



Arazi Örtüsü Değişiminin CORINE Verisiyle Modellenmesi: Ankara İlinin Kentsel Büyüme Tahmini

Araştırma Makalesi
Research Article

Öznur İŞINKARALAR¹

¹ Arş. Gör. Dr., Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9774-5137, e-posta: obulan@kastamonu.edu.tr

ÖZ

Arazi kullanımı arazi örtüsü değişimi araştırmaları, kentlere ilişkin karar alma süreçlerinde oldukça etkilidir. Araştırmada, Ankara ilinde 1990, 2012 ve 2018 yılları Coordination of Information on the Environment (CORINE) verisi kullanılarak arazi örtüsünün gelecekteki değişimi öngörülmektedir. Elde edilen veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Tahmin haritalarının üretilmesinde hüresel özişleme ve Markov zinciri yöntemleri entegre olarak uygulanmış ve 2056 yılı için yapısal alanların büyümesi zamansal-mekânsal olarak modellenmiştir. Uygulanan modelleme yaklaşımının uygunluğu, 2018 yılı için referans ve tahmin haritalarının Kappa istatistik değeriyle (Klocation: 0,9744) analiz edilmesi yoluyla ispatlanmıştır. 2018-2056 yılları arasındaki alansal değişim, yapay alanlardaki artışa karşılık tarımsal alanlar ile sulak alanlar ve su kütlelerindeki kaybı ortaya koymaktadır. Sonuçlar, arazi örtüsü değişimindeki hızı ve özellikle kentin batı, kuzeybatı ve güneybatı yönlü büyüme baskısını ortaya koymaktadır.

MAKALE BİLGİSİ

Geliş 31 / 10 / 2022
Kabul 05 / 12 / 2022

ANAHTAR KELİMELER

Zamansal-mekânsal modelleme
Hüresel özişleme
Markov zinciri
CBS

Modeling Land Cover Change with CORINE Database: Urban Growth Prediction of Ankara City

ABSTRACT

Land use land cover change studies are very effective in decision-making processes related to cities. In the research, the future change of land cover in Ankara is predicted by using Coordination of Information on the Environment (CORINE) data for the years 1990, 2012, and 2018. The obtained data were analyzed using Geographic Information Systems. The cellular automata and Markov chain methods were applied and integrated into the production of forecast maps, and the growth of structural areas for the year 2056 was modeled as spatial and temporal. The suitability of the applied modeling approach has been proven by analysing the reference and forecast maps for 2018 with the Kappa statistical value (Klocation: 0.9744). The areal change between 2018-2056 reveals the loss of agricultural lands, wetlands, and water bodies in contrast to the increase in artificial areas. The results reveal the speed of land cover change and especially the west, northwest, and southwest growth pressure of the city.

ARTICLE HISTORY

Received 31 / 10 / 2022
Accepted 05 / 12 / 2022

KEYWORDS

Spatio-temporal modelling
cellular automata
Markov chain
GIS

GİRİŞ

Günümüz dünyasında kentleşmenin bir sonucu olarak kentsel alanlardaki nüfus artışının beraberinde getirdiği kentsel büyüme (Hepburn vd., 2021; İşınkaralar ve Varol, 2021; Nuissl, 2021); planlamaya yönelik problemler (Öztürk ve İşınkaralar, 2019) ve çevresel olumsuz etkiler

(Yılmaz ve İşınkaralar, 2021; Bayraktar vd., 2022; Dogan vd., 2022; Yayla vd., 2022) gibi birbirini tetikleyen pek çok sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kentsel büyüme, bir kentsel alanın çevresindeki alanlara doğru genişlemesi olarak tanımlanabilir (Lichter vd., 2021; Imbrenda vd., 2021). Yaşanan büyüme süreci doğal arazi örtüsünün yapay alanlara dönüşmesini beraberinde

getirmektedir (Bao vd., 2021; Önaç ve Birişçi, 2019). Bunun sonucunda özellikle yoğun göç alan metropol kentlerde küresel bir sorun olan arazi kayıpları yaşanmaktadır (Prăvălie vd., 2021). Arazi kullanımı arazi örtüsü değişimi haritalarının retrospektif olarak izlenmesi, kentsel çevresel süreçleri anlamaya yönelik olarak kullanılabilir bir veri sunmaktadır (Ghazaryan vd., 2021; Sarif ve Gupta, 2022).

Avrupa Birliği'nde bir arazi kullanımı arazi örtüsü değişimi veri tabanının oluşturulmasına ilişkin en önemli girişimlerden biri CORINE (Coordination of Information on the Environment) arazi örtüsü veri tabanıdır (Aune-Lundberg, 2021; Bachantourian, 2022). CORINE, kent coğrafyasının kullanılma şeklini ortaya koyan bir haritalama tekniğidir (Baudoux, 2021). Bu veri seti, 1990 yılı itibariyle belirli dönemlere ait olarak kullanılabilir olup, arazi kullanımındaki değişiklikleri gözlemek için şehir plancıları, politika yapıcılar ve araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Aydın ve Polat, 2021; Lv vd., 2021; Tian, 2021). Ayrıca çok sayıda çalışma, çeşitli özelliklere sahip çevresel ve sosyoekonomik analizleri desteklemek için yararlılığını doğrulamıştır (Cervelli vd., 2022; Zaldo-Aubanell, 2021).

Bu çalışma, Ankara kentinde kentsel arazi kullanımının analizi ve dinamikleri açısından CORINE arazi örtüsü kullanılarak sistematik olarak büyümeyi modellemektedir. Büyüme modellerinin hazırlanmasında istatistikî modeller (Hyandy vd., 2015), yapay sinir ağları (Guan, 2005; Maithani, 2009), lojistik regresyon (Salem vd., 2021; Diep vd., 2022), hücresel özişleme (Shafizadeh-Moghadam vd., 2021; Li vd., 2022) ve Markov zinciri (Yu vd., 2021) gibi pek çok teknik uygulanmaktadır. Modellerin avantaj ve dezavantajları sıklıkla tartışılmaktadır. Bu nedenle prensiplerin birbirine entegre edilmesi güncel araştırmalarda tercih edilmektedir (Mallick, 2021; Isinkaralar vd., 2022).

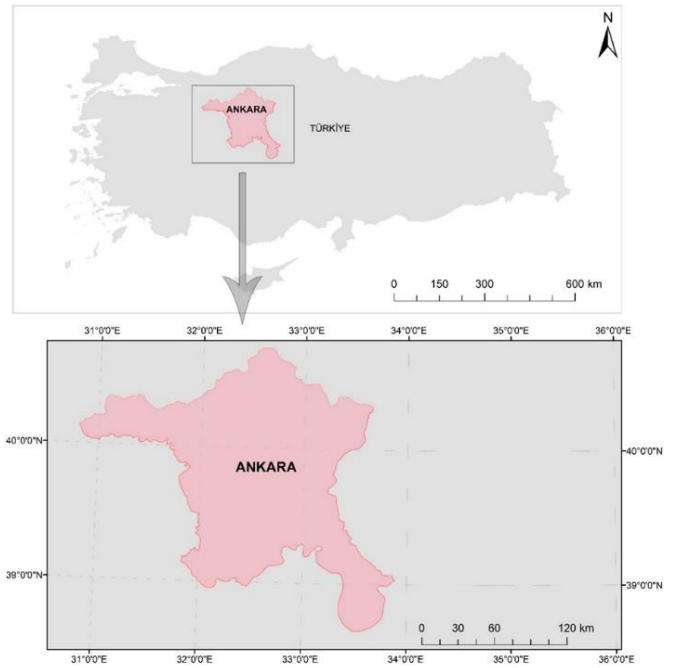
Araştırmada ilin gelecek mekânsal dağılımının tahmin edilmesinde hücresel özişleme-Markov zinciri (HÖ-Markov) modeli uygulanmıştır. Hücresel özişleme, yerel koşullara bağlı olarak bir dizi kurallar çerçevesinde komşu hücrelerin farklı zamansal temsili üreten bir prensibe sahiptir (Liu, 2021; Zhang ve Wang, 2022). En güçlü avantajlarından biri, arazi örtüsü değişimini anlamaya yönelik olarak uygulamadaki kolaylığı olarak kabul edilmektedir (Geng vd., 2022; Noszczyk, 2019). Markov zinciri ise, mevcut eğilim göz önünde bulundurularak arazi kullanım değişimini matrisler ve algoritmalarla yararlanarak öngörmeye dayalıdır. En büyük dezavantajı, zamansal olasılıkları belirlerken mekânsal yönünün güçlü olmamasıdır (Castro vd., 2022; Noszczyk, 2019).

Modelleme çalışmasında yöntemlerin birbirine entegre edilmesi ile sınırlılıkların ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Buna göre, mekânsal dinamikler hücreler yoluyla hücresel özişleme aracılığıyla kontrol edilirken zamansal dinamikler Markov zinciri ile model prensibine eklenmektedir. Böylece, esnek ve dinamik bir

modelleme yaklaşımı sunmaktadır (Isinkaralar vd., 2022; Xu vd., 2022). Araştırma sonucunda ise, belirlenen hedef yılı için tahmin haritaları modellenerek kentsel büyüme ve doğal alanlardaki değişim izlenmiştir. Kentin gelişme davranışı ile üretilen haritalardan elde edilen bulgular alansal olarak hesaplanarak kentin büyüme süreci ortaya konulmuştur.

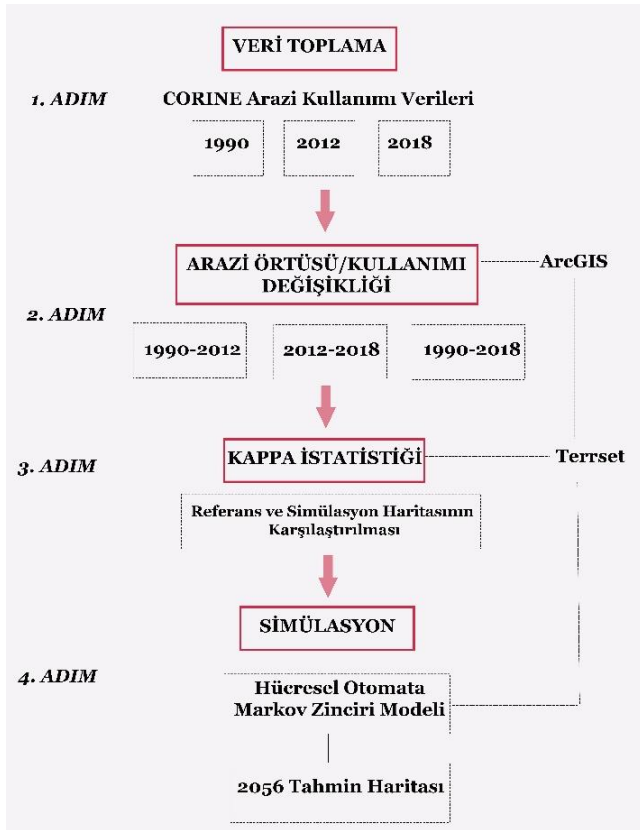
MATERYAL VE YÖNTEM

Arazi kullanımı arazi örtüsü dinamiklerinin gözlemi, farklı zamansal mekânsal ölçeklerde gerçekleştirilmektedir. Araştırmada 39°55'48"K 32°51'00"D koordinatında yer alan Ankara ili için CORINE arazi örtüsü Seviye-1 sınıflandırmasına göre zamansal mekânsal değişim ortaya konulmuştur. Uzaktan algılama teknikleri ile arazi örtüsü haritalarının oluşturulmasındaki temel prensip, görüntüdeki verilerin farklı bölgelere göre sınıflandırılmasıdır (Arıcak vd., 2014). Bu sınıflandırma kapsamında yapay alanlar (YA), tarımsal alanlar (TA), orman ve yarı doğal alanlar (OYDA), sulak alanlar ve su kütleleri (SASK) yer almaktadır. Arazi örtüsü değişimi verisinden yola çıkarak 2056 yılına ait gelecek tahminleri yapılmıştır.



Şekil 1. Araştırma alanının ülke içerisindeki yeri ve coğrafi konumu

Arazi değişimlerinin simülasyonu, dört temel aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle 1990, 2012 ve 2018 yılları için geçmiş CORINE Arazi Kullanımı vektör verileri toplanmıştır. İkinci aşamada, elde edilen haritalar zamansal değişimi yansıtabilecek şekilde 1990-2012, 2012-2018 ve 1990-2018 yıllarına göre ArcGIS 10.0 yazılımına aktarılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması

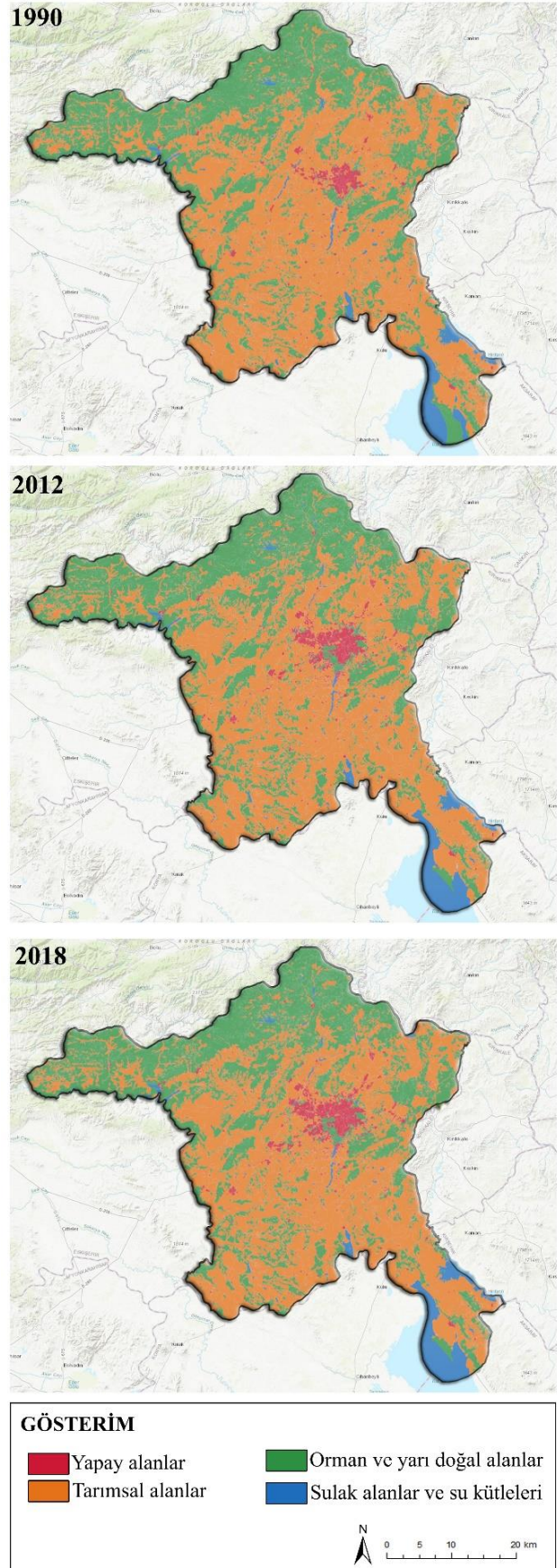
Ardından üçüncü aşamada, elde edilen haritaların tahminlerde kullanılabilmesi için raster veriye dönüştürülmüştür. Haritaların gelecek tahmininde kullanıma uygunluğunun tespiti için Kappa İstatistiki değerleri kullanılarak test edilmiştir. İstatistikte kullanılmak amacıyla, 2018 yılı kontrol yılı olarak belirlenmiştir. 1990 ve 2012 yılı haritaları kullanılarak 2018 yılı için tahmin yapılmıştır. 2018 yılı için üretilen simülasyon haritası, mevcut 2018 yılı haritası referans alınarak karşılaştırılmış ve modelin uygunluğu test edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise, HÖ-Markov zinciri modeli ile Terrset 19.0.9 yazılımında gelecek tahmini yapılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Durumu

Çalışma alanında 1990, 2012 ve 2018 dönemleri için dört arazi kullanım sınıfına ilişkin CORINE arazi örtüsü sınıf haritaları Şekil 3'te yer almaktadır. İl sınırlarında yapay alanlar, tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlar ile sulak alanlar ve su kütlelerinin zamansal- mekânsal değişimi izlenmiştir.

1990 yılında TA %59'luk bir paya sahiptir, bunu OYDA (%36), SASK (%3) ve YA (%2) takip etmektedir. 2012 yılına tarımsal alanların %56'lık bir orana sahip olduğu görülürken bu oranı OYDA (%37), SASK (%4) YA (%3) izlediği tespit edilmiştir. 2018 yılında ise arazi örtüsünün yaklaşık %56'sını TA'nın oluşturduğu, bu oranı ise OYDA (%37), SASK ile YA'nın (%4) takip ettiği görülmektedir (Çizelge 1).



Şekil 3. 1990-2018 arazi CORINE arazi örtüsü sınıf haritaları

Çizelge 1: 1990-2018 arazi CORINE arazi örtüsü sınıfları

	1990		2012		2018	
	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)
YA	55.046	2	88863	3	100781	4
TA	1.501.695	59	1440115	56	1.428.720	56
OYDA	935.843	36	946259	37	944.904	37
SASK	73.794	3	91.140	4	91.973	4
Toplam	2.566.378	100	2.566.377	100	2.566.378	100

Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Değişiminin Analizi

Arazi kullanımı arazi örtüsü değişikliğinde 1990 yılı ilk yıl alınarak yapılmıştır. Birinci dönem olan (1990-2012), ikinci dönem (2012-2018) ve üçüncü dönemlerde (1990-2018) arazi kullanımında önemli kayıp ve kazançların tespit edilmiştir. En fazla kazanç ve kayıp değerlerinin üçüncü çalışma döneminde (1990-2018) olduğu görülmektedir. En fazla kazanç OYDA’ da iken, en fazla kayıp ise TA sınırlarındadır. Çizelge 2’de verilen bu tespitlere göre, YA her üç dönemde de sırasıyla 33.817 hektar, 11918 hektar ve 45.735 hektar oranında artış göstermektedir. TA’ nın her üç dönemde de azalış gösterdiği görülmektedir. En fazla azalış yaklaşık 72975 hektar ile üçüncü dönemde görülmektedir. OYDA, birinci ve üçüncü çalışma dönemlerinde artış gösterirken ikinci çalışma döneminde ise azalış göstermektedir. SASK ise her üç çalışmada döneminde sırasıyla 17346 hektar, 833 hektar ve 18179 hektar artış göstermektedir.

Çizelge 2: 1990-2018 arazi CORINE arazi örtüsü sınıfları

	1990- 2012	2012- 2018	1990- 2018
	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)
YA	+33817	+11918	+45735
TA	-61580	-11395	-72975
OYDA	+10417	-1355	+944904
SASK	+17346	+833	+18179

1990- 2018 yılları arasında yapay alanlardan 33121 hektar TA’ya, 24656 hektar OA’ya dönüştürülmüştür. Bu dönemde en fazla kayıp değerlerine sahip olan TA ise 8256 hektar YA’ya, 37075 hektar OA’ya ve 1828 hektar SA’ya dönüşmüştür. Bununla birlikte OA’da ise 3059 hektar YA’ya, 11414 hektar TA’ya ve 63654 hektar ise SASK’a dönüştürülürken, SASK’da ise 727 hektar YA’ya, 75599 TA’ya, 7335 hektar ise OA’ya dönüşmüştür (Çizelge 3).

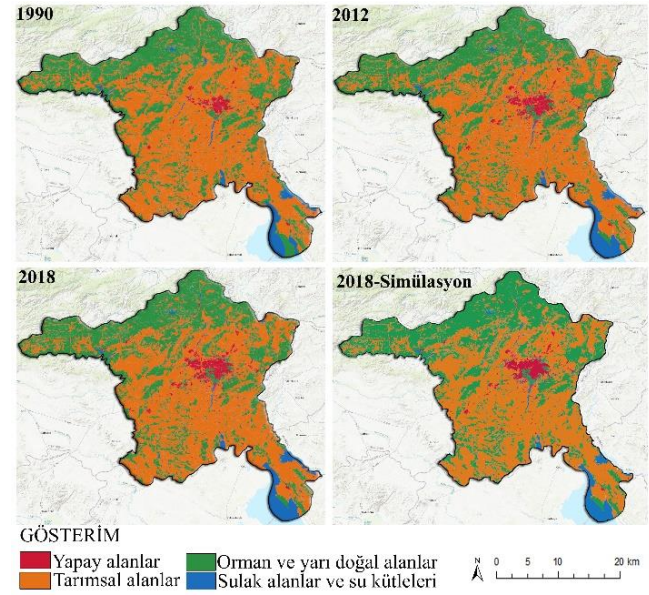
Çizelge 3: 1990-2018 yılı geçiş alanı matrisi (ha)

	YA	TA	OYDA	SASK	Toplam (2018)
YA	43004	33121	24656	0	100781
TA	8256	1381561	37075	1828	1428720
OYDA	3059	11414	866777	63654	944904
SASK	727	75599	7335	8312	91973
Toplam (1990)	55046	1501695	935843	73794	2566378

Kentsel Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Simülasyonu

Model Doğrulama ve Kalibrasyon

1990, 2012 ve 2018 yıllarında Ankara’nın gerçek arazi kullanım haritaları ve 2018 yılı simülasyon sonuçları Şekil 4’te verilmiştir. Görsel karşılaştırma, simüle edilmiş haritanın referans haritaya benzer bir mekânsal desene sahip olduğunu göstermektedir.

**Şekil 4.** 2018 yılı için referans ve tahmini arazi kullanımı

Simülasyon sonuçlarının doğruluğunu nicel olarak değerlendirmek için Kappa istatistik değerleri hesaplanmıştır. Kappa katsayısı, iki değişken arasındaki karşılaştırmalı uyumun güvenilirliğini ölçmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Çalışmada, 1990 ve 2012 haritaları kullanılarak 2018 yılı simülasyon haritası oluşturulmuştur. K_{no} ’yu gösteren konum istatistikleri 0,9884, $K_{location}$ 0,9744, $K_{location\ Strata}$ 0,9138 ve $K_{standard}$ 0,9744’dür. Sonuçlar HÖ-Markov modelinin Ankara’nın gelecekteki değişimin yerini belirlemede mükemmel aralıkta olduğunu göstermektedir.

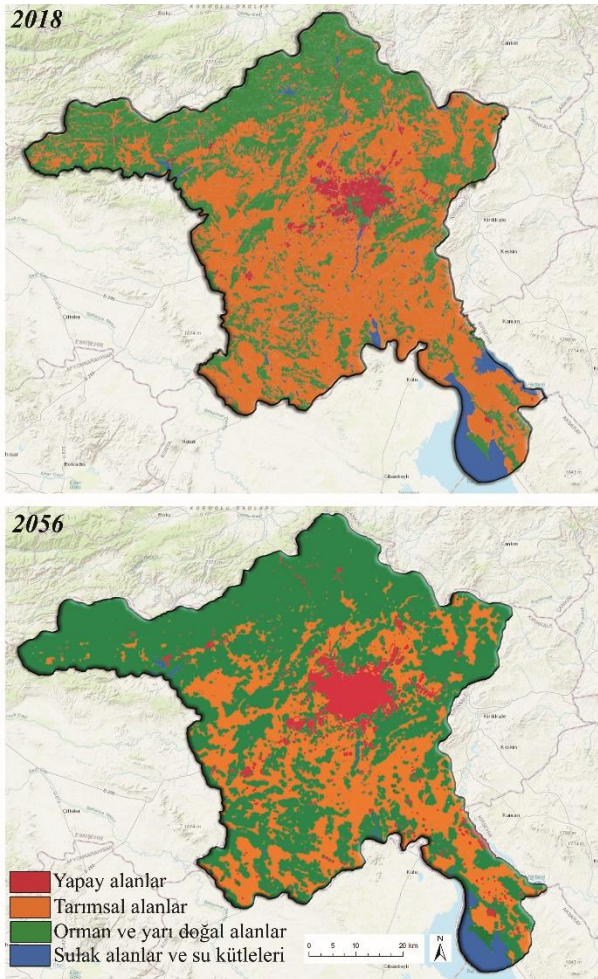
Multiples of Base Resolution (MBR): 1x 1 Information of Quantity			
Information of Location	No[n]	Medium[m]	Perfect[p]
Perfect[P(x)]	0,4554	0,9891	1,0000
PerfectStratum[K(x)]	0,4554	0,9891	1,0000
MediumGrid[M(x)]	0,4333	0,9556	0,9812
MediumStratum[H(x)]	0,3332	0,8555	0,8555
No[N(x)]	0,3332	0,8555	0,8555

AgreeGridcell = 0,1771	DisagreeQuantity = 0,0018	Kstandard = 0,9744
AgreeStrata = 0,0000	DisagreeStrata = 0,0000	Kno = 0,9884
AgreeQuantity = 0,4022	DisagreeGridcell = 0,0077	Klocation = 0,9744
AgreeChance = 0,3482		KlocationStrata = 0,9138

Şekil 5. Kappa istatistiği değerleri

Öngörülen Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü

CORINE 1990 ve 2018 yılları verileri temel alınarak Ankara ilindeki arazi örtüsü/kullanımının 2056 için öngörülen durumunun tahmini HÖ-Markov modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda arazi örtüsü/kullanımındaki yapay bölgelerdeki yağ lekesi şeklindeki kent lekesi büyümesi modellenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 2056 Arazi kullanımı/arazi örtüsü simülasyonu

2056 yılında yapay bölgeler ve orman alanlarında sürekli bir artış gözlenirken, tarım alanları ve sulak alanlarda ise azalış olacağı öngörülmektedir. Arazi örtüsü/kullanımı öngörülen değişikliklerde, tarımsal alanlarda 99.039 ha ve sulak alanlarda ise 5325 ha alanın orman alanı ve yapay alanlara dönüşeceği şeklinde ifade edilebilir. Yapay bölgelerin kent arazisi içerisindeki payı %4'ten %7'ye çıkarken tarım alanlarının oranı %56'dan %53'e ve sulak alanlar ile su kütleleri % 4'ten %3'e düşmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4: 2018-2056 arazi kullanımı değişimi

	2018		2056		2018-2056
	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)	Yüzde (%)	Alan (ha)
YA	100781	4	187838	7	+87057
TA	1428720	56	1329681	53	-99039
OYDA	944904	37	962211	37	+17307
SASK	91973	4	86648	3	-5325
Toplam	2566378	100	2566378	100	

DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Kentler, sürekli değişim ve gelişim gösteren, büyüme eğiliminde olan devingen ve karmaşık bir yapıdadır. Bu nedenle, kentsel büyüme, pek çok dinamiğin etkisiyle arazi örtüsünde zamansal süreçte değişime neden olur (Yetişkul, 2017; Isinkaralar ve Varol, 2023). Bu çalışmada arazi örtüsünün değişimi, CORINE verisi kullanılarak HÖ-Markov zinciri tekniğiyle modellenmektedir. Modelin uygunluğu arazi örtüsü verisi bulunan 2018 yılı için Kappa istatistik değeriyle (Klocation 0,9744) ispatlanmıştır. Ayrıca arazi örtüsü değişimini simüle etmek için gösterdiği performans pek çok çalışma ile gösterilmektedir (Guan vd., 2011; Kamusoko, 2009). Alan ve diğerleri (2020), Ankara İlinde CORINE verisi kullanarak C# programlama dili aracılığıyla öneri yönteminin uygunluğunu referans harita ile karşılaştırmıştır. Bu araştırma ise, Ankara ilinin zamansal mekansal büyümesini izlemek ve simüle etmek amacıyla gelecek tahminlerine ve arazi örtüsünün alansal olarak değişimine dayanmaktadır. Kucsicsa vd. (2019), Romanya'da arazi kullanım arazi örtüsü değişimini bölgesel olarak CLUE-S aracılığıyla CORNE verisi kullanılarak modellemektedir.

Arazi örtüsü değişimi modelleri, çevresel bozulmayı incelemek ve planlama ve yönetimin arazi kullanımı değişikliği üzerindeki etkisini kontrol etmek için dinamik bir veri seti sağlar. Araştırma sonucunda, zamansal-mekânsal artış eğilimine bağlı olarak doğal kaynaklar üzerine kentsel büyümenin baskısı ortaya çıkmaktadır. Yerleşim alanlarının genişlemesi, diğer arazi kullanımını ve arazi örtüsü türlerini önemli ölçüde azaltması literatürdeki bulguları desteklemektedir (Wang vd., 2021). Tarihsel süreçte planlama çalışmaları ile oluşmuş Ankara Metropolitan kent formu, 1990 sonrası üst ölçek plana bağlı olmayan bir modelle yayılmış ve belirli alanlara sığmıştır. 2023 Ankara Nazım İmar Planı ise önerilen alt

merkezler ile daha sürdürülebilir bir yapı kazanarak çok merkezli bir makroforma sahip olmuştur (Sat vd., 2017). Ankara kenti özelinde gelişim tahmini haritaları incelendiğinde, mevcut kompakt lekenin yağ lekeli şeklinde büyüyeceği öngörülmektedir. Ancak kuzeybatı ile güneybatı koridorlarında kentin batı gelişme aksı boyunca yayılacağı tahmin edilmektedir. Bu alanlardaki plan kararları ve yatırımlar ile batı koridorundaki mekânsal gelişmenin süreçte etkili olduğu söylenebilir (Özcan, 2019). Araştırma, arazi kayıplarının zamansal sürecini ortaya koymanın yanında gelişim yönleri açısından sunduğu ipuçları ile karar vericiler için oldukça yönlendiricidir.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

KAYNAKÇA

- Alan İ., Demirörs, Z., Bayar, R. & Karabacak, K. (2020). Markov Chains based land cover estimation model development: The case of Ankara Province. *International Journal of Geography and Geography Education*, (42), 650-667.
- Aricak, B., Kucuk, O. & Enez, K. (2014). Determination of pumper truck intervention ratios in zones with high fire potential by using geographical information system. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 1-9. DOI:10.1117/1.JRS.8.083598
- Aydın, N., ve Polat, E. (2021). Kentin organik dokusunun değişiminin yapılan planlama çalışmaları ile karşılaştırılarak incelenmesi, Isparta Örneği. *Planlama Dergisi* ;31(3), 530–545.
- Aune-Lundberg, L., & Strand, G. H. (2021). The content and accuracy of the CORINE Land Cover dataset for Norway. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102266.
- Bachantourian, M., Chaleplis, K., Gemitzi, A., Kalabokidis, K., Palaiologou, P., & Vasilakos, C. (2022). Evaluation of MODIS, Climate Change Initiative, and CORINE Land Cover Products Based on a Ground Truth Dataset in a Mediterranean Landscape. *Land*, 11(9), 1453.
- Bao, W., Yang, Y., & Zou, L. (2021). How to reconcile land use conflicts in mega urban agglomeration? A scenario-based study in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Journal of Environmental Management*, 296, 113168.
- Baudoux, L., Inglada, J., & Mallet, C. (2021). Toward a yearly country-scale CORINE land-cover map without using images: A map translation approach. *Remote Sensing*, 13(6), 1-32. DOI: 10.3390/rs13061060.
- Bayraktar, E. P., Isinkaralar, O., & Isinkaralar, K. (2022). Usability of several species for monitoring and reducing the heavy metal pollution threatening the public health in urban environment of Ankara. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 14(3), 276-283.
- Castro, M. L., Machado, P., Santos, I., Rodriguez-Fernandez, N., Torrente-Patiño, A., & Carballal, A. (2022). Flow Space and the Complexity of Urban Spatial Network State of the Art on Artificial Intelligence in Land-Use Simulation. *Complexity*, 2022.
- Cervelli, E., Pindozi, S., Allevato, E., Saulino, L., Silvestro, R., Scotto di Perta, E., & Saracino, A. (2022). Landscape Planning Integrated Approaches to Support Post-Wildfire Restoration in Natural Protected Areas: The Vesuvius National Park Case Study. *Land*, 11(7), 1024.
- Diep, N. T. H., Nguyen, C. T., Diem, P. K., Hoang, N. X., & Kafy, A. A. (2022). Assessment on controlling factors of urbanization possibility in a newly developing city of the Vietnamese Mekong delta using logistic regression analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 126, 103065.
- Geng, J., Shen, S., Cheng, C., & Dai, K. (2022). A hybrid spatiotemporal convolution-based cellular automata model (ST-CA) for land-use/cover change simulation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 110, 102789.
- Ghazaryan, G., Rienow, A., Oldenburg, C., Thonfeld, F., Trampnau, B., Sticksel, S., & Jürgens, C. (2021). Monitoring of urban sprawl and densification processes in western Germany in the light of SDG indicator 11.3. 1 based on an automated retrospective classification approach. *Remote Sensing*, 13(9), 1694.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., ve Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological modelling*, 222(20-22), 3761-3772.
- Guan, Q., Wang, L., & Clarke, K. C. (2005). An artificial-neural-network-based, constrained CA model for simulating urban growth. *Cartography and Geographic Information Science*, 32(4), 369-380.
- Hepburn, C., Qi, Y., Stern, N., Ward, B., Xie, C., & Zenghelis, D. (2021). Towards carbon neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Clean energy transition, sustainable urban development, and investment priorities. *Environmental Science and Ecotechnology*, 8, 100130.
- Hyandye, C., Mandara, C. G., ve Safari, J. (2015). GIS and logit regression model applications in land use/land cover change and distribution in Usangu catchment. *Am. J. Remote Sens*, 3(6).
- Imbrenda, V., Quaranta, G., Salvia, R., Egidi, G., Salvati, L., Prokopová, M., ... & Lanfredi, M. (2021). Land degradation and metropolitan expansion in a peri-urban environment. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1797-1818.
- İşınkaralar, Ö. & Varol, C. (2021). Kent Merkezlerinde Ticaret Birimlerinin Mekansal Örüntüsü Üzerine Bir Değerlendirme: Kastamonu Örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(2), 396-403.
- Isinkaralar, O. Varol, C. & Yilmaz, D. (2022). Digital mapping and predicting the urban growth: integrating scenarios into cellular automata—Markov chain modeling. *Applied Geomatics*, 1-11.
- Isinkaralar, O. & Varol, C. (2023). A cellular automata-based approach for spatio-temporal modeling of the city center as a complex system: The case of Kastamonu, Türkiye. *Cities*, 132, 104073.
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., ve Manjoro, M. (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe—simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the

- Markov-cellular automata model. *Applied Geography*, 29(3), 435-447.
- Kucsicsa, G., Popovici, E. A., Bălteanu, D., Grigorescu, I., Dumitraşcu, M., ve Mitrică, B. (2019). Future land use/cover changes in Romania: regional simulations based on CLUE-S model and CORINE land cover database. *Landscape and ecological engineering*, 15(1), 75-90.
- Li, Q., Feng, Y., Tong, X., Zhou, Y., Wu, P., Xie, H., ... & Wang, C. (2022). Firefly algorithm-based cellular automata for reproducing urban growth and predicting future scenarios. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103444.
- Lichter, D. T., Brown, D. L., & Parisi, D. (2021). The rural–urban interface: Rural and small town growth at the metropolitan fringe. *Population. Space and Place*, 27(3), 1-14.
- Liu, J., Xiao, B., Li, Y., Wang, X., Bie, Q., & Jiao, J. (2021). Simulation of dynamic urban expansion under ecological constraints using a long short term memory network model and cellular automata. *Remote Sensing*, 13(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs13081499>
- Lv, T., Wang, L., Xie, H., Zhang, X., & Zhang, Y. (2021). Exploring the global research trends of land use planning based on a bibliometric analysis: current status and future prospects. *Land*, 10(3), 1-20.
- Maithani, S. (2009). A neural network based urban growth model of an Indian city. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(3), 363-376.
- Mallick, S. K., Das, P., Maity, B., Rudra, S., Pramanik, M., Pradhan, B., & Sahana, M. (2021). Understanding future urban growth, urban resilience and sustainable development of small cities using prediction-adaptation-resilience (PAR) approach. *Sustainable Cities and Society*, 74, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103196>
- Noszczyk, T. (2019). A review of approaches to land use changes modeling. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(6), 1-29. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1468994>
- Nuissl, H., & Siedentop, S. (2021). Urbanisation and land use change. In *Sustainable Land Management in a European Context* (pp. 75-99). Springer, Cham.
- Önaç A.K., Birişçi T. (2019). Transformation of urban landscape value perception over time: a Delphi technique application. *EMAS*, 191:741
- Özcan, K. Y. (2019). Ankara'nın Batı Koridorundaki Gelişme Bağlamında Törekent Mahallesi'ndeki Konut Özelliklerinin Konut Fiyatlarına Etkisi. *Megaron*, 14(2), 279-295.
- Öztürk ve Işınkaralar (2019). Kastamonu Kent Merkezinde Otopark Sorunsalı: Eleştirel Bir Değerlendirme, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12 (67), 506-511.
- Prăvălie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roşca, B., Dumitraşcu, M., ... & Bandoc, G. (2021). Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environmental Research*, 194, 110697.
- Salem, M., Bose, A., Bashir, B., Basak, D., Roy, S., Chowdhury, I. R., ... & Tsurusaki, N. (2021). Urban expansion simulation based on various driving factors using a logistic regression model: Delhi as a case study. *Sustainability*, 13(19), 10805.
- Sarif, M., & Gupta, R. D. (2022). Spatiotemporal mapping of Land Use/Land Cover dynamics using Remote Sensing and GIS approach: a case study of Prayagraj City, India (1988–2018). *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 888-920.
- Sat A., Üçer Z.A. G., Varol Ç., Yenigül S. B., (2017). Sürdürülebilir Kentler İçin Çok Merkezli Gelişme: Ankara Metropolitan Kenti İçin Bir Değerlendirme. *Ankara Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 98-107.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Minaei, M., Pontius Jr, R. G., Asghari, A., & Dadashpoor, H. (2021). Integrating a forward feature selection algorithm, random forest, and cellular automata to extrapolate urban growth in the Tehran-Karaj Region of Iran. *Computers, Environment and Urban Systems*, 87, 101595.
- Tian, P., Li, J., Cao, L., Pu, R., Wang, Z., Zhang, H., ... & Gong, H. (2021). Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure. *Sustainable Cities and Society*, 74, 1-14 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103208>.
- Wang, S. W., Munkhnasan, L., ve Lee, W. K. (2021). Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges*, 2, 100017.
- Xu, T., Zhou, D., & Li, Y. (2022). Integrating ANNs and Cellular Automata–Markov Chain to Simulate Urban Expansion with Annual Land Use Data. *Land*, 11(7), 1074.
- Yayla, E. E., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2022). Detection of landscape species as a low-cost biomonitoring study: Cr, Mn, and Zn pollution in an urban air quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 1-10.
- Yetişkul E., (2017). Karmaşık Kentler ve Planlamada Karmaşıklık. *Planlama*, 27(1), 7-15.
- Yılmaz, D., & Isinkaralar, Ö. (2021). Climate action plans under climate-resilient urban policies. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 7(2), 140-147.
- Yu, J., Hagen-Zanker, A., Santitissadeekorn, N., & Hughes, S. (2021). Calibration of cellular automata urban growth models from urban genesis onwards—a novel application of Markov chain Monte Carlo approximate Bayesian computation. *Computers, environment and urban systems*, 90, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101689>
- Zaldo-Aubanell, Q., Serra, I., Sardanyés, J., Alsedà, L., & Maneja, R. (2021). Reviewing the reliability of Land Use and Land Cover data in studies relating human health to the environment. *Environmental Research*, 194, 110578. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110578>
- Zhang, B., & Wang, H. (2022). Exploring the advantages of the maximum entropy model in calibrating cellular automata for urban growth simulation: a comparative study of four methods. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 71-95.