

Kırsal Peyzajda CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi ile Tarımsal Arazi Uygunluk Sınıflarının Belirlenmesi

Murat Güven TUĞAÇ¹

¹Toprak Gübre ve Su kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-5941-5487>

Sorumlu yazar: mgtugac@gmail.com

Geliş Tarihi: 28.06.2022, Kabul Tarihi: 15.12.2022

To Cite: Tuğaç, M. G. (2022). Kırsal Peyzajda CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi ile Tarımsal Arazi Uygunluk Sınıflarının Belirlenmesi. International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research, 5(1): 58-76

Özet

Doğal kaynakların kıt ve hassas olduğu günümüzde tarımsal verimliliğin artırılması için arazi kaynaklarının doğru kullanılması gerekir. Arazi kaynaklarının etkin değerlendirilmesi için ekolojik koşullar dikkate alınarak arazilerin kullanım uygunluğunun belirlenmesi ve alan kullanım tercihlerinin yapılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Çok Kriterli Karar Analizi ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri birleştirilerek tarımsal arazi uygunluğu belirlenmiştir. Kriterlerin birbirlerine göre göreceli önem ağırlıklarının belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) uygulanmıştır. CBS teknikleri ile kriterlerin birleştirilmesinde ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyon modeli uygulanarak tarımsal uygunluk sınıfları oluşturulmuştur. Arazi uygunluk analizi için toprak, topografya, iklim ve su kaynakları ana kriterler olarak belirlenmiş ve bu kriterlere bağlı 18 alt kriter değerlendirilmiştir. Çalışma alanı, tarımsal kullanım için tuzluluk, erozyon, drenaj, kireçlilik ve toprak derinliği gibi kısıtlar sebebiyle orta derece uygun (% 59.6) sınıftadır. Arazi uygunluk haritaları, temel altlık veriler olarak değerlendirildiğinde gıda güvenliği, tarımsal planlama ve sürdürülebilir arazi yönetimi konularında önemli katkılar sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Arazi uygunluk, Çoklu kriter analizi; CBS, AHS

Determination of Agricultural Land Suitability Classes with GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis in Rural Landscape

Abstract

Today, where natural resources are scarce and sensitive, land resources must be used correctly in order to increase agricultural productivity. For the effective utilization of land resources, it is important to determine the suitability of the land for use and to make land use preferences by considering ecological conditions. In this study, agricultural land suitability was determined by combining Multi-Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems (GIS) techniques. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was applied to determine the relative importance weights of the criteria with respect to each other. Agricultural suitability classes were created by applying the weighted linear combination model to combine the criteria in the GIS environment. For the land suitability analysis, soil, topography, climate, and water resources were determined as the main criteria and 18 sub-criteria related to these criteria were evaluated. The study area is in a moderately suitable (59.6%) class for agricultural use due to constraints such as salinity, erosion, drainage, calcareousness, and soil depth. When land suitability maps are evaluated as basic base data, they can make important contributions to food safety, agricultural planning, and sustainable land management.

Keywords: Land suitability, Multi-criteria analysis; GIS, AHP

1. Giriş

Arazi, en değerli doğal kaynaklarından birisi olarak sürdürülebilir kullanımı son derece önemlidir. Hızlı nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği arazi üzerindeki baskıyı arttırarak tarımsal üretim üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Bu durum, kaynakların optimum kullanılarak verimliliğin arttırılması ve sürdürülebilirliğine dayalı bir yaklaşımın geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Arazi uygunluk değerlendirmesi, belirli bir ürünün yetiştirilmesi için arazi kullanım planlamasının en önemli aşamalarından biridir (Akıncı ve ark., 2013). Arazi değerlendirme, arazinin farklı kullanımlar için potansiyelini belirlemek ve sürdürülebilir bir kullanım oluşturmak için tasarlanmıştır (George, 2005). Bu süreçte, belli bir amaç için arazi performansı fiziksel, ekonomik ve sosyal yönüyle değerlendirilir (Nguyen vd., 2015; Herzberg, 2019). Ürünün alansal kullanım uygunluğu, arazi kullanım gereksinimleri ve toprak/arazi özelliklerinin bir fonksiyonudur. Arazi özelliklerinin ürün gereksinimlerini karşılama düzeyinin artması potansiyel uygunluk seviyesini de arttırmaktadır (FAO, 1985).

Mekansal uygunluk sürecinde iklim, toprak, topografya, su kaynakları ve bitki örtüsü gibi çok sayıda kriter birlikte değerlendirilmektedir. Günümüzde, bu parametrelerin analizinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV) tarımsal arazi uygunluğu ve uygun yer seçimi çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Akıncı ve ark., 2013; Sarkar ve ark., 2014; Dedeoğlu ve Dengiz, 2019). ÇKKV, aynı zamanda Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) olarak da adlandırılır ve doğru arazi kullanım kararlarının alınması için arazi uygunluk potansiyeli belirlenir (Nurda ve ark., 2020).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), karmaşık yapıdaki problemleri çözmek için hiyerarşik bir yapı kullanan çok kriterli bir değerlendirme yaklaşımıdır (Saaty, 1980). Bu teknik, parametrelerin ikili karşılaştırmasından elde edilen öncelik değerlerine dayanan bir ölçüm teorisidir ve en iyi alternatif kararın seçiminde hem nicel hem de nitel faktörler dikkate alınır (Romano ve ark., 2015). Çok kriterli yapının çözümlenmesinde ana özellikler ayrı olarak gruplandırılıp her grup kendi içinde alt kriterlere sahip olabilir. Bu süreç, hedefler, kriterler, alt kriterler ve diğer alternatiflerden oluşan çok seviyeli bir hiyerarşik yapıyı kullanır (Memarbashı ve ark., 2017; Babalola, 2018). Karar probleminin hiyerarşik bir yapı içerisinde ele alınması sayesinde değerlendirme homojenlik kazanmakta ve problem daha küçük parçalara ayrılarak çözüm kolaylaştırılmaktadır (Saaty ve Vargas 2001). AHS, arazi kullanım türleri için karar vermedeki tutarsızlıklar belirlenerek yapılan değerlendirmelerin geliştirilmesi ve doğru arazi uygunluk haritalarının üretilmesinde bir mekansal karar destek sistemi sağlayabilir.

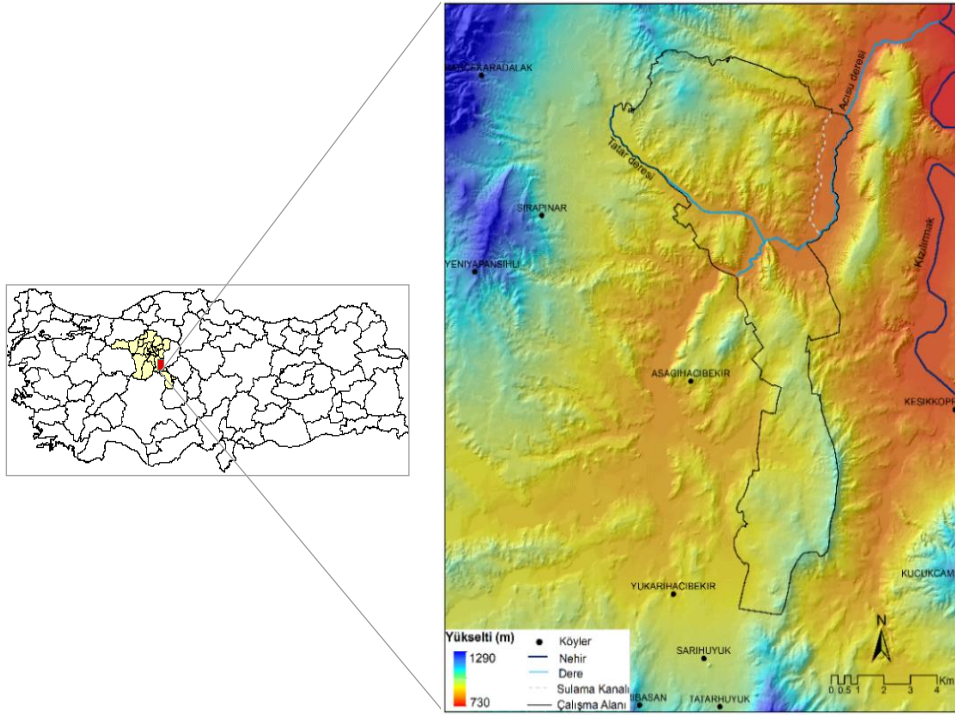
ÇKKA kapsamında, parametrelerin göreceli önemine göre mekânsal uygunluk değerlendirilir. Arazi uygunluk değerlendirmelerinde, ÇKKA ve CBS tekniklerinin birleştirilmesi ile karar destek metodolojisinin güçlendirilmesi ve mekânsal uygunluk haritalarının oluşturulması önemli ölçüde kolaylaşır (Malczewski, 2006). CBS ortamında farklı veri katmanlarının birleştirilmesinde Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (ADK) metodu yaygın olarak kullanılmaktadır (Ceballos-Silva ve Lopez-Blanco, 2003; Zolekar ve Bhagat, 2015; Herzberg ve ark., 2019; Tercan ve Dereli, 2020). ADK metodu ile farklı skala özelliklerine sahip kriterler standardize edilerek ortak bir skala ölçeğinde birleştirilir (Eastman, 1995; Malczewski, 1999). Böylece, arazi uygunluk indeksi elde edilerek arazi uygunluk sınıfları oluşturulur.

Bu çalışmada, ÇKKA ve CBS teknikleri kullanılarak toprak, topoğrafya, sulama ve iklim kriterlerinin değerlendirilmesi ile arazinin tarımsal uygunluk sınıfları belirlenmiştir. Uygunluk değerlendirmesi çerçevesinde uygulanan metodolojinin aşamaları ve kriter etkileri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Ankara İli, Bala İlçe sınırlarında yer alan Bala Tarım İşletmesi arazilerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı, Ankara İline 92 km ve Bala İlçe merkezine 23 km mesafede yer alırken konum olarak $33^{\circ} 14' 45''$ - $33^{\circ} 21' 20''$ doğu boylamları ile $39^{\circ} 19' 39''$ - $39^{\circ} 30' 58''$ kuzey enlemleri arasındadır. Alanın deniz seviyesinden olan yükseltisi ortalama 855 m ve alansal büyüklüğü 8.285 ha'dır. İşletme arazileri, kuzeyde Büyük Boyalık Köyü ve Karakeçili İlçesi; batıda Sırıpınar, Aşağı ve Yukarı Hacıbekir Köyleri; doğu da Kesikköprü, Acısu Çayı ve Küçükcamili Köyü, güneyde Sarıhüyük ve Tatarhüyük Köyleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Yarı kurak iklimin hakim olduğu alanda yıllık ortalama sıcaklık 11.5°C ve yıllık yağış miktarı 380 mm'dir (MGM, 2021).



Şekil 1. Çalışma alanı

Alanın fizyografik yapısını alüvyal, dik kayalık yamaçlar, parçalanmış yamaçlar ve tepelik alanlar oluşturmaktadır. Çalışma alanı, düz- düze yakın eğimli taban araziler ile kısmen düze yakın ve yer yer çok dik eğimli olmakla birlikte genel olarak hafif ve orta eğime sahip dalgalı araziler olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Taban araziler, alanın kuzey-batı ucundan güneye doğru akan Tatar Çayı ile kuzey-doğu uç noktasından güneye doğru yönelen Acısu

Çaylarının aktivitesi ile oluşan düz-düze yakın eğimli arazileri kapsamaktadır. Dalgalı topografyaya sahip araziler, kuzeyden güneye doğru homojen bir şekilde yayılım göstermektedir. Alan içinde tepe ve sırtların bulunduğu kısımlarda erozyon nedeniyle aşınma meydana gelmiştir. Bu topoğrafik yapı içinde yer alan serileri; dik-çok dik eğimli alanlar, orta-hafif eğimli alanlar ve kayalık alanlar kapsamaktadır. Alanın jeolojik yapısı, kuzeyinde bulunduğu Tuz Gölü Havzasının jeolojisi ile ilişkili olarak oligo-miyosen, miyosen, poliyosen ve kuvarterner yaşlı formasyonlardan oluşmaktadır. Ana malzemeler çoğunlukla kalker, alüvyon, marn, alçıtaşı ve çakıldan oluşmaktadır (MTA, 1981).

Çalışma alanı toprak taksonomisine (Soil Survey Staff, 1996) göre 2 ana toprak ordosu (entisoller, aridisoller) ve 23 farklı toprak serisini içermektedir (Arcak, 1992). Eğimin azaldığı yerlerde topografik yapıya uygunluk göstererek derin profilli topraklar, alanın kuzeydoğu ve kuzeybatı kısımlarında %20'ye ulaşan eğimli alanlarda ise erozyon ile aşınmış olan genelde sığ topraklar bulunmaktadır. Sığ ve eğimli kısımlardaki araziler yer yer sel yarınmaları ile kesilmiş ve bu yarınmalar bazı alanlarda dar küçük vadecilikler oluşturmuştur. Konglomera teraslarından oluşan fizyografik ünite çalışma alanının kuzey, batı ve orta-doğusunda göze çarpmaktadır. Bu alanlar %2-30 eğimli ve sığ toprak derinliğine sahiptir. Kolüviyal araziler, yüksek rakımlı arazilerin eteklerinde, %2-12 arasında değişen eğimli alanlarda ve orta derin profilli topraklar da yer almaktadır. Alüviyal alanlar ise düz ve düze yakın eğimli taban arazileri kapsamaktadır.

Çalışma alanı tarım arazileri, mera, ağaçlık, meyve bahçesi, çıplak ve kayalık alanlar gibi farklı arazi kullanım ve arazi örtüsü birimlerini içermektedir. Alanının %69.5'ini tahıl, yem bitkileri ve yağ bitkilerinden oluşan kuru tarım alanları (5.760 ha), %5.1'ini sulu tarım (420 ha), %12.4'ünü çayır-mera (1.025 ha), %11.1'ini tarım dışı alanlar (918 ha) ve %2.0'sini ağaçlık ve bahçe arazisi (162 ha) oluşturmaktadır. Tarımsal üretimi yapılan ürünler buğday, arpa, yonca, ayçiçeği, mısır, korunga ve fig'dir. Hayvansal üretimde süt sığırcılığı, koyunculuk, kümes hayvancılığı ve arıcılık faaliyetleri yapılmaktadır.

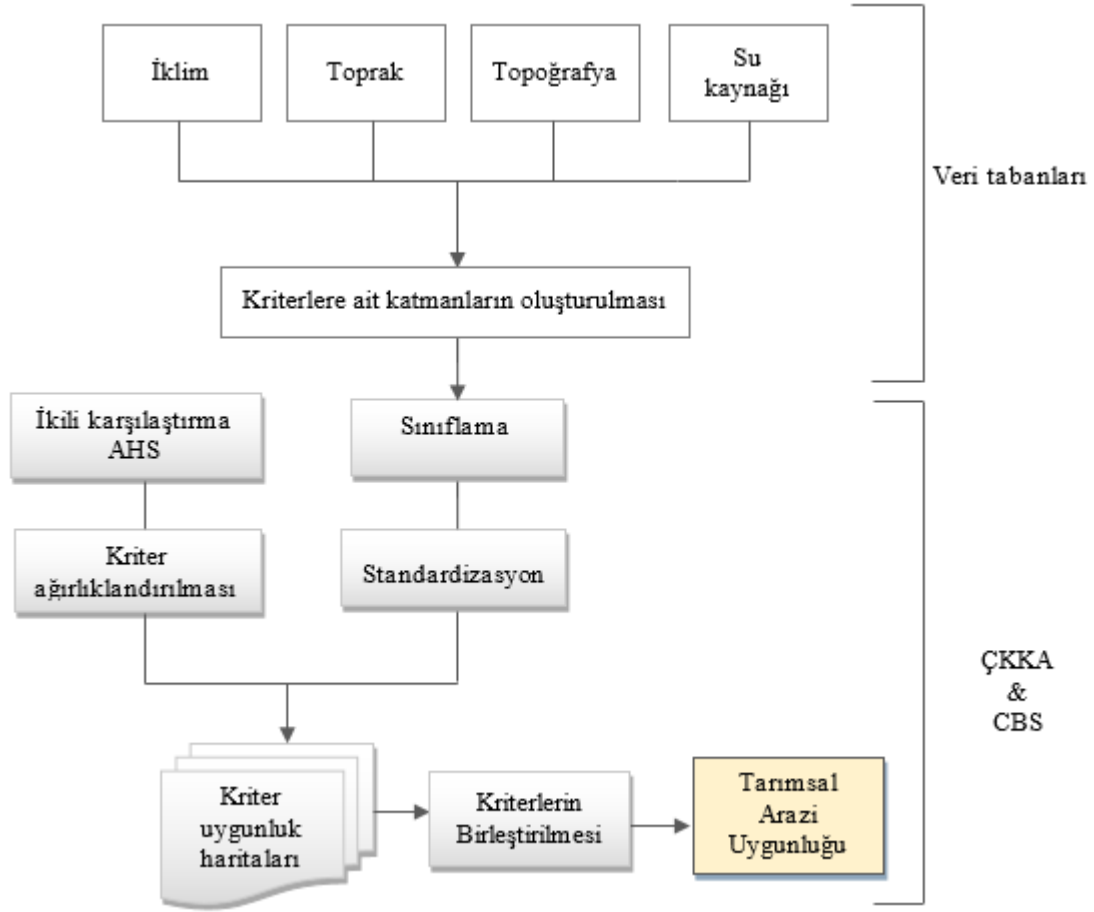
2.2. Veri Kaynakları

Çalışmada kullanılan ana veri kaynaklarını toprak, topoğrafya, iklim, uydu görüntüsü ve hava fotoğrafları oluşturmaktadır. Toprak veritabanı, 1:16.000 ölçekli detaylı toprak etüt haritasından elde edilen fiziksel ve kimyasal toprak özelliklerini içermektedir (Arcak, 1992). 1/5000 ölçekli topografik haritalardan üretilen sayısal yükseklik modelinden eğim ve bakı katmanları elde edilmiştir. Toprak kimyasal özellikleri (pH, organik madde, tuzluluk, kireç, kation değişim kapasitesi, değişebilir sodyum yüzdesi, jips) ve iklim (yağış, sıcaklık)

verilerinin enterpolasyonunda Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW) yöntemi kullanılmıştır. Bu teknik ile gerçek değeri belirlenen noktalardan değeri bilinmeyen noktalar tahmin edilerek alansal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Veri katmanları 10 m hücresel çözünürlüklü grid veri formatında üretilmiştir. Alanın parsel haritası, hava fotoğrafı ve Landsat uydu görüntüsünden elde edilmiştir. Bütün sayısal veriler CBS ortamında oluşturulmuştur.

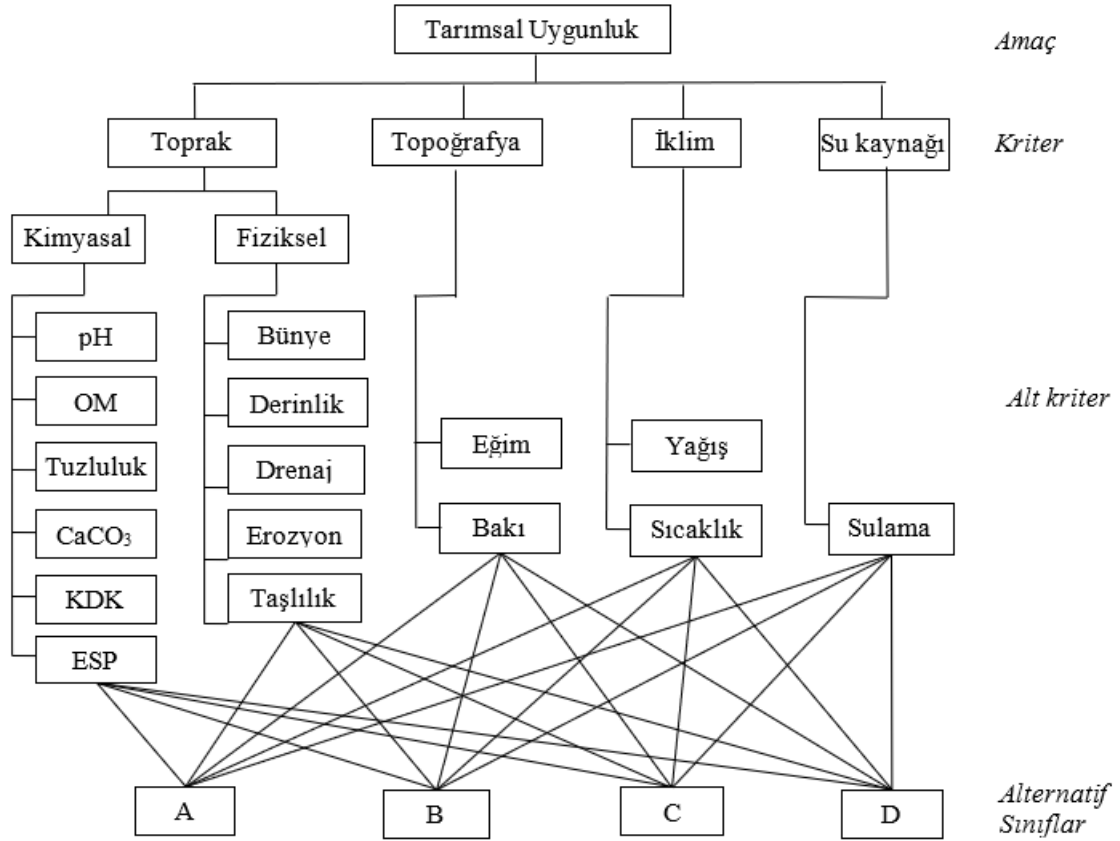
2.3. Çok Kriterli Karar Verme Analizi

Arazi uygunluk analizi, ürün gereksinimlerinin ve arazi özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle arazi özelliklerinin ürün gereksinimlerini ne derece karşılandığının belirlenmesi gerekir (FAO, 1976). Birden çok faktörün değerlendirmeye alındığı alansal yönetim çözümlerinde ÇKKA yöntemi birden fazla nitelik veya kritere göre çeşitli alternatifler arasından en iyi çözümün belirlenmesinde etkilidir. Arazinin belirli bir amaç için uygunluğunu değerlendirme süreci, araziye etkileyen faktörlerin kapsamlı bir analizini gerektirir. Ürünün gelişmesine doğrudan etkileyen ekolojik faktörler ile kısıtların belirlenerek alansal uygunluk için karar verme süreçleri uygulanır. Bu çalışmada uygulanan metodoloji ile ilgili takip edilen süreç Şekil 2’de verilmiştir.



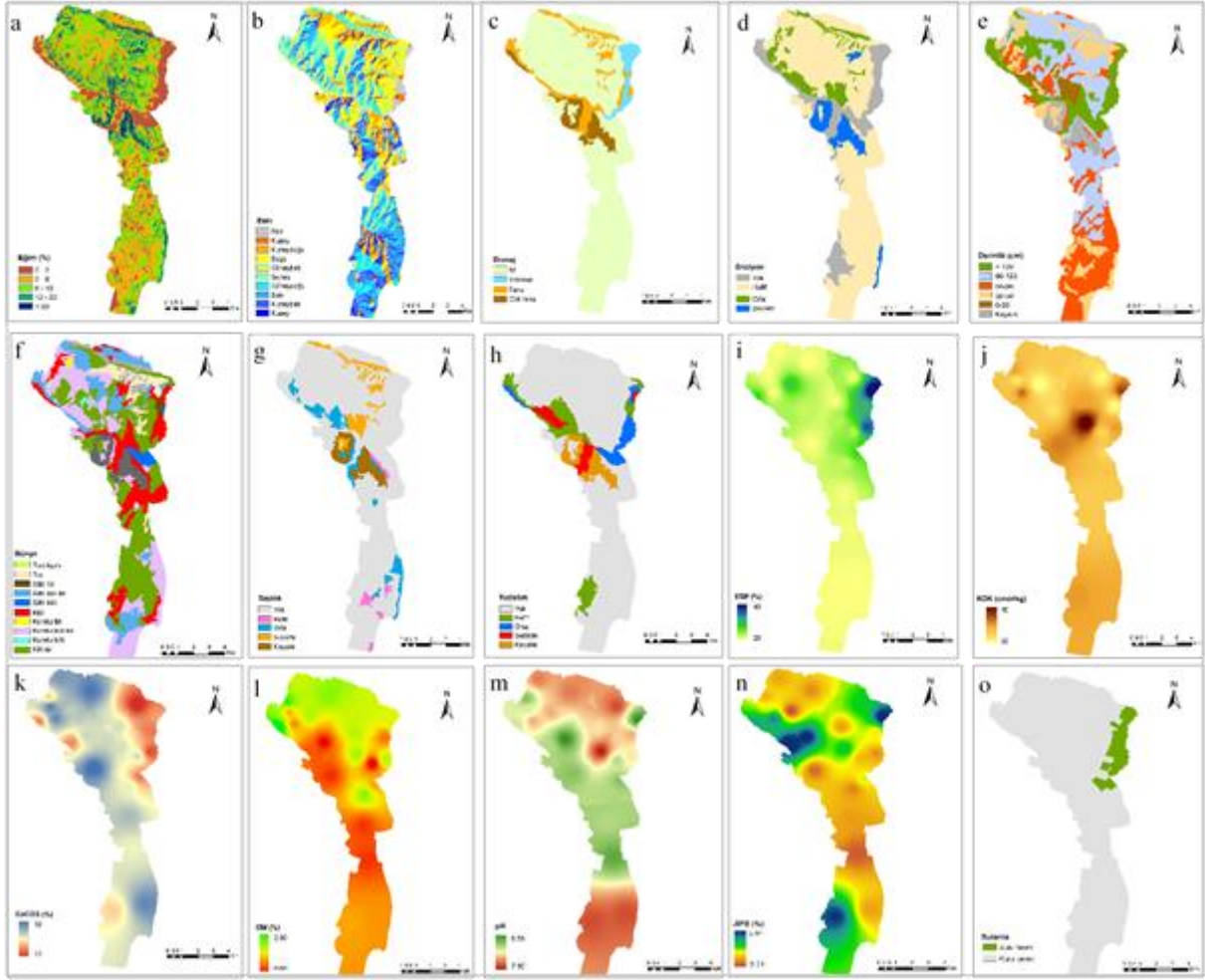
Şekil 2. Tarımsal arazi uygunluğu metodoloji akış şeması

Tarımsal alan kullanımı için ekolojik ihtiyaçların belirlenmesi ve arazi uygunluğunun bir ölçüsü olarak modele girdi oluşturulması için kriter, alt kriter ve kısıtların belirlenmesi gerekir. Bir karar verme sürecinde, model içinde seçilen kriterler ana kriterler altında gruplanarak alt kriterler olarak belirlenir. Değişkenlerin birleşik sınıflandırması ile amaca göre göreceli bir hiyerarşik yapının ve model aşamalarının oluşması sağlanmaktadır. Bu çalışmada, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan çok seviyeli bir hiyerarşik yapı kullanılmıştır (Şekil 3). Bu aşamalar; (I) hedeflenen alan kullanımının belirlenmesi, (II) alan kullanımı ile bağlantılı olarak ana kriterlerin seçilmesi, (III) ana kriterlere bağlı alt kriterlerin belirlenmesi, (IV) alternatif uygunluk sınıflarının oluşturulmasıdır. Belirlenen amaç fonksiyonuna bağlı olarak arazi özelliklerinin seçiminde uzman görüşleri büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3. Arazi uygunluk değerlendirmesinin hiyerarşik yapısı (Saaty, 1994)

Tarımsal arazi uygunluğunun değerlendirilmesinde; toprak, topoğrafya, iklim ve su kaynakları olmak üzere dört ana ekolojik kriter belirlenmiştir. Amaç fonksiyonuna bağlı olarak ana kriterlerin gruplandırılarak çok sayıda kriter kullanımı sebebiyle modelin daha efektif kılınması amaçlanmıştır. Ana kriterlere bağlı olarak 18 adet alt kriter model girdisi olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda değerlendirmeye alınan kriterler; toprak derinliği, bünye, taşlılık, erozyon, drenaj, organik madde (OM), kireç (CaCO₃), toprak reaksiyonu (pH), tuzluluk, katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), eğim, bakı, sıcaklık, yağış ve sulama'dır (Şekil 4). Kısıtlayıcı faktörler alanda değiştirilemeyen arazi özelliklerini; kayalık, aşınmış alanlar, sel yarıntıları, bataklık gibi kalıcı olumsuz sınırlamaları içerir.



Şekil 4. Kriter dağılım haritaları (a-eğim, b-bakı, c-drenaj, d-erozyon, e-derinlik, f-bünye, g-taşlılık, h-tuzluluk, i-ESP, j-KDK, k-CaCO₃, l-organik madde, m-pH, n-jips, o-sulama)

Kriter haritaları alan içinde dağılımları gösterirken alan kullanımına bağlı olarak her bir kriter kendi içinde çok uygun (A), orta uygun (B), az uygun (C) ve uygun değil (D) olarak alternatif uygunluk sınıflarına ayrılmıştır. Bu seviyeler, kriter haritalarını oluşturmak için bir temel olarak kullanılmıştır. Sınıflara ait sınır değerlerinin belirlenmesinde uzman görüşleri ve literatür bilgileri değerlendirilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Tarımsal arazi uygunluğu kriter sınıf değerleri (Sys, 1993; Dinç ve Şenol 2001)

Ana kriter	Alt kriter	Sınıflar			
		Çok uygun (A)	Orta uygun (B)	Az uygun (C)	Uygun değil (D)
Topoğrafya	Eğim (%)	<2	2-6	6-12	12>
	Bakı	F, G, GD, GB	D, B	KD, KB	K
Toprak	Derinlik (cm)	>90	90-50	50-25	<25
	Bünye	L, SiL, SiCL, SiCL, SCL	SC, C<%45, SiC	C>%45, SL, LS	S
	Taşlılık	Yok	Hafif	Orta	Şiddetli
	Erozyon	Yok	Hafif	Orta	Şiddetli
	Drenaj	İyi	Yetersiz	Fena	Çok fena
	OM (%)	>4	4-2	2-1	<1
	CaCO ₃ (%)	<10	10-20	20-40	>40
	Jips (%)	0-5	5-10	10-25	>25
	pH	6.1-7.8	7.9-8.4, 6.0-5.6	8.5-9.0, 5.5-4.5	>9.0, <4.5
	KDK (me/100g)	<10	10-20	20-30	>30
	ESP (%)	0-10	10-20	20-40	>40
	Tuzluluk	<0.15% EC,<4 dS.m ⁻¹	0.15-0.35% EC,4-8 dS.m ⁻¹	0.35-0.65% EC,8-16 dS.m ⁻¹	>0.65% EC,>16 dS.m ⁻¹
	Su kaynağı	Sulama	Sulu tarım	Kuru tam	Tarım dışı
	İklim	Sıcaklık (°C)	15-30	10-15, 30-40	5-10, 40-50
Yağış (mm)		>600	600-400	400-250	<250

L:tn, SiL:siltli tn, Si:silt, CL:killi tn, SiCL:siltli killi tn, SCL:kumlu killi tn, SC: kumlu killi, SiC:siltli killi, C:killi, SL:kumlu tn, LS:tnlı kum, S:kum, f:düz, g:güney, gd:güneydoğu, gb:güneybatı, d:doğu, b:batı, kd:kuzeydoğu, kb:kuzeybatı, k:kuzey

2.4. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Değerlendirme yapılan alan kullanımı için kriterlerin göreceli önemine ilişkin bir dizi ikili karşılaştırma yapılarak kriterlerin ağırlıklandırılması sağlanır. Her bir kriter için ağırlık değerlerinin belirlenmesi sürecinde, kriterlerin önemi dikkate alınır (Saaty, 1980). Kriterlerin belirlenmesi ve kriterlerin göreceli önemliliği literatür ve uzman görüşlerine göre değerlendirilmiştir. AHS tercih ölçeğine göre parametrelerin ağırlıklarını belirlemek için bir kriterin diğerine göre önemine dayalı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. N faktörün ikili karşılaştırma matrisi A aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$A = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & \dots & k_{mn} \end{bmatrix}$$

A, k_{ij} elemanlı $n \times n$ matrisini temsil eder, i ve j seçilen faktörlerdir. Bu matris matematiksel olarak $c_{ij} = 1/c_{ji}$ olarak da ifade edilir. Bir faktörün diğerine göre göreceli önemine ilişkin bir yargıyı ifade eden sayısal değerler, her bir faktör için atanır (Çizelge 2).

Çizelge 2. AHS tekniği ikili karşılaştırma skalası

Önem derecesi	Tanım
1	Eşit önem
3	Bir faktörün diğerine göre orta derecede önemi
5	Kuvvetli önem
7	Çok kuvvetli önem
9	Aşırı önem
2,4,6,8	Ara değerler

Ölçek, “1” eşit önem derecesini gösterirken, “9” bir faktörün diğerine göre aşırı önemli olduğunu göstermektedir. Satır kriterinin sütun kriterinden daha az önemli olduğu durumlarda ters (karşıt) değerler (1/3, 1/5, 1/7 ve 1/9) kullanılır. Örneğin, toprak derinliği bitki kök gelişimi açısından önemli bir parametre olarak kendi içinde puanlanırken 90 cm'den derin topraklara sığ topraklara göre 9 puan verilmiştir. Kriter ağırlıkları, ikili karşılaştırma (A) matrisi oluşturduktan sonra matrisin normalleştirilmiş ana özvektörünü tanımlanarak ağırlıkları türetmek mümkündür.

$$B = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

$$x_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum_{i=1}^n k_{ij}}$$

B matrisi'nde, x_{ij} , normalize edilmiş değer, k_{ij} , matrisin i satırı j sütunundaki değeri ve $\sum_{i=1}^n k_{ij}$ ise A matrisinden j sütununa göre k_{ij} 'nin toplamıdır. Ağırlıkların son vektörü, her bir olasılığın birincil amaca yönelik göreceli önemini gösterir. B matrisi'nden, kriter ağırlıkları aşağıdaki gibi türetilir:

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Burada, w_i , i kriterinin ağırlığı, x_{ij} , B matrisi'nde j satırına göre x_{ij} 'nin toplamı ve n kriter sayısıdır. Kriter ağırlıklarının toplamı 1'e eşittir. Ağırlıklar, niteliklerin göreceli önemini temsil eder (Malczewski, 2000; Eastman, 2003).

2.5. Matris tutarlılığının doğrulanması

AHS aşamalarında, karar vericiler tarafından oluşturulan matrisin tutarsızlıklarının tanımlanması ve hesaplanması gerekir (Saaty, 1980). Tutarlılık ilişkisi (CR), aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$CR = CI/RI$$

Eşitlikte, CI tutarlılık indeksi ve RI rastgele indeksidir. Böylece, tutarlılık koşulları değerlendirilerek mantıksal tutarsızlığın ölçülmesi sağlanır. Tutarlılık indeksinin (CI) hesaplanmasında ise aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

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

Eşitlikte, λ_{max} tercih matrisinin en büyük özvektörü ve n kriter sayısıdır. Saaty (1977) tarafından tesadüfi indeks (RI) hesaplanması için farklı n tane sıra içeren kare matrislerin ortalama tutarlılığını gösteren tesadüfi değerlere ilişkin bir çizelge oluşturmuştur (Çizelge 3). Bu değer, derecelendirmelerin rastgele atanma olasılığını gösterir ve her bir kriter için göreceli öneminin ağırlığı hesaplanır. Hesaplanan CR değerinin 0.10 dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterirken, CR değerinin 0.10' dan büyük olması ya AHS' deki bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir (Saaty, 1980).

Çizelge 3. Rastgele indeks (RI) değerleri (Saaty, 1980)

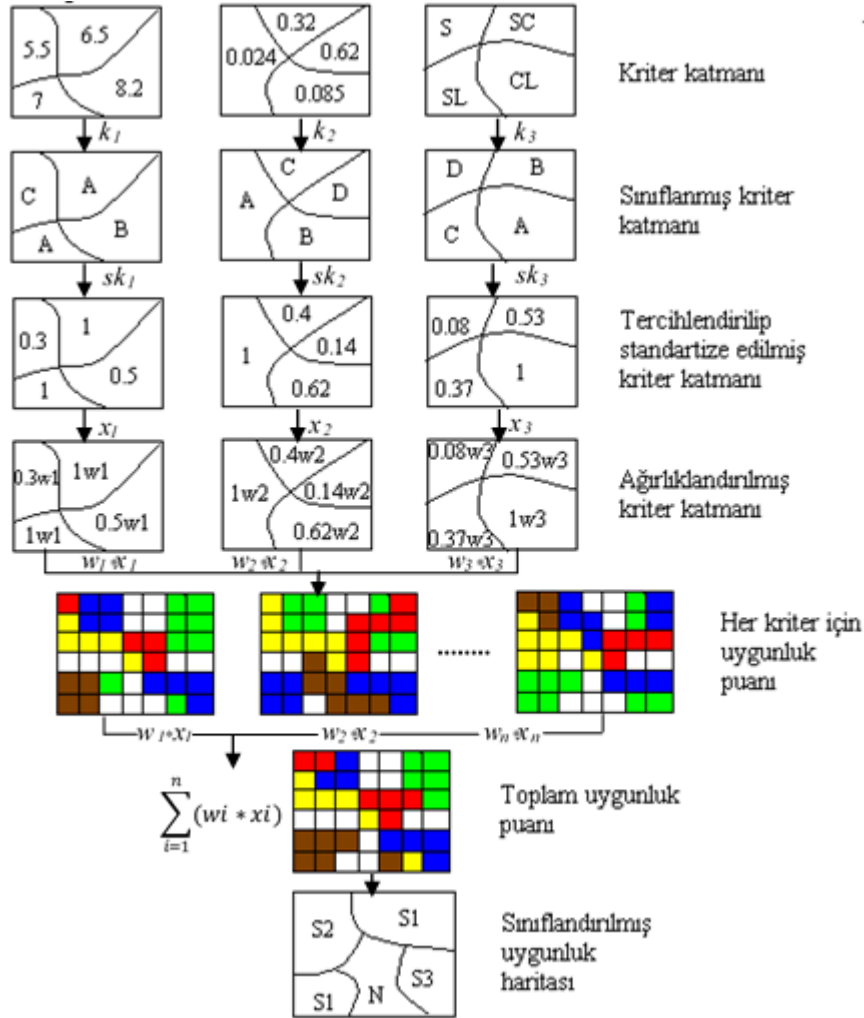
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

2.6. CBS ile arazi uygunluk haritasının oluşturulması

Tarımsal uygunluk analizi; amaca göre kriterlerin seçimi, sınıflandırma, standardizasyon, ağırlıklandırma ve kriterlerin birleştirilmesi aşamalarını içerir (Şekil 5). AHS ile birlikte kriter haritalarının birleştirilmesi ile elde edilen sonuç haritası bir indeks değeri ile tanımlanır. Uygunluk indeksinin oluşturulmasında farklı kriter haritaları kullanıldığından her bir alt kriter için ortak bir değer skalası oluşturulması gerekir. Bunun için kriter sınıfına (sk) 0 ile 1 arasında değer atanarak standardize (x) edilir (Malczewski, 2004). Bu işlem sonucunda, çok uygun olan sınıflar 1 değerini alırken tarım yapılmasının mümkün olmadığı sınıflar 0 değerini alır.

CBS teknikleri ile çok sayıda kriterin birleştirilmesinde Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (ADK) metodu kullanılmıştır. ADK, ağırlıklı ortalama kavramına dayanan mekansal çok nitelikli karar verme analizidir (Zhang ve ark., 2013; Chivasa ve ark., 2019). Her arazi birimi

veya raster hücrenin uygunluk puanı her kriter için elde edilen uygunluk puanının her bir özneliğe verilen önem ağırlığının doğrusal kombinasyonundan hesaplanmıştır.



Şekil 5. Arazi uygunluk değerlendirme aşamaları

Bu yöntemde, her kriter haritasının her hücresi için standartize değerinin ağırlıklandırılması ile elde edilen değerler toplanır. ADK ile arazi uygunluk sınıfları aşağıda verilen eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$S = \sum_{i=1}^n (w_i * x_i) * 100 * \prod_{j=1}^m c_j$$

Eşitlikte, S hücredeki sonuç rasterinin uygunluk değeri, w_i i-inci kriterin ağırlığı, x_i i-inci kriter haritasının standartlaştırılmış değeri, n kriter sayısı toplamı, m kısıt sayısı toplamı, c_j kısıt harita katmanıdır. Tarımsal uygunluk haritası, 0 ile 100 arasında indeks değerine ve 10 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Hüresel (raster) veri formatında elde edilen uygunluk haritası, FAO (1976) arazi uygunluk sınıflandırmasına göre çok uygun (100-85), orta uygun (85-60), az

uygun (65-40) ve uygun değil (40-0) olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Ayrıca kayalık, aşınmış araziler, bataklık gibi tarımdışı sınırlayıcı arazi özellikleri uygunluk analizi dışında bırakılmış sınıflama aşamasında uygun olmayan sınıflar içerisine dahil edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması ve alansal verimliliğin artırılması için seçilen örnek alanda tarımsal arazi uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Arazinin kullanım uygunluğunun belirlenmesinde CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi uygulanmıştır. Tarımsal arazi uygunluğu için belirlenen ekolojik kriter ve alt kriterlerin etki ağırlıkları AHS ile belirlenmiştir. Model yapısı içerisinde ana kriterlere bağlı 18 alt kriter belirlenmiştir. Bu kapsamda; fiziksel toprak özellikleri (toprak derinliği, bünye, yüzey taşlılığı, erozyon, drenaj), kimyasal toprak özellikleri (organik madde, kireç, pH, tuzluluk, KDK, ESP), topoğrafya (eğim, bakı), iklim (sıcaklık, yağış) ve sulama kriterleri değerlendirmeye alınmıştır.

Hiyerarşik yapıya bağlı olarak oluşturulan uygunluk modeli üç aşamalı kriter seviyesine sahiptir. Bu kapsamda; ana kriter (K1) ve ana kriter ağırlığı (w_1), toprak kriterine bağlı alt gruplar (AK2) ve ağırlıkları (w_2) ile ana kriter ve gruplara bağlı alt kriter (AK3) ve ağırlıkları (w_3) yer almıştır (Çizelge 4). Ana kriter ağırlıkları içinde 0.467 ağırlık değeriyle toprak en yüksek ağırlığa sahiptir. Toprak kriterini topoğrafya (0.277), su kaynakları (0.160) ve iklim (0.095) kriterleri takip etmişlerdir. Ana kriter matrisinin CR değeri 0.011 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. Tarımsal arazi uygunluğu için kriter ağırlıkları

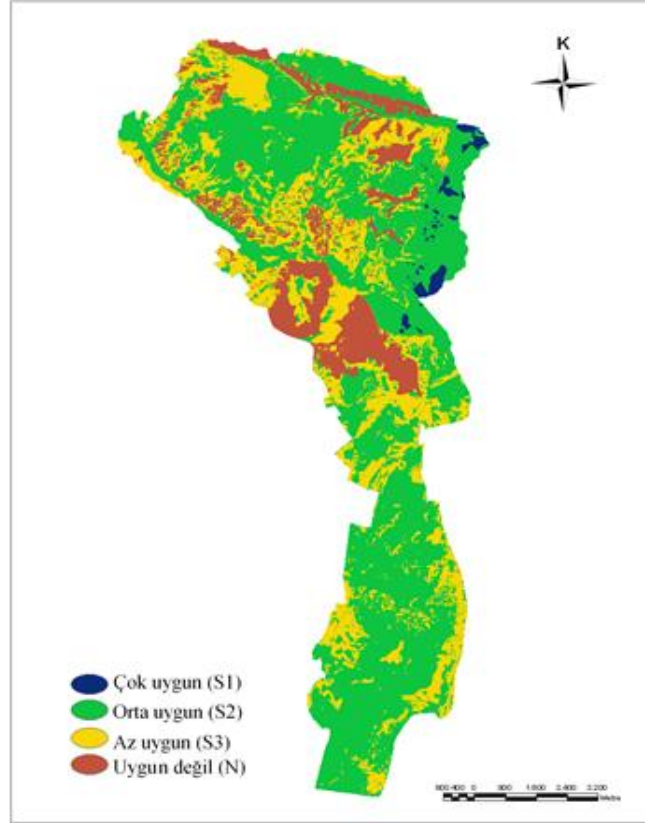
Ana Kriter (K1)	w_1	AK2	w_2	AK3	w_3
Toprak	0.467	Fiziksel	0.667	Bünye	0.423
				Derinlik	0.338
				Drenaj	0.119
				Erozyon	0.074
				Taşlılık	0.046
		Kimyasal	0.333	KDK	0.320
	Tuzluluk			0.234	
	pH			0.160	
	ESP			0.117	
	OM			0.078	
	CaCO ₃			0.055	
	Jips			0.037	
	Eğim			0.800	
Topoğrafya	0.277	Bakı	0.200		
		Sıcaklık	0.333		
İklim	0.095	Yağış	0.667		
		Sulama	1.000		
Su kaynağı	0.160				

Toprak kriterleri fiziksel ve kimyasal özellikler olarak iki alt grupta toplanmıştır. Toprak fiziksel parametreleri içerisinde yer alan Bünye, 0.423 ağırlık oranı ile en yüksek ağırlığa sahiptir. Bu kriteri, Derinlik (0.338), Denaj (0.119), Erozyon (0.074) ve Taşlılık (0.046) kriterleri takip etmişlerdir. Toprak kimyasal özellikleri içerisinde yer alan kriterler ağırlıklarına göre KDK (0.320), Tuzluluk (0.234), pH (0.160), ESP (0.117), OM (0.078), CaCO₃ (0.55) ve Jips (0.037) olarak yer almışlardır. Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait matrislerin CR değerleri 0.027 ve 0.036 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ana kriter olan topoğrafik ana katmanı içerisinde eğim ve bakı kriterlerinin ağırlık değerleri sırasıyla 0.800 ve 0.200 olarak belirlenmiştir.

Uygunluk haritasına göre tarımsal kullanım açısından alanın %1.1'i (92 ha) çok uygun, %59.6 (4.935 ha) orta uygun, %24.6 (2.038 ha) az ve %14.7'si (1.220 ha) uygun değildir (Şekil 6). Uygun (S1) sınıftaki arazilerde, tarımsal kullanımın gerçekleştirilmesi için önemli bir engel yoktur ya da var olan küçük sınırlılıklar üretkenliği veya karlılığı azaltacak düzeyde değildir. Bu sınıftaki alanlar arazinin %1.1 ile en düşük kısmı oluşmaktadır. Bu araziler, vadi tabanında yer alan % 0-2 eğime sahip düz ve düze yakın alüviyal alanlardır. Bu alanlar çok derin toprak yapısına sahip olup, killi tın ve siltli tın tekstürdedir. Bu sınıfta sınırlayıcı toprak özelliklerinden erozyon ve taşlılık sorunu bulunmamaktadır. Ancak çalışma alanında tarımsal kullanıma uygunluk açısından S1 sınıfındaki alanların çok fazla oranda bulunmayışı dikkati çekmektedir. Bu durum, alanın AKK sınıflamasına göre I. sınıf arazilerin bulunmaması ile benzerlik göstermektedir (Arcak, 1992). Özellikle, alüviyal alanlarda ciddi drenaj ve tuzluluk sorununun olması bu sınıfa giren alanların miktarını düşürmüştür.

Orta derecede uygun (S2) sınıfındaki araziler arazi kullanım ve yönetimini engelleyen çeşitli sınırlılıkları içermektedir. Bu sınırlılıklar üretkenliği ve karlılığı belli oranda azaltıp girdileri arttırmamasına rağmen bu araziler tarımsal açıdan önem taşımaktadır. Bu sınıf çalışma alanında en yaygın alana (% 59,6) sahip sınıftır. Bu sınıfa giren topraklarda yoğun bir tarımsal faaliyet yapılmaktadır. Bu arazilerde eğim %0-6 arasında değişmektedir. İşletme arazilerinin tümü kireçli ve çok kireçlidir ve toprakların büyük bir kısmında kireç oranı %20'nin üzerinde bulunmaktadır. Bu durum bitki besin elementlerinin yararlığını etkilemektedir. Bitki yetiştiriciliğini orta derecede sınırlayan faktörler arasında ağır tekstür sebebiyle yavaş-orta geçirgenlik ve tuzluluk sayılabilir. Alanın ortasında bulunan alüvyon topraklar da genellikle sulu tarım yapılmaktadır. Bu topraklar da hafiften şiddetliye kadar değişen tuzluluk, alkalilik, drenaj ve toprak geçirgenliği sorunları mevcuttur. Tuzluluk alkalilik ve drenaj yetersizliği, tarım alanlarının üretkenliğini azaltan hatta aşırı düzeylerde tamamının verimsizleşmesine yol

açan önemli sınırlayıcı faktörlerdir. Bu özelliklere bağlı olarak drenaj sorunlu alanlarda hafiften şiddetli dereceye kadar değişen tuzlu alanlar oluşmuştur. Sulama da kullanılan suyun tuzlu olması taban arazilerdeki tuzluluk sorunu üzerinde olumsuz etki yaratmıştır.



Şekil 6. Tarımsal arazi uygunluk sınıf haritası

Tarımsal üretim için az uygun (S3) olan araziler ciddi sınırlılığa sahiptir. Bu kısıtlar üretkenliği ve karlılığı azaltırken, gerekli olan girdileri arttırmaktadır. Bu girdiler ise ancak belli sınırlar içinde karşılanabilirler. Ayrıca bu araziler sürekli sınırlayıcı faktörler içeren ve kültür bitkilerinin yetiştiriciliğinde alınması gereken önlemlerin arttığı ve uygulaması güç koruma önlemleri gerektiren arazilerdir. Çalışma alanı arazilerinin %24,6'sı S3 sınıfında olup sığ toprak profiline sahip ve eğimleri %6-20 arasında değişmektedir. Bu sınıfa giren alanlarda orta derecede erozyon ve taşlı alanlar mevcuttur.

Tarımsal açıdan uygun olmayan (N) alanlarda geri döndürülemeyecek çok ciddi sınırlılıklar bulunduğundan bu alanlar için çok büyük maliyetler söz konusudur. Alanın %14,7'sini kapsayan bu araziler %20'den fazla eğime sahip dik ve çok dik eğimli arazilerdir. Bu tip alanlarda şiddetli erozyon ile toprak sağlığı görülmektedir ve kültür bitkilerinin yetiştirilmesini engelleyecek düzeyde şiddetli ve düzeltilmesi zor sürekli sınırlayıcı faktörler

söz konusudur. Ayrıca, bu alanlarda toprak örtüsü bulunmayan kaya ve taşlarla kaplı araziler ile derin sel yarınlarının (galiler) temsil ettiği kültür dışı araziler ile eğimin fazla toprak derinliğinin sığ ve çok sığ olması nedeniyle yer yer yüzeye çıkmış ana materyal ve ana kayalar yer almaktadır. Bu alanların doğal bitki örtüsü içinde muhafaza edilerek koruyucu önlemler alınması gerekmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, tarımsal alanların planlanmasında sürdürülebilirlik ve uygunluk kavramları temel alınarak ekolojik özelliklerin en iyi şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. ÇKKA ile bu karmaşık yapının çözümlenmesi ve doğru kararların alınmasını sağlamaktadır. Arazi kullanım planlaması öncesinde; arazinin mevcut kaynaklarının değerlendirilmesi, arazi potansiyellerinin ortaya çıkarılması, arazi kullanım alternatiflerinin geliştirilmesi ve doğru plan kararlarının verilmesinde arazi değerlendirme çalışmaları önem taşımaktadır. Bu kapsamda; alanın fiziki, sosyal, ekonomik koşullarının bir arada değerlendirilmelidir. Alanın değerlendirilmesinde farklı arazi kullanımları için ekolojik ihtiyaçlarının farklılık göstermesinden dolayı arazi özellikleri ile uyumluluğunun karşılaştırılması ve en optimum alanın seçilmesi gerekir. Bu değerlendirme yerel şartları ön planda tutan bir biçimde yapılmalıdır.

İklim, toprak ve topoğrafya gibi ekolojik kriterler Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yaklaşımı ve AHS ile CBS ortamında birleştirilerek arazi uygunluğunun belirlenmesinde etkin olarak kullanılmıştır. Arazi uygunluğu için AHS ile farklı parametrelerin göreceli önemini tanımlanarak CBS teknikleri ile birlikte karar verme sürecine entegre edilmiştir. Kriter seçimi ve ikili karşılaştırma ile kriter ağırlıklandırmasında uzman görüşleri önem taşımaktadır.

Çalışma alanında, sınırlayıcı faktörler olarak orta ve şiddetli derecede tuzluluk ve alkalilik, yetersiz ve kötü drenaj, toprak derinliğinin yetersizliği, orta derecede eğimle birlikte şiddetli su ve rüzgâr erozyonu sayılabilir. Bu sınırlayıcı faktörlerin varlığı tarımsal faaliyetleri ve ürün seçimini kısıtlamaktadır. Ciddi sınırlılıklara sahip sorunlu arazilerde tarımsal verimlilikten daha önemli olan koruma-kullanma dengesinin iyi bir biçimde sağlanmasıdır. Erozyon riski taşıyan alanların ağaçlandırılması, tuzluluk ve drenaj problemlerinin çözümlenmesi için uygun bir drenaj sistemi oluşturularak taban suyu seviyesinin bitki kök derinliğinin altına düşürülmesi ve öncelikle tuza dayanıklı bitkiler yetiştirilmesi gerekmektedir.

Arazi uygunluk haritaları mevcut ve gelecekteki planlama çalışmalarında altlık veri olarak çok faydalı kullanılabilir. Arazi kullanım kararlarının verilmesinde, verimliliğin

artırılmasının yanısıra arazinin koruma ve kullanma dengesinin gözetilerek alansal sürdürülebilirliğinin sağlanması öncelik taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YÖKSİS 170336 nolu Doktora Tezinden hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- Akıncı, H., Ozalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97:71–82.
- Arcak, Ç. (1992). Bala tarım işletmesi topraklarının detaylı toprak etüt ve haritalaması. *Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü*, Sayı:18, Ankara.
- Babalola, M. A. (2018). Application of GIS-based multi-criteria decision technique in exploration of suitable site options for anaerobic digestion of food and biodegradable waste in Oita City, Japan. *Environments*, 5 (7): 77; doi:10.3390/environments5070077
- Ceballos-Silva, A., & Lopez-Blanco, J. (2003). Delineation of suitable areas for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agric. Syst.* 77 (2): 117–136.
- Chivasa, W., Mutanga, O., & Biradar, C. (2019). Mapping land suitability for maize (*Zea mays* L.) production using GIS and AHP technique in Zimbabwe. *South African Journal of Geomatics*, 8(2):265-281.
- Dedeoğlu, M., & Dengiz, O. (2019). Generating of land suitability index for wheat with hybrid system approach using AHP and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture* 167(105062):1-15.
- Diñç, U., & Şenol, S. (2001). Toprak etüt ve haritalama. Çukurova üniversitesi zırrat fakültesi genel yayın no: 161, ders kitapları yayın no: A-50, ÇÜ Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi; 3.baskı, Adana, Türkiye.
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, A.K., & Toledano, J. (1995). Raster procedures for multi-criteria/multiobjective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61 (5): 539–547.
- Eastman, J. R. (2003). IDIRISI Kilimanjaro guide to GIS and image processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, pp: 305.
- FAO. (1976). A framework for land evaluation. *Soils Bulletin* 32. FAO, Rome.
- FAO. (1985). Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture. *FAO soils bulletin*:55, Rome.
- FAO. (1993). Guidelines for land-use planning. *FAO development series I*. FAO, Rome.
- George, H. (2005). An overview of land evaluation and land use planning at FAO. FAO (ed.). Rome, Italy: FAO.
- Herzberg, R., Pham, T. G., Kappas, M., Wyss, D., & Tran, C. T. M. (2019). Multi-criteria decision analysis for the land evaluation of potential agricultural land use types in a hilly area of central Vietnam. *Land*, 8(6): 90; <https://doi.org/10.3390/land8060090>.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision Analysis*. John Wiley & Sons Inc., New York.

- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in gis: common and best practice approaches, *Transactions in GIS*, 4(1): 5-22. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *Progress in Planning*, 62(1): 3-65.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (7): 703-726.
- Memarbashi, E., Azadi, H., Barati, A. A., Mohajeri, F., Van Passel, S., & Witlox, F. (2017). Land-Use Suitability in Northeast Iran: Application of AHP-GIS Hybrid Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6, (12): 396. doi:10.3390/ijgi6120396
- MGM. (2021). Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim veritabanı, Erişim tarihi: 22.06.2021. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- MTA. (1981). Paşadağ dolaylarının jeolojisi ve petrol olanakları Maden Teknik ve Arama Enstitüsü Genel Direktörlüğü. MTA Derleme, No:7641.
- Nguyen, T. T., Verdoodt A, Van Y T, Delbecque N, Tran TC, & Van Ranst E. (2015). Design of a GIS and multi-criteria based land evaluation procedure for sustainable land-use planning at the regional level. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200:1-11.
- Nurda, N., Noguchi, R., & Ahamed, T. (2020). Change Detection and Land Suitability Analysis for Extension of Potential Forest Areas in Indonesia Using Satellite Remote Sensing and GIS. *Forests*, 11(4): 398; doi:10.3390/f11040398.
- Romano, G., Dal Sasso, P., Trisorio Liuzzi, G., & Gentile, F. (2015). Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy*, 48: 131–143.
- Saaty, T. L. (1977). A Scaling method for priorities in hierarchical structure. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3): 234-281.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Mc Graw Hill Inc., New York, ISBN: 0070543712, pp: 287.
- Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Inform Journal on Applied Analytics*, 24(6): 19-43.
- Saaty, T. L. & Vargas, L.G. (2001) *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- Sarkar, A., Ghosh, A., & Banik, P. (2014). Multi-criteria land evaluation for suitability analysis of wheat: a case study of a watershed in eastern plateau region, India. *Geo-spatial Information Science*, 17(2): 119-128.
- Soil Survey Staff. (1996). *Keys to Soil Taxonomy*. USDA Natural Resources Conservation Services. Seventh Edition. U.S. Government Printing Office, Washington D. C.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. & Beernaert, F. (1993). *Land evaluation, Part 3: Crop requirements*. Agricultural Publications 7. General Admin. Develop. Coop., Brussels.
- Tercan, E., & Dereli, M. A. (2020). Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment techniques in Antalya province of Turkey. *Ecological Indicators* 117, 106549.
- Zhang, X., Fang, C., Wang, Z., & Ma, H. (2013). Urban construction land suitability evaluation based on improved multi-criteria evaluation based on GIS (MCE-GIS): Case of New Hefei City, China. *Chinese Geographical Science*, 23(6): 740-753.
- Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118: 300–321.