

Bu çalışmada, Eskişehir ilinde fil otu bitkisinin yetiştirilebileceği en uygun alanların yer seçimi çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygunluk sınıfları 1-çok az, 2-az, 3-orta, 4-yüksek ve 5- çok yüksek olmak üzere 5 sınıfta değerlendirilmiştir. Buna göre toplamda 1.404.055 ha olan çalışma alanından, kısıt alanlar ile fil otu ekimi uygun olmayan alanlar çıkarıldıktan sonra geriye kalan 289.550 ha’lık alan analize tabi tutulmuştur. Bu alan, toplam çalışma alanının, yaklaşık %20,62’sini oluşturmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre; 224.956 ha alanın 3-orta uygun, 64.594 ha alanın ise 4-yüksek uygun sınıflarda yer aldığı saptanmıştır.

EPDK (2020); 2019 yılında Eskişehir ilinde 28.803,721 ton benzin türleri, 309.893,27 ton motorin türleri, 6.992,37 ton fuel oil türleri, 336,745 ton havacılık yakıtları tüketiminin gerçekleştiğini bildirmektedir. Toplamda yakıt olarak kullanılan

346.026,102 ton akaryakıt tüketimi mevcuttur. Literatürde fil otu bitkisinden teorik olarak elde edilecek biyoetanol miktarı ha başına 7,29 ton ile 12,05 ton arasında farklılık göstermektedir (Nigam, 2002; Somerville, Youngs, Taylor, Davis ve Long, 2010). Ortalama ha başına 10 ton biyoyakıt elde edileceği var sayıma dayanarak, 4 yüksek uygun alanların en az yarısında gerçekleştirilecek fil otu bitkisi üretimi ile toplamda 322.970 ton biyoetanol elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu da Eskişehir ili için yıllık kullanılan akaryakıtın %93,34'ü gibi yüksek bir oranı ifade etmektedir. Ancak burada kullanılan hesaplama tamamen teorik olup bir sonraki aşamada bu çalışmanın geliştirilerek uygulamaya geçirilebilmesi ve yatırımcılara yol gösterici olabilmesi amacıyla maliyet analizlerinin yapılması önerilmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, AHP anketinin hazırlanmasında katkısı bulunan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi - Orman Fakültesi - Orman Mühendisliği bölümü mezunu, yüksek orman mühendisi, Oğuzhan Bilgili'ye teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- 28346 No'lu Resmi Gazete. (2012). *Benzin türlerine etanol harmanlanması hakkında Tebliğ*. Ankara: Resmi Gazete.
- Açıkalın, K. (2010). *Çeşitli biyokütle atık maddelerin pirolizi ve elde edilen ürünlerin analizi*. (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktaş, T., Dalmış, S. İ., Tuğ, S., Dalmış, F., ve Kayışoğlu, B. (2016). Çeltik Saplarının Gazlaştırılması Amacıyla laboratuvar Tipi Bir Gazlaştırıcının Geliştirilmesi ve Denenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 119-128.
- Ar, F. F. (2008). Biyoyakıtlar Tehdit mi-Fırsat mı. *Mühendis ve Makine*, 49(581), 3-9.
- Arias, E. F. (2008). *Categorization of soil suitability to crop Switchgrass at Mississippi, US using Geographic Information System, Multicriteria analysis and Sensitivity analysis*: Mississippi State University.
- Asakereh, A., Omid, M., Alimardani, R., ve Sarmadian, F. (2014). Developing a GIS-based fuzzy AHP model for selecting solar energy sites in Shodirwan region in Iran. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 68, 37-48.
- Aydın, F. (2015). *Enerji Bitkisi Yetiştirilebilecek Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Desteği ile Tespiti*. (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.
- Balezentiene, L., Streimikiene, D., ve Balezentis, T. (2013). Fuzzy decision support methodology for sustainable energy crop selection. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 83-93.

- Berndes, G., Hoogwijk, M., ve Van den Broek, R. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25(1), 1-28.
- Bilgili, O. (2017). *Miscanthus x Giganteus Bitkisinin Marjinal Alanda Denenmesi ve Adaptabilite, Biyokütle Üretimi ile Biyoyakıt Potansiyelinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Kahramanmaraş.
- Bouton, J., Bransby, D., Conger, B., McLaughlin, S., Ocumpaugh, W., Parrish, D., Taliaferro, C., Vogel, K., ve Wullschleger, S. (1998). *Developing switchgrass as a bioenergy crop*. Erişim adresi:
- Caslin, B., Finnan, J., ve Easson, L. (2010). *Miscanthus best practice guidelines. Agriculture and Food Development Authority, Teagasc, and Agri-Food and Bioscience Institute*.
- Demirbas, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy conversion and management*, 49(8), 2106-2116.
- Dornburg, V., van Vuuren, D., van de Ven, G., Langeveld, H., Meeusen, M., Banse, M., van Oorschot, M., Ros, J., van den Born, G. J., ve Aiking, H. (2010). Bioenergy revisited: key factors in global potentials of bioenergy. *Energy & Environmental Science*, 3(3), 258-267.
- Duygu, E., ve Cısdık, İ. (2011). Biyokütle Enerjisi İçin Yetiştiriciliğin Etkileri Konusunda Araştırmalar I. Bilgi Birikimi Işığında Türkiye'deki Eko-Ekolojik Etki Potansiyeli. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 93-109.
- EIA. (2015). International Energy Statistics https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#/?pa=000001000004&c=ruvvvvfvvvvvv1vvvvvvfvvvvvvvfvvsu20evvvvvvvvvvvfvvg&ct=0&tl_id=79-A&vs=INTL.80-1-AFG-TBPD.A&cy=2015&vo=0&v=B&start=2009&end=2016 adresinden edinilmiştir.).
- EPDK. (2020). *Petrol piyasası 2019 yılı sektör raporu* Erişim adresi: Ankara:
- ESRI. (2016). How Weighted Overlay works. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm> adresinden edinilmiştir.).
- FAO. (2008). The State of Food and Agriculture. Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities. *FAO Report*.
- Fiorese, G., ve Guariso, G. (2010). A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 702-711.

- Golden, N. (2008). Promotion And Protection Of All Human Rights, Civil, Political, Economic, Social And Cultural Rights, Including The Right To Development: Report of the Special Rapporteur on the right to food. In: UN.
- Graham, R. L., English, B. C., ve Noon, C. E. (2000). A geographic information system-based modeling system for evaluating the cost of delivered energy crop feedstock. *Biomass and Bioenergy*, 18(4), 309-329.
- Karaca, Başçetinçelik, A., ve Öztürk, H. (2004). Bazı Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütle Politikaları, V. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 1.
- Koçar, G., Eryaşar A., Bayrakçı, A. G., Çelebi, B. H., Neptün E.A., Salmanoğlu, F., Seven G., Elibol H.A., Çelikleş M.S., Çubukçu, M., Güneş, M., Çetin, N. S., Perinçek, O., Ersöz Ö., Ünalın S., ve Arıcı, Ş. (2012). İzmir İli Yenilenebilir Enerji Sektör Analizi. *Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü*, 175.
- Koikai, J. S. (2008). Utilizing GIS-Based Suitability Modeling to Assess the Physical Potential of Bioethanol Processing Plants in Western Kenya." *Saint Mary's University of Minnesota University Central Services Press, Winona, MN*. OpenURL.
- Kumaravel, S., ve Ashok, S. (2012). An optimal stand-alone biomass/solar-PV/pico-hydel hybrid energy system for remote rural area electrification of isolated village in Western-Ghats region of India. *International journal of green energy*, 9(5), 398-408.
- Li, Y., ve Khanal, S. (2015). *Bioenergy: Principles and Applications*. USA: John Wiley and Sons, Incorporated.
- Lovett, A. A., Sünnenberg, G. M., Richter, G. M., Dailey, A. G., Riche, A. B., ve Karp, A. (2009). Land use implications of increased biomass production identified by GIS-based suitability and yield mapping for Miscanthus in England. *Bioenergy Research*, 2(1-2), 17-28.
- Lunnan, A. (1997). Agriculture-based biomass energy supply—a survey of economic issues. *Energy policy*, 25(6), 573-582.
- Maxson, M. L. (2008). *Fuzzy logic techniques applied to a switchgrass ecological site suitability model for the state of Mississippi*: Mississippi State University.
- McLaughlin, S. B., ve Walsh, M. (1998). Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, 14(4), 317-324.
- Nigam, J. (2002). Bioconversion of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-fermenting yeast. *Journal of Biotechnology*, 97(2), 107-116.
- Nuran Erkul, K. (2020). Benzin türlerine etanol harmanlama zorunluluğuna 'kademeli geçiş'. <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/benzin-turlerine-etanol-harmanlama-zorunluluguna-kademeli-gecis/1871650> adresinden edinilmiştir.).

- Öztürk Tophanecioğlu, S. (2009). *Tarımsal atıklardan hızlı piroliz yöntemiyle sentetik sıvı yakıt eldesinde piroliz parametrelerinin etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- REN21 Community. (2018). *Renewables 2018 Global Status Report*. Erişim adresi:
- Resch, G., Held, A., Faber, T., Panzer, C., Toro, F., ve Haas, R. (2008). Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy policy*, 36(11), 4048-4056.
- Sanderson, M., Reed, R., McLaughlin, S., Wullschleger, S., Conger, B., Parrish, D., Wolf, D., Taliaferro, C., Hopkins, A., ve Ocumpaugh, W. (1996). Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*, 56(1), 83-93.
- Somerville, C., Youngs, H., Taylor, C., Davis, S. C., ve Long, S. P. (2010). Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *science*, 329(5993), 790-792.
- Soylu, S. (2012). Alternatif Bir Biyoyakıt Bitkisi Olarak Dallı Darının (Panicum virgatum L.) Türkiye’de Yetiştirme Teknikleri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(3).
- Thapa, N. (2012). *Agro-climatic and land suitability mapping for switchgrass grown as a bioenergy crop in North Dakota*.
- Topal, M., ve Arslan, E. I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 17-19.
- Toprak Mahsulleri Ofisi. (2017). *2017 Hububat Raporu*. Ankara: TMO. Erişim adresi: <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/hububat/HububatRaporu2017.pdf>.
- TUIİK. (2020). *Yıllara göre il nüfusları, 2000-2019*. Ankara.
- Wang, W. W. (2012). *Three essays on climate change impacts, adaptation and mitigation in agriculture*: Texas A&M University.
- Yanmaz, A. M., ve Usul, N. (2006). *Kavramsal su mühendisliği*: ODTÜ Yayıncılık.