Coğrafi Bilimler Dergisi / Turkish Journal of Geographical Sciences
2026; 24(1): 1-27 DOI: 10.33688/aucbd.1788189
Araştırma Makalesi / Research Article

Manisa'da şehirsel büyümenin geleceği: CA-Markov tabanlı senaryo analizi ve mekansal öngörüler

The future of urban growth in Manisa: CA-Markov based scenario analysis and spatial inferences

Selin Yıldız Görentaş[*a]

[a] Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Kilis/Türkiye.

Öz

Manisa, sanayileşme ve şehirsel büyümenin tarım sahalarıyla çatıştığı kritik bir inceleme alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, CA-Markov yöntemi kullanılarak Manisa şehrinin gelecekteki arazi kullanım senaryolarını üretmek ve şehirsel büyümenin mekânsal etkilerini değerlendirmektir. 1990, 2005 ve 2020 yıllarına ait arazi kullanım haritaları kullanılarak 2035 ve 2050 yıllarına yönelik kısa ve uzun vadeli senaryolar geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, son 30 yılda şehirsel alanların özellikle tarım arazileri üzerinde genişleyerek yaklaşık üç katına çıktığını ve benzer eğilimlerin gelecek 30 yılda da süreceğini göstermektedir. 1990-2020 döneminde 2.361 ha tarım alanı yerleşme sahalarına dönüşürken, 2020-2050 döneminde 1.950 ha tarım alanının şehirsel kullanım için kaybedileceği öngörülmektedir. Öneri senaryolar, şehirsel büyümenin kuzey, batı ve doğudaki daha az verimli alanlara yönlendirilmesi durumunda tarımsal kayıpların önemli ölçüde azalacağını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, tarım arazilerinin korunmasına yönelik alternatif gelişim bölgelerinin belirlenmesini sağlayan bu çalışma, sürdürülebilir mekânsal planlama politikaların geliştirilmesinde karar vericilere bilimsel bir zemin sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Şehirsel büyüme, CA-Markov, Arazi kullanımı, Tarımsal arazi kaybı, Manisa*

Abstract

Manisa represents a critical case in which industrialisation and urban growth increasingly threaten agricultural land. This study aims to generate future land-use scenarios for Manisa using the CA-Markov method and to evaluate the spatial impacts of urban expansion. Scenarios for 2035 and 2050 were developed based on land use maps from 1990, 2005, and 2020. The Results indicate that urban areas have nearly tripled over the past three decades, primarily at the expense of farmland, and similar dynamics are projected to continue. Between 1990 and 2020, 2,361 ha of agricultural land were converted to urban use, with an additional 1,950 ha expected to be lost by 2050. The proposed scenarios indicate that directing growth towards less productive lands in the north, west, and east could significantly reduce agricultural losses. Overall, by identifying alternative development zones to protect agricultural land, this study provides decision-makers with a scientific basis for developing sustainable spatial planning policies.

Keywords: *Urban growth, CA-Markov, Land use, Agricultural land loss, Manisa*

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** syildiz@kilis.edu.tr
Geliş/Received: 21.09.2025 **Kabul/Accepted:** 17.11.2025 **Yayın Tarihi/Online Published**: 20.04.2026
Atıf/To Cite: Yıldız Görentaş, S. (2026). Manisa'da şehirsel büyümenin geleceği: CA-Markov tabanlı senaryo analizi ve mekansal öngörüler, *Coğrafi Bilimler Dergisi/ Turkish Journal of Geographical Sciences,* 24 (1), 1-27 https://doi.org/10.33688/aucbd.1788189

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

Urbanization today is understood not merely as population movement but as a multidimensional process involving spatial restructuring, economic transformation, and rising environmental pressures (Gu, 2019; Kaypak, 2013; Keleş, 2017). Rapid and often unplanned urban expansion has intensified the loss of agricultural and forest lands, increased pressure on soil and water resources, and accelerated ecological degradation, posing a major challenge to sustainable urban development (Görentaş, 2021; Kurucu & Chiristina, 2008). These dynamics are particularly visible in Türkiye, where fragmented and rapidly expanding urban forms have placed heightened pressure on agricultural areas, especially in peri-urban zones. In this context, the present study focuses on Manisa, a city where industrial growth and agricultural production coexist yet are increasingly in conflict. Manisa's proximity to İzmir, its strong transportation networks, and the expansion of the Manisa Organized Industrial Zone have positioned it as a regional growth centre while simultaneously accelerating urban expansion that threatens surrounding agricultural lands. Therefore, understanding the spatial patterns of urban growth and the resulting agricultural land loss represents a critical research priority for this region.

Although advanced land-use modeling studies have become increasingly common, most focus on large metropolitan areas, yet long-term scenario analyses and holistic spatial assessments for medium-sized cities facing intense industrial pressure remain limited (Çağlıyan & Dağlı, 2022; Yildiz Gorentas & Sargin, 2024). Moreover, existing studies often employ a single-scenario approach and fail to comprehensively evaluate the magnitude and spatial distribution of future agricultural land losses within a planning-oriented framework (Gündüz, 2025). This study aims to address this gap by not only forecasting urban growth patterns but also offering concrete policy recommendations for sustainable planning and the protection of agricultural lands, thereby making a distinct contribution to the literature. This research aims to produce future land-use scenarios for the city of Manisa using Cellular Automata (CA) and Markov Chain (MC) methods and to assess the potential spatial impacts of urban growth. Simulation outputs for 2035 and 2050 were produced using past land-use data to reveal the likely directions and boundaries of urban expansion and its impacts on fertile agricultural land. The integration of CA and MC was selected for its capacity to accurately estimate future urban growth patterns—both temporally and spatially—based on historical trends, particularly in rapidly transforming cities such as Manisa.

2. Material and Methods

To predict future land-use changes in Manisa, datasets obtained from multiple sources were used. The primary data consisted of Landsat images from 1990, 2005, and 2020, acquired from the USGS database and having a spatial resolution of 30 meters (USGS, 2022). To conduct suitability analysis and enhance simulation validation, a 30-m resolution Digital Elevation Model (DEM), obtained from the USGS, along with vector datasets from the Manisa Metropolitan Municipality and OpenStreetMap, was used to integrate topographic, physical, and socio-spatial factors into the model. The satellite imagery was subjected to a series of preprocessing procedures, including data conversion, image enhancement, and segmentation. Following these steps, training samples were delineated, and supervised classification was conducted using the Maximum Likelihood algorithm to generate land use

maps for 1990, 2005, and 2020. An Accuracy assessment based on stratified random sampling revealed that the overall accuracy and Kappa values exceeded 85% in all years.

The design of the CA-Markov model consists of four stages: (i) change detection, (ii) suitability analysis, (iii) CA-Markov integration, and (iv) validation. First, transition probability matrices were generated using Markov Chain analysis to quantify land-use changes between historical periods represented by 15- and 30-year intervals. In the second stage, constraints (protected areas, flood zones, agricultural lands) and factors (slope and distances to rivers, railways, major roads, developed areas, and attraction centres) were identified. The factor variables were standardized using a fuzzy logic approach and weighted through the Analytic Hierarchy Process (AHP). A potential suitability map was produced for 2020, whereas both potential and ideal suitability maps were produced for 2035 and 2050. In the third stage, these outputs were integrated into the CA-Markov model to generate land use projections for 2020, 2035, and 2050. Finally, model validation was performed by comparing the simulated 2020 map with the actual 2020 land use data.

3. Results

Between 1990 and 2020, urban areas in Manisa expanded from 1,439 ha to 3,826 ha—nearly a threefold increase—concentrating primarily along western and northern corridors shaped by transportation networks and industrial facilities. Over the same period, the area of agricultural land declined from 14,412 ha to 11,943 ha, indicating that urban growth exerted strong pressure on the fertile soils of the Gediz Plain, and that the interaction between industrial expansion and agricultural land loss played a decisive role in the city's spatial conversion. The most notable land-use change in the study area is the substantial conversion of agricultural land into urban areas. Over the 30-year period, the loss of 22% of agricultural land indicates a continuous decline in fertile farmland under pressure from urbanization, with the rate of transformation accelerating markedly after 2005.

The comparison between the actual and simulated 2020 land-use maps indicates a strong correspondence in both class areas and spatial patterns, demonstrating the model's ability to accurately predict urban growth. The validation results, including an overall accuracy of 77%, a 2% quantity disagreement, a 20% area disagreement, and a Kappa coefficient of approximately 0.70, confirm the robustness of the model. The combination of high spatial agreement and minimal quantity error indicates that the CA–Markov framework can reliably reproduce land-use classes both quantitatively and spatially.

The potential scenarios for 2035 and 2050 suggest that if current trends continue, Manisa will experience substantial urban expansion. Urban areas are projected to increase to 5,425 ha (21.2%) by 2035 and to 5,891 ha (23%) by 2050, with growth concentrated primarily in western and northern regions and along major transport corridors, thereby gradually filling the remaining gaps within existing urban areas. This expansion is expected to lead to significant agricultural land losses—1,820 ha by 2035 and 2,220 ha by 2050—underscoring the increasing pressure from urbanization on the fertile soils of the Gediz Plain. Other land-use classes are anticipated to remain relatively stable, with forest, bare land, sparse vegetation, and water bodies maintaining proportions close to their current levels.

The ideal scenarios propose a sustainable growth model by preserving all agricultural land and directing urban growth toward low-productivity areas and existing unused spaces. Although the projected urban and agricultural land extents for 2035 and 2050 are similar to the potential scenarios,

the direction and spatial pattern of growth differ markedly, with expansion into agricultural areas restricted and growth redirected to the more suitable northern, western, and eastern hillside areas, thereby reducing the risk of further agricultural land loss.

Projected urban expansion between 2020 and 2050 will intensify the urban–agriculture conflict in Manisa, particularly along the northern D250 and D565 highways and the eastern railway corridor, where agricultural land faces increasing development pressure. Areas such as the MASKİ wastewater treatment plant and the BYD automotive plant site illustrate the potential conversion of productive farmland into urban and industrial uses. However, urban growth around the university campus and Akgedik—largely occurring on bare land—demonstrates a more sustainable pattern. The ideal scenarios similarly redirect development toward northern, western, and eastern hillside areas, thereby reducing pressure on fertile agricultural soils.

Finally, the spatial impact assessment for the 1990–2050 period shows that the most intense conversion to urban land occurred within fertile agricultural zones, especially along the city's western and northern boundaries and along major transportation corridors. Future simulations indicate that these pressures will persist and that 910 ha of high-value farmland—comprising croplands, vineyards, olive groves, and mixed agricultural parcels—are likely to be converted by 2050. These projections highlight the necessity of implementing strategic planning measures to mitigate agricultural land loss and manage urban growth more sustainably.

4. Conclusions

The study analysed past land-use/land-cover (LULC) changes in Manisa and projected future urban growth patterns using the CA–Markov modeling framework. The results demonstrated that urban areas expanded from 1,439 ha in 1990 to 3,826 ha in 2020, largely at the expense of the fertile agricultural land in the Gediz Plain, where 2,361 ha of farmland were converted to urban use. Future projections indicate a continuation of this trend: by 2050, urban areas are expected to reach 5,891 ha, occupying 23% of the study area and causing an additional 1,950 ha of agricultural land loss. Notably, productive croplands, vineyards, and olive groves are projected to undergo a loss of approximately 910 ha, particularly along the western, northern, and eastern development corridors.

The alternative scenario developed in this study suggests that directing future growth to areas including the slopes north of the university campus, Akgedik to the west, and the Manisa City Hospital to the east would minimize pressure on high-value agricultural lands. Although the CA–Markov model successfully captures general growth tendencies, its assumptions limit its ability to account for sudden policy changes or major infrastructure investments. Nevertheless, the study underscores the importance of scenario-based modeling for sustainable planning and highlights the need for future research integrating socio-economic variables, AI-supported forecasting, and more comprehensive spatial datasets to strengthen decision-making for urban development in Türkiye.

1.Giriş

Şehirleşme, yalnızca kırsal nüfusun şehirsel mekânlara yönelmesiyle açıklanabilecek demografik bir olgu olmaktan çıkmış; mekânın yeniden biçimlenmesi, ekonomik yapının dönüşümü, sosyal ve siyasal ilişkilerin yeniden inşası gibi çok boyutlu süreçleri içeren karmaşık bir yapıya bürünmüştür (Gu, 2019; Kaypak, 2013; Keleş, 2017). Hızlı ve kontrolsüz şehirleşme; doğal kaynakların aşırı kullanımı veya bozulması, tarım ve orman arazilerinin kaybı, çevresel kirlilik ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi küresel ölçekte ciddi sorunlara yol açmaktadır (Görentaş, 2021). Bu nedenle şehirleşme süreçlerinin yalnızca ekonomik ve sosyal yönleriyle değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda değerlendirilmesi, günümüz kent planlamasının temel gerekliliklerinden biri haline gelmiştir. Artan nüfusla birlikte gerçekleşen hızlı şehirleşme, arazilerin kullanım biçimlerinde köklü değişimlere yol açan bir mekânsal dönüşüm sürecini yansıtmaktadır. Şehirleşmeye bağlı olarak meydana gelen arazi kullanım değişimleri, birçok sosyal ve ekonomik gelişmeyi beraberinde getirse de; özellikle toprak ve su kaynakları üzerinde baskı oluşturarak çevresel bozulmaya neden olmaktadır (Kurucu & Chiristina, 2008).

Türkiye'deki şehirleşme deneyimi de 1980'li yıllardan itibaren bu küresel eğilimin tipik bir örneğini oluşturmuş; özellikle 2000'li yıllardan sonra hızlı mekânsal dönüşüm ve arazi kullanım değişimleri ile daha belirgin hale gelmiştir. 1980 sonrası Türkiye'de benimsenen neoliberal politikalar, şehirsel mekânı sermaye odaklı yeniden üretim süreçlerine açmış; toplu konut projeleri, imar afları, kanun ve planlama kararlarındaki değişikliklerle şehirsel yapıyı köklü biçimde dönüştürmüştür (Uğurlu, 2013). 2000'li yıllardan itibaren ise, özellikle inşaat sektörüne yapılan yatırımların ekonomiye katkı sağlayacağı varsayımıyla desteklenmesi, Türkiye'deki şehirsel büyümeyi önemli ölçüde hızlandırmıştır (Balaban, 2017; Çavuşoğlu, 2014). Türkiye şehirlerinin bu mekânsal dönüşümü yalnızca konut üretimi ile sınırlı kalmamakta; aynı zamanda yeni ekonomik faaliyet alanlarının inşası, ulaşım altyapılarının geliştirilmesi ve hizmet sektörünün mekânda daha fazla yer işgal etmesi gibi çok boyutlu süreçleri kapsamaktadır. Ancak bu dönüşüm çoğu zaman parçalı ve plansız bir şekilde gerçekleştiği için şehir çeperlerinde düzensiz yayılmalara, tarım arazilerinin kaybına ve çeşitli çevresel sorunlara yol açmaktadır (Ayhan, 2023; Siyavuş & Belge, 2024). Mekânsal olarak birbirine yakın konumlanan şehirler ile büyükşehir statüsündeki yerleşmelerde daha yoğun biçimde hissedilen bu büyüme, çok merkezli ve çok fonksiyonlu bir mekânsal düzene geçişin göstergesi haline gelmiştir (Sat vd., 2017). Türkiye'nin büyükşehirleri olan İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa ve Adana gibi merkezlerde bu dönüşüm daha yoğun biçimde hissedilmiş, çevre yerleşimler de ulaşım ağları ve ekonomik etkileşimler aracılığıyla bu büyüme sürecine eklemlenmiştir.

Türkiye'deki mekânsal dönüşümün önemli örneklerinden biri olan Manisa şehri, sanayi ve tarım faaliyetlerinin iç içe geçtiği özgün bir şehirleşme örneği sunmaktadır. İzmir'e olan mekânsal yakınlığı, güçlü ulaşım altyapısı ve özellikle organize sanayi bölgeleri aracılığıyla gelişen üretim faaliyetleri, şehrin mekânsal büyüme yönlerini belirleyen temel dinamikler haline gelmiştir. Son yıllarda artan sanayi yatırımları, yalnızca ekonomik kümelenmeleri değil, aynı zamanda konut odaklı yeni gelişim alanlarını da hızla tetiklemiştir (Efe vd., 2020). Bu süreç, bir yandan bölgesel ölçekte ekonomik çeşitliliği ve istihdamı artırırken, diğer yandan verimli tarım arazileri üzerindeki baskıyı yoğunlaştırmaktadır. Dolayısıyla, hızlı sanayileşme ve şehirsel yayılma dinamiklerinin tarımsal üretim alanlarıyla çatıştığı bir örnek olarak Manisa, hem mevcut mekânsal dönüşümün boyutlarını anlamak

hem de gelecekteki olası şehirsel gelişim senaryolarını değerlendirmek açısından önemli bir inceleme alanı sunmaktadır.

Şehirsel alanlarda meydana gelen hızlı ve çoğu zaman düzensiz mekânsal değişimleri tespit etmek, izlemek ve yönlendirmek sürdürülebilir kent planlaması ve etkin politikaların geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Musakwa & Van Niekerk, 2015). Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri, geniş alanlara dair çok zamanlı ve güncel veriler sağlayarak hem geçmiş eğilimlerin ortaya konmasına hem de gelecekteki mekânsal değişimlerin öngörülmesine olanak tanıyan güçlü araçlar sunmaktadır (Yu & Fang, 2023). Türkiye'de son yıllarda hız kazanan düzensiz ve kontrolsüz şehirleşme, sadece mevcut sorunların anlaşılmasını değil, aynı zamanda bu eğilimlerin gelecekte nasıl evrileceğinin tahmin edilmesini de zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Hücresel Otomat (HO) ve Markov Chain (MC) yöntemleri kullanılarak Manisa şehrinin gelecekteki arazi kullanım senaryolarını üretmek ve şehirsel büyümenin olası mekânsal etkilerini değerlendirmektir. Geçmiş arazi kullanım verilerini referans alarak üretilen 2035 ve 2050 yıllarına ait şehirsel büyüme simülasyonlarıyla şehrin muhtemel gelişme yönleri, sınırları ve özellikle verimli tarım alanları üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Bu çalışmada HO ve MC entegrasyonunun kullanılmasının temel nedeni, Manisa gibi hızlı mekânsal değişim geçiren şehirlerde, geçmiş eğilimlerden hareketle gelecekteki şehirsel büyüme paternlerini hem zamansal hem de mekânsal boyutlarıyla yüksek doğrulukta tahmin edebilme potansiyelidir.

Tarih boyunca şehirlerin gelecekte nasıl büyüyecekleri ve arazi kullanımını nasıl dönüştürecekleri sorusu farklı şehirsel büyüme modellerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren geliştirilen ilk modeller, şehirlerin mekânsal yapısını belirli kriterlere göre açıklamaya çalışmış; ancak sınırlı sayıda değişkeni dikkate aldıkları için şehirleri genellikle tek merkezli ve basitleştirilmiş örüntüler üzerinden tanımlamışlardır (Özdemir vd., 2024). Oysa günümüzde şehirlerin çok merkezli, dinamik ve karmaşık yapısı, bu geleneksel yaklaşımların uygulamada yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, karmaşıklık kuramına dayalı modeller; şehirsel sistemleri oluşturan çok boyutlu öğeler arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin bütün üzerindeki etkilerini analiz eden bir yaklaşım sunmaktadır (Bhatta, 2010).

Bilgisayar tabanlı karmaşık şehirsel büyüme yaklaşımları; farklı mekânsal dinamiklerin tanımlanmasına ve bu dinamiklerin şehirsel büyüme üzerindeki etkilerinin ölçülmesine olanak tanımaktadır. Böylece şehirsel büyüme süreçleri; çok değişkenli, esnek ve senaryo temelli tekniklerle analiz edilmekte ve gelecekteki olası mekânsal örüntüler daha gerçekçi biçimde tahmin edilebilmektedir. Bu kapsamda Hücresel Otomat (HO) ve Markov Chain (MC) entegrasyonu, hem mekânsal hem de zamansal boyutların bütüncül biçimde analiz edilebilmesi yeteneğiyle öne çıkan güçlü bir yaklaşımdır (Isinkaralar & Varol, 2023; Keshtkar & Voigt, 2016). HO ve MC tabanlı modellerin farklı şehirlerde yüksek doğruluk oranlarıyla gelecek senaryoları ürettiği ve planlama kararlarında önemli girdileri sağladığı görülmüştür (Aydın & Durduran, 2024; Latue & Rakuasa, 2023; Mansour vd., 2020). Dolayısıyla, mekânsal olarak hızla büyüyen şehirlerin gelecekte göstereceği gelişim paternlerinin sürdürülebilir kalkınma açısından kritik bir öneme sahip olduğu ve bu doğrultuda yürütülen ampirik çalışmaların planlama süreçlerine entegre edilmesi gerektiği birçok araştırmada vurgulanmaktadır (Aydın, 2011; Ghosh vd., 2021; Moghadam & Helbich, 2013). Türkiye'de bu alanda yapılan çalışmalar, şehirsel büyümenin olası değişim paternlerini anlamak ve planlama kararlarına bilimsel zemin hazırlamak açısından önemli sonuçlar sunmaktadır (Ateş vd., 2020; Berberoğlu vd., 2016; Çağlıyan &

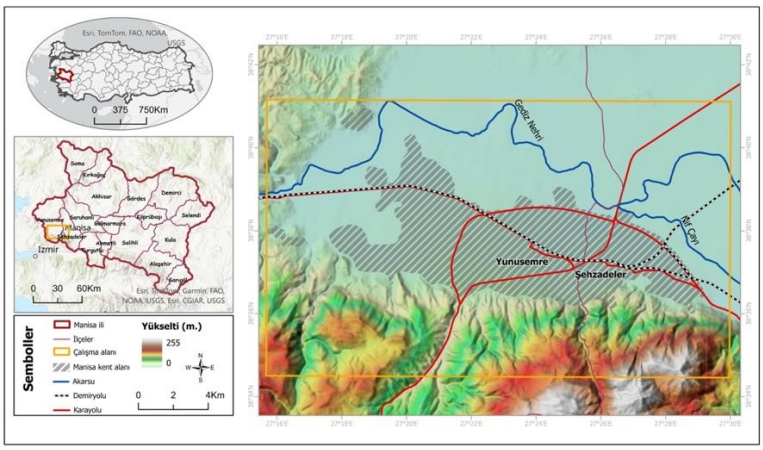
Dağlı, 2022; Ozturk, 2015; Yildiz Gorentas & Sargin, 2024). Ancak bu çalışmaların sınırlı sayıda olması ve genellikle büyük şehirler ölçeğinde gerçekleştirilmesi, sanayi-tarım etkileşiminin yoğun biçimde hissedildiği orta ölçekli şehirlerde modelleme çalışmalarının yetersiz kaldığını göstermektedir (Aydın & Durduran, 2024). Manisa örneğinde yürütülen bu çalışma, sanayi-tarım çatışmasının mekânsal etkilerini analiz etmede HO-MC tabanlı modelin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Manisa ölçeğinde Gündüz (2025), farklı makine öğrenmesi algoritmalarını karşılaştırarak sınıflandırmada en yüksek doğruluğu veren yöntemi belirlemeyi ve Hücresel Otomat-Yapay Sinir Ağları modeliyle 2027 ve 2030 yıllarının arazi kullanım simülasyonlarını üretmeyi amaçlamıştır. Bununla birlikte çalışma, ekolojik denge açısından şehirsel genişlemenin risklerini ve arazi kullanımı değişimlerini öngörmede makine öğrenimi ile simülasyon modellerinin entegrasyonunun önemini vurgulamaktadır. Buna karşılık bu makale; uzun vadeli senaryoların üretilmesi, olası ve öneri simülasyon yaklaşımlarının birlikte kurgulanması, şehirsel büyüme sahaları ile tarımsal arazi kaybının nicel-mekânsal düzeyde çözümlenmesi ve bulguların coğrafi planlama/politika odağında değerlendirilmesi bağlamlarında farklılaşmaktadır. Çalışma yalnızca şehirsel büyüme eğilimlerini öngörmekle kalmamakta; sürdürülebilir planlama ve tarım alanlarının korunmasına yönelik somut politika önerileri geliştirerek literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.

1.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin batısında, Ege Bölgesi'nin Gediz Havzası içerisinde bulunan çalışma alanı, Manisa şehir merkezi ve yakın çevresini kapsamaktadır. Yaklaşık 256 km^2 alana karşılık gelen çalışma sahası, 27° 15'–27° 30' doğu boylamları ile 38° 41' –38° 34' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Manisa ilinin batısında Yunusemre ve Şehzadeler ilçe merkezlerini içine alan şehir, kuzeyde Yunt Dağı ve güneyde Spil Dağı arasında uzanan Gediz Nehri'nin geniş alüvyal ova tabanı üzerinde bulunmaktadır (Gül vd., 2024). Bu jeomorfolojik yapının sağladığı avantaj, tarımsal üretim bakımından elverişli koşullar yaratırken aynı zamanda sanayi yatırımlarının da bu alanda yoğunlaşmasına zemin hazırlamıştır. Tarım ve sanayi faaliyetlerinin mekânsal olarak iç içe geçtiği Manisa, bu yönüyle şehirsel büyüme ile tarımsal arazi kaybı arasındaki etkileşimin analiz edilebileceği uygun bir inceleme alanı sunmaktadır. Ayrıca İzmir metropoliten alanına yakınlığı ve doğu-batı ile kuzey-güney yönlü önemli ulaşım ağlarının kesişim noktasında bulunması, şehrin hızlı büyümesini ve bölgesel ölçekte bir çekim merkezi haline gelmesini hızlandırmıştır.

Manisa, sahip olduğu tarım, sanayi, ticaret ve ulaşım olanakları sayesinde Ege Bölgesi'nin en kalabalık şehirlerinden biridir. Günümüzde çalışma alanı sınırları içerisinde yaklaşık 405.500 kişi yaşamaktadır (TÜİK, 2025). Diğer merkezlere olan yakınlığı ve önemli ulaşım ağlarının geçiş güzergahında bulunması, şehri yatırımcılar için bir cazibe merkezi haline getirmiş ve bölgenin sanayi kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle 1970 yılında şehrin batısında kurulan ve günümüzde beş kısımdan oluşan Manisa Organize Sanayi Bölgesi (MOSB), şehrin ekonomik gelişiminde ve istihdam yapısında belirleyici bir rol oynamıştır (Arslan, 2018). Böylece sanayi yatırımları ve ulaşım olanaklarıyla desteklenen şehir, yoğun göç hareketleriyle birlikte nüfusun hızla arttığı bir bölgesel gelişim merkezi haline gelmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası

2. Materyal ve Yöntem

Manisa şehrinin gelecekteki arazi kullanım değişimlerini ve olası şehirsel büyüme eğilimlerini tahmin etmek amacıyla farklı kaynaklardan çeşitli veri setleri kullanılmıştır. Birincil veriler olan uydu görüntüleri, arazi kullanım değişikliklerinin modellenmesinde temel veri kaynağını oluşturmaktadır (Çizelge 1). ABD Jeoloji Servisi (USGS) veri tabanından elde edilen 1990, 2005 ve 2020 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri, Landsat 4-5 TM ve Landsat 8 OLI sensörleri tarafından kaydedilmiştir (USGS, 2022). 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahip bu görüntülerde 15 yıllık aralıklarla seçilen zaman serisi, geleceğe yönelik arazi kullanım projeksiyonlarının oluşturulmasında tutarlı bir zaman sabitliği sağlamaktadır. Çalışmada ayrıca uygunluk analizlerinin gerçekleştirilmesi ve simülasyon doğruluğunun artırılması amacıyla çeşitli yardımcı veri setlerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda, USGS'den temin edilen 30 metre mekânsal çözünürlükteki Sayısal Yükselti Modeli (SYM), eğim ve yükselti gibi topografik faktörlerin üretilmesinde kullanılmıştır (USGS, 2022). Bunun yanı sıra, Manisa Büyükşehir Belediyesi birimlerinden ve OpenStreetMap açık erişim platformundan elde edilen sayısal veriler, şehirsel genişlemeyi şekillendiren fiziksel ve sosyo-mekânsal faktörlerin belirlenmesinde temel alınan vektör tabanlı katmanları oluşturmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan veri seti

Veri		Kaynak	Veri tipi
Tarih	Sensör		
1990	Landsat 4-5 TM	USGS	Raster (GeoTIFF) (30 m.)
2005			
2020	Landsat 8 OLI/TIRS		
SYM		USGS	Raster (GeoTIFF) (30 m.)
Sayısal veri seti		Manisa Büyükşehir Belediyesi OpenStreetMap	Vektör

Modellemede veri girdisi olarak kullanılan arazi kullanım haritalarının üretilmesi için uydu görüntülerine; veri dönüşümü, görüntü iyileştirme ve segmentasyon gibi bir dizi ön hazırlık işlemi uygulanmıştır. Ardından her bir uydu görüntüsü üzerinde örneklem alanların tanımlanarak Maksimum Benzerlik Tekniği ile kontrollü sınıflandırma analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre 1990, 2005 ve 2020

yıllarına ait arazi kullanım haritaları; yerleşme, tarım alanları, orman, çıplak alanlar, su kütleleri ve seyrek ağaçlık alanlar olmak üzere altı arazi kullanım sınıfı kapsamında üretilmiştir.

Arazi kullanım haritalarının gerçeğe uygunluk derecesini değerlendirmek amacıyla uygulanan doğruluk analizi, örnekleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu çalışmada Tabakalı Rastsal Örnekleme yöntemi kullanılarak harita üzerine dağıtılan noktalar, referans verilerle karşılaştırılarak gerçek arazi kullanım kodlarıyla tanımlanmıştır. Böylece 1990, 2005 ve 2020 yıllarına ait arazi kullanım hata matrisleri elde edilmiştir. Sonuçlara göre, genel doğruluk ve Kappa katsayısı değerlerinin her üç sınıflandırmada da %85'in üzerinde olduğu ve bu nedenle üretilen arazi kullanım haritalarının yüksek güvenilirlik seviyesine sahip olduğu görülmektedir.

2.1. Model Tasarımı

Manisa şehrinin gelecekteki arazi kullanım eğilimlerini tahmin etmek için Hücresel Otomat (HO) ve Markov Chain (MC) tabanlı entegrasyon modeli kullanılmıştır. MC geçmiş verilerden hareketle sınıflar arası geçiş olasılıklarını istatistiksel olarak tahmin ederken, HO bu geçişleri komşuluk kuralları doğrultusunda mekânsal olarak dağıtmaktadır (Gasirabo vd., 2023). CA-Markov olarak adlandırılan bu hibrit model, geçiş olasılıklarını temel alıp mekânsal dinamikleri filtreleyerek etkili bir yaklaşım sunmaktadır (Tahir vd., 2025). Böylece model, Markov analizinin istatistiksel güvenilirliğini HO modelinin mekânsal uyarlanabilirliğiyle birleştirerek, geleceğe dönük projeksiyonların daha tutarlı sonuçlar üretmesine olanak tanımaktadır.

Markov Chain modeli, iki dönem arasındaki değişimleri referans alarak, gelecekteki her bir arazi kullanım sınıfının diğerine geçiş olasılıklarını tanımlayan olasılık matrislerine dayanır (Ozturk, 2015). Modelin temel varsayımı, durum değişimlerini belirleyen geçiş olasılıklarının benzer şekilde geleceği de şekillendireceğidir. Matematiksel formülüne göre; $S(t)$, hücrenin *t* zamandaki durumunu, $S(t+1)$, hücrenin *t+1* zamandaki durumunu göstermektedir (Ma vd., 2012).

$$S(t+1) = P_{ij} \times S(t)$$

(P_{ij}) belirli bir arazi kullanım sınıfından diğerine (*i*'den *j*'ye) geçiş olasılığını ifade eden geçiş olasılık matrisini, *n* ise arazi kullanım sınıflarını temsil etmektedir (Tang vd., 2007).

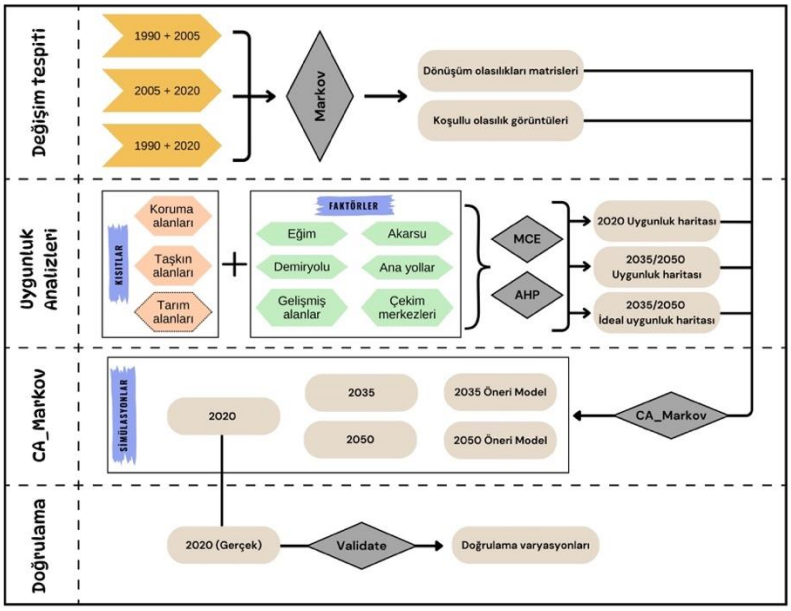
$$(P_{ij}) = [P_{11}\ P_{12}\ \dots\ P_{1n}\ P_{21}\ P_{22}\ \dots\ P_{2n}\ \dots\ \dots\ \dots\ \dots\ P_{n1}\ P_{n2}\ \dots\ P_{nn}\ ]$$

$$\left(0 \le P_{ij} < 1\ and \sum_{j=1}^{N} P_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, \dots, n) \right)$$

Hücresel Otomat modeli, şehirsel büyümenin yerel mekânsal etkileşimlerini ve komşuluk ilişkilerini bir dizi kurala göre gerçekleştirir (Santé vd., 2010). Model temel olarak, bir görüntüdeki her bir hücrenin belirli bir zaman diliminde geçireceği durum değişikliğini, komşu hücrelerin mevcut durumlarından etkilenerek tahmin eder. HO formülüne göre; $S(t+1)$ hücrenin *t+1* zamandaki durumunu, $S(t)$ hücrenin *t* zamandaki durumunu, *S*N komşuluk etkilerini, f ise geçiş kuralları işlevini ifade eder (Arsanjani vd., 2013).

$$S\ (t+1) = f(S(t), SN)$$

CA-Markov modelinin tasarımı dört aşamadan oluşmaktadır: (i) değişim tespiti, (ii) uygunluk analizleri, (iii) CA-Markov entegrasyonu ve (iv) doğrulama (Şekil 2). İlk aşamada geçmiş dönemlere ait arazi kullanım verileri üzerinden geçiş olasılıkları hesaplanmıştır. İkinci aşama, kısıt ve faktör değişkenleri kullanılarak şehirsel büyümeye yönelik uygunluk haritalarının üretilmesini kapsamaktadır. Elde edilen çıktılar üçüncü aşamada, CA-Markov modeline entegre edilerek 2020, 2035 ve 2050 yılları için projeksiyonlar geliştirilmiştir. Son aşamada ise 2020 yılına ait gerçek arazi kullanımı ile modelleme sonucu üretilen simülasyon haritaları karşılaştırılarak modelin doğruluğu test edilmiştir.



Şekil 2. Model tasarımı diyagramı

Çalışmada Manisa şehrinin modellenmesine yönelik farklı yıllara ait simülasyon hedefleri belirlenmiştir:

- ***2020 yılı simülasyonu***: Modelin doğruluğunu test etmek amacıyla aynı yıla ait gerçek ve simülasyon haritalarının karşılaştırılması.
- ***2035 ve 2050 yılları olası senaryoları***: Orta ve uzun vadede şehirsel büyüme eğilimleri ile arazi kullanım değişimlerinin tahmin edilmesi ve olası mekânsal etkilerin değerlendirilmesi.
- ***2035 ve 2050 yılları öneri senaryoları***: Sürdürülebilir şehirsel büyüme hedefi doğrultusunda alternatif senaryoların geliştirilmesi.

2.1.1 Değişim Tespiti

HO-MC entegrasyonunun ilk aşaması olan değişim tespiti, modelin temel varsayımı olan geçmiş dönem arazi kullanım değişimlerinden geleceğe yönelik projeksiyon üretme yaklaşımına dayanmaktadır. Bu aşamada, iki farklı tarih arasındaki her bir arazi kullanım sınıfının kendisine ve diğer sınıflara geçiş olasılık değerleri hesaplanmakta; böylece gelecekte tahmin edilen yıldaki arazi kullanım sınıflarının istatistiksel dağılımı öngörülmektedir (Ozturk, 2015). Bu sayede, geçmişte gözlenen değişim dinamiklerinin benzer eğilimlerle gelecekte de devam edeceği kabul edilmektedir.

Çalışmada Markov analizi kullanılarak üç farklı dönem üzerinden geçiş olasılıkları hesaplanmıştır. 1990-2005 yılları arasındaki geçişler 2020 yılı simülasyonu için, 2005-2020 dönemi 2035 yılı simülasyonları için, 1990-2020 dönemi ise 2050 yılı simülasyonları için referans olarak

kullanılmıştır. Zaman sabitliği dikkate alınarak, ilk iki projeksiyon için 15 yıllık, üçüncü projeksiyon için ise 30 yıllık periyotlar tercih edilmiştir. Her bir döneme ait geçiş olasılıkları ve alan matrisleri üretilmiş, Cross-Tabulation analizi ile arazi kullanım sınıfları arasındaki dönüşümün mekânsal dağılımı görsel olarak ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki arazi kullanım değişim trendlerini belirlemeye yönelik modelleme sürecinin temel girdilerini oluşturmaktadır.

2.1.2 Uygunluk Analizleri

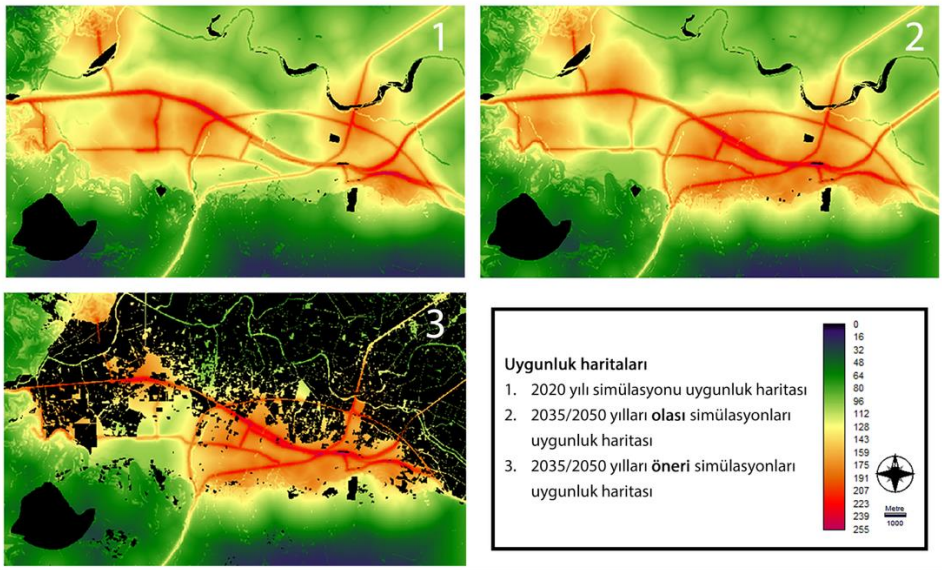
Modelleme sürecinin en kritik aşamalarından biri olan uygunluk analizleri, şehirsel gelişimi yönlendiren temel parametrelerin belirlenmesini ve bunların modele entegre edilmesini kapsamaktadır. Bu aşamada, gelecekteki şehirsel büyüme için en uygun alanların belirlenmesi amacıyla Çok Kriterli Analiz (Multi Criteria Evaluation-MCE) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process-AHP) yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Geçmişte deneyimlenen mekânsal süreçler ve bölgeye özgü dinamikler dikkate alınarak çalışmada üç kısıt ve altı faktör değişkeni tanımlanmıştır. Kısıt (sınır) değişkenleri, Boolean yaklaşımıyla kesin sınırlar çizen ve şehirsel gelişime tamamen kapalı alanları tanımlayan parametrelerdir (Eastman, 2009). Koruma statüsüne sahip *koruma alanları* ile akarsuların taşkın sahalarını kapsayan *taşkın alanları* değişkenleri, modelleme sürecinde şehirsel gelişime kapalı bölgeler olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, 2035 ve 2050 yıllarına ait öneri modellerin geliştirilmesinde *tarım alanları* kısıt değişkeni tanımlanmıştır. Ekilebilir alanlar, üzüm bağları, zeytinlikler, seralar ve karma tarım alanlarını kapsayan bu değişken, bölgenin önemli tarımsal arazi varlıklarını temsil etmektedir. Faktör değişkenleri ise şehirsel gelişime uygunluğun artan veya azalan derecelerle temsil edildiği sürekli ölçeğe sahip parametrelerdir (Eastman, 2016). Bu çalışmada eğim, akarsulara uzaklık, demiryoluna uzaklık, ana yollara uzaklık, gelişmiş alanlara uzaklık ve çekim merkezlerine uzaklık faktörleri tanımlanmıştır (Çizelge 2). Her bir faktör farklı yüzey ve mesafe analizlerine tabii tutularak raster formata dönüştürülmüştür. Farklı referans birimleri ve değer aralıklarına sahip faktörler için bulanık mantık yaklaşımıyla 0-255 değer aralıklarıyla temsil edilen bir ölçekle standartlaştırılmıştır. 2020 yılı simülasyonu ile 2035-2050 yılları simülasyonlarında kullanılmak üzere bulanık küme setleri elde edilmiştir.

Çizelge 2. Bulanık mantık uygulaması ve faktör ağırlıkları

	Değişkenler	Üyelik fonksiyonu	Kontrol noktaları	Ağırlıklar	
Kısıtlar	Koruma alanları	Boolean	0: uygun değil 1: uygun	2020	2035-2050
	Taşkın alanları				
	Tarım alanları (öneri model)				
Faktörler	Eğim (%)	Sigmoidal/Mon. dec.	0-20	0.1006	0.0977
	Akarsulara uzaklık (m.)	Sigmoidal/Mon. inc.	30-50	0.0795	0.0721
	Demiryoluna uzaklık (m.)	J-shaped/ Mon. dec.	0-7853	0.1496	0.1235
	Ana yollara uzaklık (m.)	J-shaped/ Mon. dec.	0-6047	0.1496	0.1655
	Gelişmiş alanlara uzaklık (m.)	Linear/ Mon. dec.	0-3000	0.2158	0.2219
	Çekim merkezlerine uzaklık (m.)	Linear/ Mon. dec.	0-3000	0.3049	0.3194
Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR)				0.02	0.03

Uygunluk haritalarının üretilmesi için faktör değişkenlerinin birbirlerine göre önemli veya baskın olma derecesini tanımlayan AHP yöntemi kullanılmıştır (Leal, 2020). Faktörler önem dereceleri ölçeğine göre derecelendirilmiş ve her bir faktörün ağırlığının hesaplandığı ikili karşılaştırma matrisleri üretilmiştir. Matrislerin güvenilirliğini test eden ve Saaty (1987) tarafından geliştirilen tutarlılık hesaplaması, karar verme süreçlerindeki çelişkileri ölçerek, faktörler arasındaki karşılaştırmaların doğruluğunu kontrol etmektedir. İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen tutarlılık oranının 0.10'un altında olması faktörler arasındaki önceliklendirmelerin güvenilir olduğunu göstermektedir. İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen tutarlılık oranlarının 2020 yılı için 0.02; 2035-2050 yılları için ise 0.03 olarak hesaplanması, karşılaştırmaların kabul edilebilir düzeyde ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Buna göre, şehirsel gelişim üzerinde en yüksek ağırlığa sahip faktörler çekim merkezlerine uzaklık ve gelişmiş alanlara uzaklık olurken, bunları ulaşım değişkenleri takip etmektedir. Fiziki parametreler olan eğim ve akarsulara uzaklık ise daha düşük ağırlıklara sahiptir. Bu dağılım, Manisa'daki şehirsel büyümenin büyük ölçüde sosyo-ekonomik ve ulaşım odaklı dinamikler tarafından belirlendiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen faktör ağırlıkları kullanılarak tüm değişkenler birleştirilmiş ve nihai uygunluk haritaları üretilmiştir (Şekil 3). Böylece Manisa'da gelecekteki şehirsel gelişimin yoğunlaşabileceği alanlar mekânsal olarak tanımlanmıştır. 0 ile 255 değer aralığındaki ölçekle tanımlanan uygunluk haritalarında, 0 değeri şehirsel gelişme için uygun olmayan alanları, 255 değeri ise en uygun alanları ifade etmektedir. Ölçek değerleri arttıkça alanların uygunluk düzeyi de artmaktadır.



Şekil 3. Uygunluk haritaları

2035 ve 2050 yılları simülasyonları için iki farklı uygunluk haritası üretilmiştir. Bunlardan ilki, bölgede mevcut eğilimlerin devam etmesi durumunda ortaya çıkabilecek 'olası' senaryo için uygunluk haritasını; ikincisi ise verimli tarım alanlarının korunması ve sürdürülebilir mekânsal planlama ilkelerinin dikkate alınması halinde gerçekleşebilecek 'öneri' senaryo için uygunluk haritasını yansıtmaktadır. Bu ayrım, gelecekteki şehirsel gelişimin hem risklerini hem de alternatif çözüm yollarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Öneri senaryolarında şehirsel gelişmeye 'uygun olmayan' alanların geniş yer kaplaması, modelde kısıt olarak tanımlanan verimli tarım arazilerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. 2035 ve 2050 yılları simülasyonlarında kullanılan 'öneri' uygunluk haritasında, kuzey kesimlerde yoğunlaşan bu alanlar, yüksek tarımsal üretim potansiyeline sahip bölgeleri temsil etmektedir. Bu doğrultuda, söz konusu tarım alanları gelişmeye kapatılarak

sürdürülebilir mekânsal planlama ilkeleri çerçevesinde şehirsel büyümenin yönü ve biçimi denetim altına alınmıştır.

2.1.3 CA-Markov

Modelleme sürecinin üçüncü aşaması, HO ve MC entegrasyonunu ifade eden CA-Markov analizidir. Bu süreçte, üç temel veri girdisi tanımlanmıştır: temel arazi kullanım haritaları, geçiş alanları dosyaları ve uygunluk haritaları veri seti. Temel arazi kullanım haritası, Markov analizinde karşılaştırılan iki yılın en güncelini temsil etmektedir. Buna göre, 2020 yılı simülasyonu için 2005 yılı; 2035 ve 2050 yılları için ise 2020 yılı arazi kullanım haritası esas alınmıştır. Bu haritalar, gelecekteki olası arazi kullanım senaryolarının modellenmesinde başlangıç verisi olarak kullanılmıştır.

CA-Markov analizinde Markov zinciri, arazi kullanım sınıflarının gelecekteki geçiş miktarlarını hesaplamakta; Hücresel Otomat ise bu geçişlerin mekânda nerede gerçekleşeceğini belirlemektedir. Hücresel Otomat sisteminde çalışma alanı hücrelerden oluşan bir ızgaraya bölünmekte, her hücre belirli bir arazi kullanım sınıfını temsil etmektedir. Hücrelerin gelecekteki durumu yalnızca kendi mevcut durumlarına değil, aynı zamanda çevresindeki komşu hücrelerin durumlarına da bağlı olarak geçiş kurallarına göre değişmektedir. Bu çalışmada, hücresel geçişlerin mekânsal bağımlılığını tanımlamak için 5×5 Moore komşuluk yapısı kullanılmıştır. Moore tipi komşuluk, merkez hücrenin çevresindeki 24 komşu hücrenin durumunu dikkate alarak mekânsal etkileşimi tanımlar ve arazi kullanım değişimlerinin daha gerçekçi biçimde simüle edilmesine olanak tanır (Yang vd., 2016). Ayrıca iterasyon sayısı, modelin temel aldığı dönem aralıklarına göre belirlenmiş olup, 2020 ve 2035 yılı simülasyonları için 15, 2050 yılı simülasyonu için ise 30 iterasyon uygulanmıştır.

Geçiş alanları dosyaları, dönemler arasındaki arazi kullanım sınıflarının geçiş olasılıklarını hücre bazında tanımlayan matrislerden oluşmaktadır. Bu kapsamda, 2020 yılı simülasyonu için 1990-2005; 2035 yılı için 2005-2020; 2050 yılı için 1990-2020 dönemlerinden türetilen geçiş alanları tabloları kullanılmıştır. Uygunluk haritaları veri seti ise, yerleşme sınıfına ait MCE tabanlı uygunluk haritası ile diğer arazi kullanım sınıflarının koşullu olasılık haritalarının birleşiminden oluşmaktadır. Tüm bu veri setlerinin analize entegre edilmesiyle CA–Markov süreci uygulanmış ve 2020, 2035 ve 2050 yıllarına ait simülasyon haritaları üretilmiştir. Elde edilen bu simülasyonlar, şehrin gelecekteki mekânsal büyüme eğilimlerini ortaya koymakta ve arazi kullanım kararlarının yönlendirilmesi açısından önemli girdiler sağlamaktadır.

2.1.4 Doğrulama

Modelleme sürecinin güvenilirliğini test etmeyi amaçlayan doğrulama adımı, karşılaştırma (simülasyon) haritaları ile referans (gerçek) haritalar arasındaki uyum düzeyini ölçmektedir. Bu yaklaşım, genellikle belirlenen bir yılın gerçek arazi kullanım haritası ile aynı yıl için üretilmiş simülasyon haritasının karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada doğrulama analizi, 2020 yılına ait simülasyon haritası ile aynı yılın gerçek arazi kullanım haritasının karşılaştırılmasıyla yapılmıştır.

Doğrulama süreci, uyum ve uyuşmazlık bileşenlerinin yanı sıra Kappa istatistiklerini içeren bir dizi matematiksel ölçüte dayanmaktadır. İki harita arasındaki benzerlik durumu hem konumsal hem de miktar bilgisi temelinde değerlendirilmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen analizde 11 farklı doğrulama göstergesi hesaplanmıştır. Bunların 7'si uyum ve uyuşmazlık bileşenlerinden, 4'ü ise Kappa varyasyonlarından oluşmaktadır. Pontius Jr ve Millones (2011), uyum ve uyuşmazlık göstergelerinin

Kappa değerlerine göre çok daha açıklayıcı sonuçlar sunduğunu vurgulamaktadır. Özellikle miktar ve alan uyuşmazlığı bileşenleri, modelin doğruluk düzeyini belirleyen temel parametreler olarak kabul edilmektedir. Miktar uyuşmazlığı, referans ve karşılaştırma haritalarında her bir sınıfa ait hücre sayılarındaki eşleşme hatasını; alan uyuşmazlığı ise bu sınıfların mekânsal dağılımlarındaki konum hatalarını ortaya koymaktadır (Ahmed vd., 2013).

2020 yılına ait doğrulama sonuçlarına göre, gerçek ve simülasyon haritaları arasındaki genel doğruluk oranı %77 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, miktar uyuşmazlığı %2, alan uyuşmazlığı ise %20 düzeyindedir (Çizelge 3). Bu sonuçlar, iki haritadaki her bir sınıfın hücre sayısı açısından %98, alan büyüklüğü açısından ise %80 oranında uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Kappa istatistiklerinin ortalama %70 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Tüm bu göstergeler, modelin geçerli olduğunu ve gelecekteki arazi kullanım örüntülerini başarılı bir şekilde simüle edebildiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 3. Doğrulama varyasyonları ve sonuçları

	Varyasyonlar	Formül tanımlaması	Sonuçlar (%)
Bileşenler	Miktar uyuşmazlığı	P(p)-P(m)	0.0235=%2
	Tabaka uyuşmazlığı	P(m)-K(m)	0.0000=%0
	Alan uyuşmazlığı	K(m)-M(m)	0.2003=%20
	Alan uyumu	MAX[M(m)-H(m),0]	0.4857=%48
	Tabaka uyumu	If MIN[N(m),H(m),M(m)]=N(m), then MIN [H(m)-N(m),M(m)-N(m)], else 0	0.0000=%0
	Miktar uyumu	If MIN[N(n),N(m),H(m),M(m)]=N(n), then MIN [N(m)-N(n),H(m)-N(n),M(m)-N(n)], else 0	0.1475=%14
	Şans uyumu	MIN [N(n),N(m),H(m),M(m)]	0.1429=%14
Kappa	Standart Kappa	((M(m)-N(m)))/((P(p)-N(m)))	0.6845=%68
	Bilgi içermeyen Kappa	((M(m)-N(n)))/((P(p)-N(n)))	0.7388=%73
	Konum bazında Kappa	((M(m)-N(m)))/((P(m)-N(m)))	0.7080=%70
	Miktar bazında Kappa	((M(m)-H(m)))/((K(m)-H(m)))	0.7080=%70

3. Bulgular

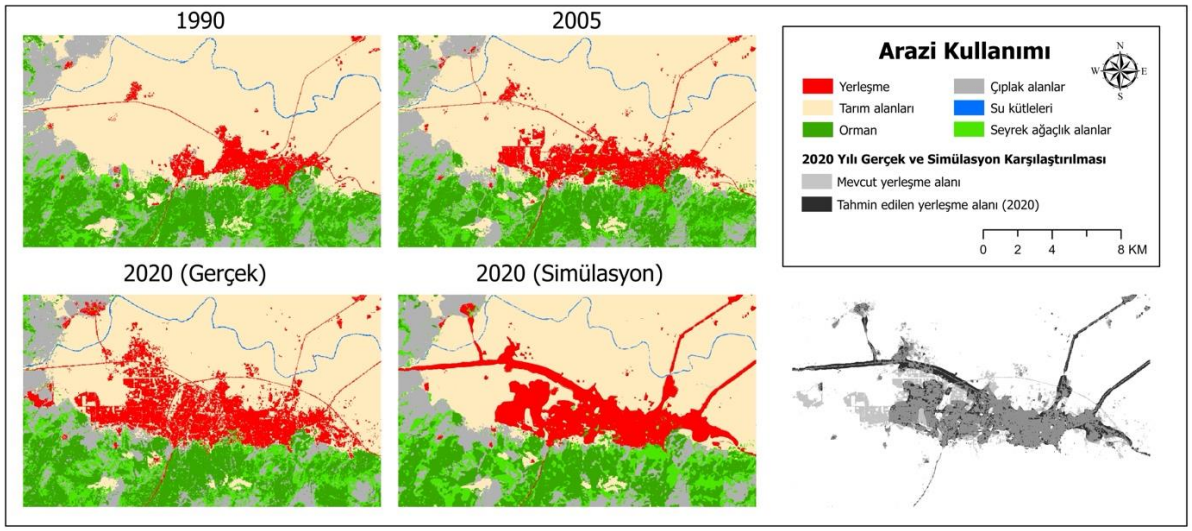
3.1. Şehirsel Büyüme Süreci (1990-2020)

Geçmişteki 30 yıllık süreçte Manisa'daki şehirsel büyüme eğilimi, arazi kullanımı dağılımında yerleşme sınıfının kaydettiği artış üzerinden açıkça izlenebilmektedir. 1990, 2005 ve 2020 yıllarına ait arazi kullanım haritaları ile alansal dağılımlar, bu değişimlerin niceliksel ve mekânsal boyutunu ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır (Çizelge 4 ve Şekil 4). Buna göre, yerleşme sınıfı 1990 yılında 1.439 ha iken, 2005 yılında 2.203 ha, 2020 yılında ise 3.826 ha alana ulaşmıştır. 1990 yılında bölgenin %5,6'sını oluşturan yerleşme alanlarının, sonraki dönemlerde sırasıyla %8,6 ve %15 düzeyine yükseldiği görülmektedir. Bu değerler, 30 yıllık süreçte şehirsel alanların yaklaşık üç katına yaklaşan bir genişleme sergilediğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. 1990-2050 yılları arasındaki arazi kullanımı sınıflarının değişimi ve dağılımı

Arazi kullanımı	1990		2005		2020		2020 (Simülasyon)		Olası Senaryolar				Öneri Senaryolar			
									2035		2050		2035		2050	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Yerleşme	1.439	5,6	2.203	8,6	3.826	15	3.571	13,9	5.425	21,2	5.891	23	5.428	21,2	5.895	23
Tarım alanları	14.412	56,3	13.622	53,2	11.943	46,6	12.030	47	10.123	39,6	9.723	38	10.111	39,5	9.708	37,9
Orman	4.542	17,7	4.226	16,5	4.198	16,4	3.908	15,3	4.031	15,7	3.855	15,1	4.014	15,7	3.838	15
Çıplak alanlar	2.915	11,4	3.170	12,4	3.198	12,5	3.478	13,6	3.279	12,8	3.402	13,3	3.289	12,8	3.416	13,3
Su kütleleri	142	0,6	138	0,5	138	0,5	153	0,6	152	0,6	139	0,5	154	0,6	143	0,6
Seyrek ağaçlık alanlar	2.155	8,4	2.246	8,8	2.302	9	2.465	9,6	2.595	10,1	2.595	10,1	2.609	10,2	2.605	10,2
Toplam	25.605	100	25.605	100	25.605	100	25.605	100	25.605	100	25.605	100	25.605	100	25.605	100

1990 yılında Gediz Ovası'nın verimli tarım alanları üzerinde sınırlı bir yerleşim dokusuna sahip olan Manisa, sonraki dönemlerde hızlı bir büyüme sürecine girerek etki alanını genişletmiştir. 2005 yılı itibarıyla şehirsel gelişim özellikle batı ve kuzey yönlerinde belirginleşmiş; batıda Organize Sanayi Bölgesi (OSB) ve kuzeybatıdaki üniversite kampüsü şehrin potansiyel çekim merkezleri haline gelmiştir. Bu süreçten itibaren özellikle ulaşım ağlarındaki gelişmeler ve sanayi yatırımlarının bölgede yoğunlaşması şehirsel büyümeyi destekleyen temel dinamikler olmuştur. İzmir metropolünün mekânsal yakınlığı ve baskısı, Manisa'da sanayi üretim kapasitesini artırmış; OSB'nin yeni etaplarla genişlemesine ve büyük ölçekli yabancı ile yerli yatırımların inşa edilmesine zemin hazırlamıştır (Gül vd., 2024). Böylece, Türkiye'nin tarım şehirlerinden biri olarak anılan Manisa, günümüzde ülkenin önemli sanayi merkezlerinden biri konumuna erişmiştir. Bu mekânsal dönüşüm, şehrin arazi kullanımında tarım-sanayi rekabetini de açıkça gözler önüne sermektedir.



Şekil 4. 1990-2020 yılları arasındaki arazi kullanımı haritaları ve 2020 yılı gerçek ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Yerleşme alanlarındaki artışa paralel olarak, tarım alanlarında dikkat çekici bir azalma meydana gelmiştir. 1990 yılında 14.412 ha (%56,3) olan tarım alanları, 2005 yılında 13.622 ha (%53,2), 2020 yılında ise 11.943 ha (%46,6) düzeyine gerilemiştir. Bu azalma, şehirsel büyümenin özellikle verimli tarım toprakları üzerinde gerçekleştiğini ve şehirleşmenin tarımsal üretim alanlarının geleceği açısından ciddi bir baskı oluşturduğunu göstermektedir. Nitekim, Arslan ve Üzülmez (2024) tarafından yapılan

çalışmada, şehrin doğusundan geçen İstanbul-İzmir Otoyolu güzergahındaki tarım alanlarında önemli kayıpların yaşandığı ve bu tarım alanlarının mekânsal bütünlüğünün bozularak parçalandığı ortaya konulmuştur. Bu durum, bölgedeki yatırımların yalnızca alan kaybına değil, aynı zamanda tarımsal üretim deseninin sürekliliğini bozan yapısal bir dönüşüme neden olduğunu göstermektedir.

30 yıllık süreçte diğer arazi kullanım sınıflarında ise nispeten sınırlı değişimler gözlenmiştir. Üç dönem boyunca arazi kullanım sınıflarının toplam çalışma alanı içindeki ortalama oranları yaklaşık olarak %17 orman alanları, %8,7 seyrek ağaçlık alanlar, %12 çıplak alanlar ve %0,5 su kütleleri şeklindedir. Dolayısıyla yerleşme alanlarının artışı ve tarım alanlarının azalması dışında, diğer arazi kullanım sınıflarının görece istikrarlı bir seyir izlediği anlaşılmaktadır.

3.2. Mekânsal Değişim Tespiti

Manisa'da arazi kullanımındaki dönüşüm eğilimlerini ortaya koymak amacıyla yapılan değişim tespiti, farklı dönemler arasındaki geçiş olasılıklarının incelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki en kritik ve büyük arazi kullanımı değişimi, tarım alanlarının önemli bir bölümünün yerleşme sahalarına dönüşmesi olmuştur. 1990-2005 döneminde tarım alanlarının yaklaşık %13'ünün yerleşme alanlarına dönüştüğü, 2005-2020 yılları arasında ise bu oranın %18'e yükseldiği anlaşılmaktadır (Çizelge 5). 1990-2020 yılları arasındaki 30 yıllık dönemde ise tarım alanlarının %22'si yerleşme alanlarına dönüşmüştür. Bu kayıplar verimli tarım arazilerinin şehirleşme baskısı altında sürekli azaldığı ve özellikle 2005 sonrasında dönüşüm hızının belirgin şekilde arttığını göstermektedir.

Çizelge 5. Arazi kullanım sınıflarının geçiş olasılıkları matrisi (%)

	Dönem	Yerleşme	Tarım alanları	Orman	Çıplak alanlar	Su Kütleleri	Seyrek ağaçlık alanlar
Yerleşme	*1990-2005*	0.7287	0.2283	0.0087	0.0191	0.0001	0.0151
	2005-2020	0.7545	0.2083	0.0066	0.0187	0.0000	0.0120
	1990-2020	0.7459	0.2138	0.0089	0.0204	0.0000	0.0109
Tarım alanları	*1990-2005*	0.1298	0.8137	0.0071	0.0326	0.0055	0.0113
	2005-2020	0.1877	0.7491	0.0087	0.0326	0.0068	0.0151
	1990-2020	0.2269	0.7146	0.0083	0.0294	0.0060	0.0148
Orman	*1990-2005*	0.0050	0.0272	0.7083	0.0723	0.0000	0.1872
	2005-2020	0.0063	0.0148	0.6631	0.1121	0.0000	0.2037
	1990-2020	0.0086	0.0177	0.6238	0.1293	0.0000	0.2205
Çıplak alanlar	*1990-2005*	0.0281	0.0707	0.0658	0.7355	0.0000	0.0998
	2005-2020	0.0750	0.0559	0.0764	0.5974	0.0004	0.1949
	1990-2020	0.0844	0.0522	0.0666	0.6055	0.0002	0.1912
Su Kütleleri	*1990-2005*	0.0029	0.3808	0.0006	0.0000	0.6118	0.0040
	2005-2020	0.0054	0.4613	0.0027	0.0060	0.5148	0.0098
	1990-2020	0.0043	0.4705	0.0016	0.0038	0.5112	0.0086
Seyrek ağaçlık alanlar	*1990-2005*	0.0065	0.0418	0.2472	0.1599	0.0000	0.5446
	2005-2020	0.0144	0.0275	0.3716	0.1942	0.0003	0.3920
	1990-2020	0.0102	0.0215	0.3798	0.2201	0.0000	0.3684

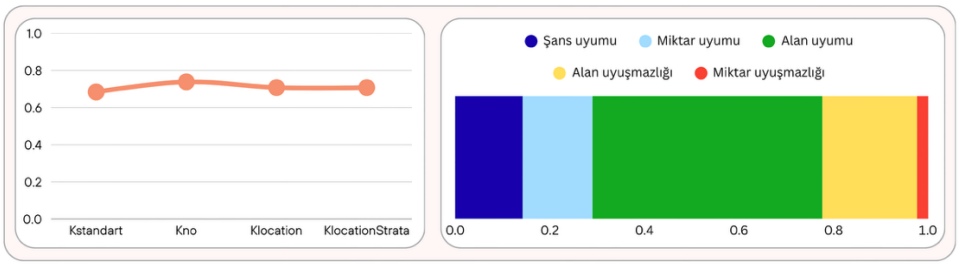
Tarım alanlarının yanı sıra ormanlık alanlar ve seyrek ağaçlık alanlarda da dikkate değer geçişler yaşanmıştır. Özellikle orman alanlarının seyrek ağaçlık alanlara dönüşüm oranları üç dönem için sırasıyla %19, %20 ve %22 olarak hesaplanmıştır. Bu eğilim orman ekosisteminin parçalanarak seyrekleştiğini ve doğal örtünün zayıfladığını akla getirmektedir. Buna karşın seyrek ağaçlık alanların kısmen orman, kısmen de çıplak alanlara dönüşmesi, bölgede hem ormanlaştırma faaliyetlerinin hem de arazi tahribatının eş zamanlı olarak sürdüğünü göstermektedir. Böylece Manisa'da arazi kullanımındaki dönüşüm süreçleri yalnızca şehirsel büyümeyi değil, aynı zamanda doğal çevre üzerindeki baskıyı da açıkça ortaya koymaktadır.

3.3. Şehirsel Büyüme Senaryoları

3.3.1. 2020 Yılı Simülasyonu

2020 yılına ait gerçek ve simülasyon arazi kullanım haritalarının karşılaştırılmasıyla ulaşılan sonuçlar, modelin doğruluk düzeyini ve uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Her iki haritada da arazi kullanım sınıflarının alansal büyüklükleri ve mekânsal örüntüleri büyük ölçüde örtüşmektedir (Çizelge 4 ve Şekil 4). Gerçek haritada 3.826 ha (%15) olan yerleşme alanlarının, simülasyonda 3.571 ha (%13,9) olarak hesaplanması, modelin şehirsel büyümeyi yüksek doğrulukta tahmin edebildiğini göstermektedir. Benzer şekilde, baskın sınıf olan tarım alanlarının gerçek haritada 11.943 ha (%46,6), simülasyonda ise 12.030 ha (%47) alan kapladığı ve modelin tarım toprakları üzerindeki baskıyı başarılı bir şekilde yansıttığı görülmektedir. Ormanlık alanlar (%16,4-%15,3), seyrek ağaçlık alanlar (%9-%9,6), çıplak alanlar (%12,5-%13,6) ve su kütleleri (%0,5-%0,6) açısından da yüksek düzeyde uyum gözlenmiştir. Küçük farklılıklar bulunmakla birlikte, tahmin edilen arazi kullanım sınıflarının büyük ölçüde mevcut arazi kullanım düzeniyle eşleştiği anlaşılmaktadır.

Mekânsal dağılım düzenleri incelendiğinde, şehirsel büyümenin özellikle 2005 yılına ait şehirsel alanların çeperlerinde ve ana ulaşım aksları boyunca yoğunlaştığı, böylece iki harita arasında benzer örüntülerin yakalandığı görülmektedir. Bununla birlikte, 1990-2005 dönemindeki şehirsel büyüme hızının görece sınırlı olması, 2005 sonrasındaki hızlı genişlemelerin model tarafından tam olarak öngörülememesine neden olmaktadır. Özellikle şehrin batısında kurulan Organize Sanayi Bölgesi'ne ait yeni etaplar, modele nispeten uyumsuzluk yaratan gelişim odaklarını teşkil etmektedir. Bu farklılık, ani ve planlamaya bağlı gelişmelerin modellenmesindeki güçlüklerden kaynaklanmaktadır. Genel olarak, 2020 yılına ilişkin simülasyon sonuçları, arazi kullanım sınıflarının hem alansal büyüklük hem de mekânsal dağılış düzeni bakımından yüksek doğruluk düzeyine ulaşmıştır. Doğrulama analizinde elde edilen %77 genel doğruluk, %2 miktar uyuşmazlığı, %20 alan uyuşmazlığı ve yaklaşık %70 düzeyindeki Kappa değerleri modelin geçerliliğini ortaya koymaktadır (Şekil 5). Özellikle alan uyumu oranının yüksek, miktar uyuşmazlığı oranının ise oldukça düşük olması, modelin arazi kullanım sınıflarını hem alansal hem de konumsal açıdan başarılı biçimde simüle edebildiğini göstermektedir. Gerçek ve simülasyon haritaları arasındaki bu uyum, modelin güvenilirliğini kanıtlamakta ve geleceğe yönelik arazi kullanım senaryoları için sağlam bir temel sunduğunu ortaya koymaktadır.

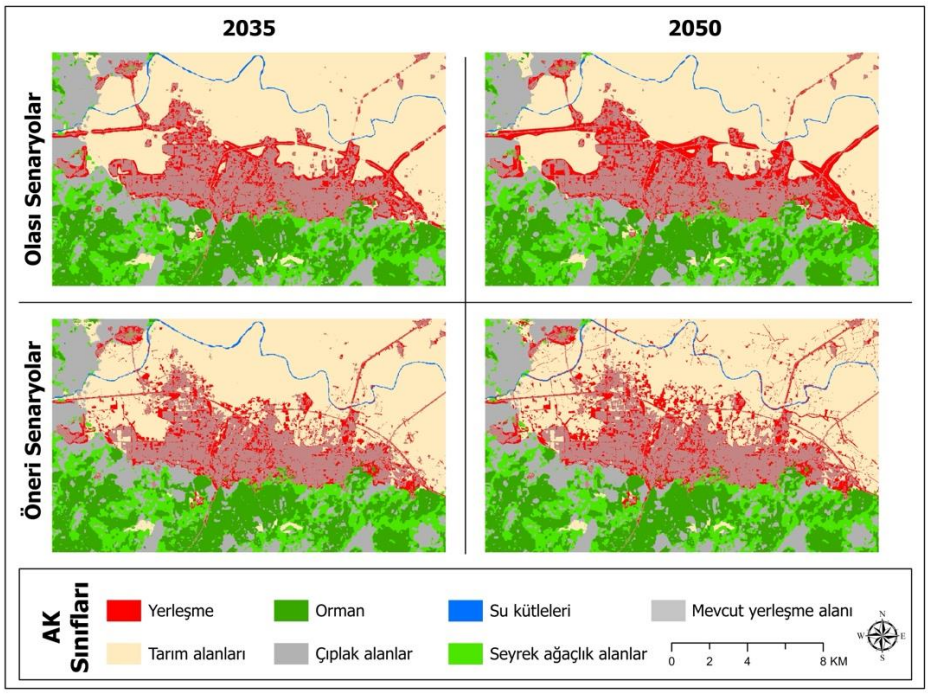


Şekil 5. Varyasyon sonuçları grafiği

3.3.2. 2035 ve 2050 Yıllarının Olası Senaryoları

2035 ve 2050 yıllarına ait olası senaryolar, bölgede mevcut eğilimlerin devam etmesi halinde Manisa şehrinin mekânsal gelişiminde orta ve uzun vadede ortaya çıkabilecek muhtemel arazi kullanım örüntülerini yansıtmaktadır. Buna göre yerleşme alanlarının 2035 yılında 5.425 ha alana ulaşarak toplam sahanın %21,2'sini, 2050 yılında ise 5.891 ha alan ile toplam sahanın %23'ünü kaplayacağı

öngörülmektedir. Bu değerler günümüzdeki yerleşme alanlarının 2035 yılına kadar 1.599 ha, 2050 yılına kadar ise 2.065 ha genişleyeceğini ve 2020 yılına kıyasla şehirsel sahanın yaklaşık %50'lik bir artışla etki alanını genişleteceğini işaret etmektedir. Tahmin edilen şehirsel büyümenin özellikle şehrin batı ve kuzey kesimlerinde ve ulaşım koridorları boyunca yoğunlaştığı; ayrıca şehir içindeki boşluk kısımlarının (şehir dışı kullanıma sahip alanlar) dolarak mevcut yerleşim dokusuna entegre olduğu görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. 2035 ve 2050 yıllarının olası ve öneri arazi kullanım senaryoları

2035 ve 2050 yıllarındaki olası şehirsel genişleme sonucunda en belirgin kaybın tarım alanlarında gerçekleşeceği öngörülmektedir. 2020 yılında 11.943 ha (%46,6) olan tarım alanlarının, 2035 yılında 10.123 ha (%39,6), 2050 yılında ise 9.723 ha (%38) düzeyine gerilemesi beklenmektedir. Bu değerler günümüzdeki tarım arazilerinin 2035 yılına kadar 1.820 ha, 2050 yılına kadar 2.220 ha küçülmesiyle birlikte şehirsel yayılmanın Gediz Ovası'nın verimli tarım alanları üzerinde devam edeceğini ve tarım-şehirleşme çatışmasının giderek derinleşeceğini göstermektedir. Diğer arazi kullanım sınıflarının gelecekteki olası dağılımları ise görece daha istikrarlı olup, orman alanlarının %15, çıplak alanların %13, seyrek ağaçlık alanların %10 ve su kütlelerinin %0,5 düzeyinde kalacağı; bu oranların genel olarak ortalama değerlerini koruyacağı öngörülmektedir.

3.3.3. 2035 ve 2050 Yıllarının Öneri Senaryoları

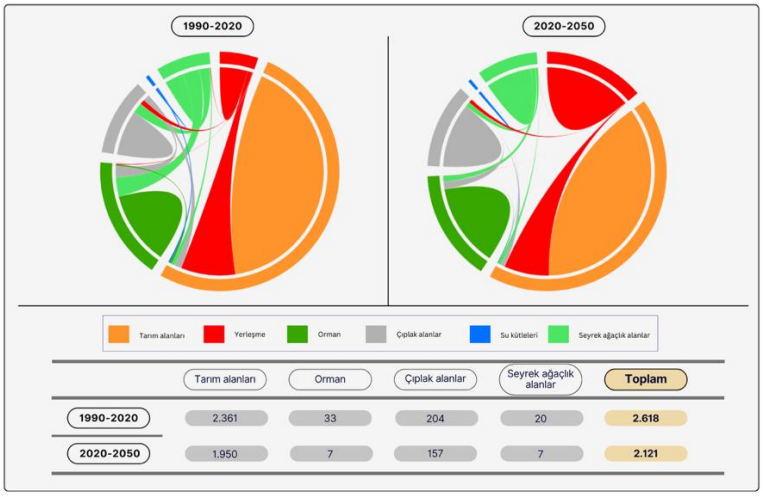
Öneri senaryoları, mevcut eğilimlerin ötesine geçerek sürdürülebilir şehirsel gelişim ilkeleri doğrultusunda alternatif bir büyüme modeli sunmaktadır. Manisa'da tarım topraklarının tamamıyla koruma altına alındığı varsayımına dayanan bu senaryoların temel amacı, şehirsel yayılımın doğrudan verimli tarım arazilerine yönelmesini engelleyerek büyümeyi planlı bir biçimde yönlendirmektedir. Böylelikle şehrin önemli tarımsal varlıklarının korunmasına öncelik verilmiş, şehirsel gelişimin verimliliği düşük sahalar, mevcut boşluk alanlar ve diğer uygun bölgeler üzerinde yoğunlaşması sağlanmıştır. Bu yaklaşım çerçevesinde üretilen öneri senaryoları, Manisa'nın sürdürülebilir gelişim

olanaklarını ortaya koymakta ve tarım-şehirleşme çatışmasının azaltılmasına yönelik mekânsal alternatifler sunmaktadır.

Öneri senaryolarına göre, 2035 yılında yerleşme alanları 5.428 ha (%21,2), 2050 yılında ise 5.895 ha (%23) düzeyine ulaşmaktadır (Çizelge 4). Ayrıca, tarım alanları 2035 yılında 10.111 ha (%39,5), 2050 yılında ise 9.708 ha (%37,9) olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, olası senaryolarla büyük oranda örtüşmekle birlikte, şehirsel büyümenin yönü ve mekânsal dağılımında önemli farklılıkların olduğuna işaret etmektedir (Şekil 6). Olası senaryolarda şehir çeperinde tarım alanlarına doğru yayılan bir gelişim gözlenirken, öneri senaryolarında bu yayılım sınırlandırılmış ve büyüme mevcut boşluklar ile düşük verimli sahalara yönlendirilmiştir. Böylece ekilebilir alanlar, üzüm bağları, zeytinlikler, seralar ve karma tarım alanlarının yapılaşmaya açılmaması sayesinde tarımsal üretimin ana sahaları korunmuş; şehirsel büyüme, olası senaryolardaki gibi dağınık ve tarım alanlarına zarar verici bir biçimde gerçekleşmemiştir. Dolayısıyla öneri senaryoları, yalnızca tarımsal üretim sahalarının korunmasını değil, aynı zamanda şehirsel büyümenin daha dengeli ve sürdürülebilir bir biçimde yönlendirilmesini mümkün kılmakta; gelecekteki mekânsal planlama kararlarına rehberlik eden önemli bir alternatif sunmaktadır.

3.4. Şehirsel Büyümenin Mekânsal Etkileri (1990-2050)

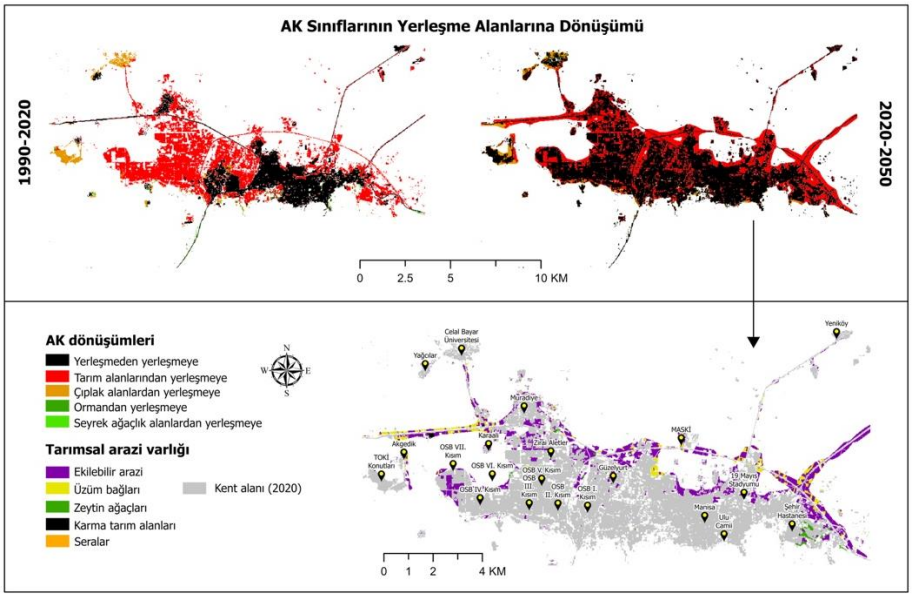
Manisa'da son 30 yılda gerçekleşen ve gelecekteki 30 yılda gerçekleşeceği öngörülen şehirsel büyümenin hangi arazi kullanımı sınıfları üzerinde yoğunlaştığının ortaya konulması, bölgedeki arazi tahribatının boyutlarının anlaşılmasında oldukça önemlidir. Bu bağlamda yapılan analizler hem geçmişteki arazi kullanım dönüşümlerini hem de geleceğe yönelik öngörüleri bütüncül bir şekilde yansıtmaktadır. 1990 ve 2020 yılları arasındaki dönemde 2.361 ha tarım alanı, 204 ha çıplak alan, 33 ha orman alanı ve 20 ha seyrek ağaçlık alan olmak üzere toplamda 2.618 ha alan yerleşme sahalarına dönüşmüştür (Şekil 7). Arazi kullanımındaki en baskın ve büyük değişimin tarım alanlarının yerleşme alanlarına dönüşmesiyle gerçekleştiği görülmektedir. Benzer şekilde, 2020 ve 2050 yılları arasındaki dönemde 1.950 ha tarım alanı, 157 ha çıplak alan, 7 ha orman ile seyrek ağaçlık alan olmak üzere toplamda 2.121 ha alanın yerleşme sınıfına dönüşeceği tahmin edilmiştir. Bu durum, şehirsel büyümenin tarım arazileri üzerinde devam edeceğini ve geçmişteki arazi kullanım dönüşümlerinin gelecekte de benzer bir örüntüyle sonuçlanacağını düşündürmektedir.



	Tarım alanları	Orman	Çıplak alanlar	Seyrek ağaçlık alanlar	Toplam
1990-2020	2.361	33	204	20	2.618
2020-2050	1.950	7	157	7	2.121

Şekil 7. Arazi kullanım sınıflarının dönüşüm hareketleri (ha)

Manisa'daki şehirsel büyümenin diğer arazi kullanımı sınıfları üzerindeki gelişme paterni mekânsal olarak ve tarımsal arazi varlığı kapsamında değerlendirilmiştir (Şekil 8). Buna göre 30 yıllık periyotlarda şehirsel alanlara dahil olan arazi kullanımı sınıfları dönüşüm sahalarının mekânsal dağılımında tarım alanlarından yerleşmeye dönüşümün yoğunluğu dikkat çekmektedir. 1990-2020 döneminde mevcut yerleşimlerin çevresindeki verimli tarım topraklarının önemli bir kısmı şehirsel alanlara dönüşmüş ve şehrin doğu-batı doğrultusunda çizgisel bir yayılım paterni sergilediği gözlenmiştir. Şehrin büyüme yönleri, nüfusun çekim merkezlerinin konumlarıyla benzerlik göstermektedir. Özellikle batıdaki OSB, doğudaki Manisa Şehir Hastanesi, kuzeydeki yeni site yerleşmeleri, şehirlerarası otobüs terminali ile endüstriyel-ticari alanlar gibi dinamikler son 30 yıldaki şehirsel gelişimin odak noktalarını oluşturmaktadır (Foto 1a ve b). Ancak söz konusu bölgelerdeki şehirsel büyümenin tarım arazileri üzerinde gerçekleştiği dikkate alındığında, bölgedeki arazi planlaması ve yönetiminin sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yürütülmediği sonucuna ulaşılmaktadır. Sahadaki gelişmelerle uyumlu biçimde Işık ve Çağatay (2014), Manisa Organize Sanayi Bölgesi çevresinde şehrin batı ve kuzeye doğru genişleyeceğini ve bu genişlemenin verimli tarım arazilerini zamanla ortadan kaldıracağını öngörmüştür. Nitekim bu öngörüler, günümüzde Organize Sanayi Bölgesi'nin IV. ve V. kısımlarının tamamlanmasıyla birlikte (Arslan, 2018) şehrin sanayi yönlü batı genişlemesinin fiilen gerçekleştiğini ve bölgedeki tarım alanlarının önemli bir bölümünün sanayi alanlarına dönüştüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Şehirsel büyüme örüntüsü ve tarımsal arazi kaybı

2020-2050 dönemine yönelik öngörülen olası simülasyonlar, geçmişteki 30 yılda deneyimlenen arazi kullanım dönüşümlerine benzer bir örüntünün ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Gelecekte de şehirsel alanlara yakın tarım arazilerinin şehirsel genişleme baskısı altında kalacağı ve bu durumun bölgedeki tarımsal üretim kapasitesini sınırlanarak olumsuz etkileyeceği söylenebilir. Nitekim, söz konusu tarımsal arazi kaybının 730 ha ekilebilir arazi, 140 ha üzüm bağları, 33 ha zeytinlik, 5 ha karma tarım alanları ve 2 ha sera olmak üzere toplamda 910 ha büyüklüğünde bir alana karşılık geldiği tespit edilmiştir. Tarımsal arazi varlığı içindeki kaybın özellikle ekilebilir alanlar ve üzüm bağlarında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Şehrin kuzey sınırları ve ulaşım koridorları boyunca yer alan bu tarımsal arazilerin gelecekte şehirsel kullanıma dahil olacağı tahmin edilmektedir.

2050 yılı için öngörülen şehirsel genişleme, günümüzde tarım alanı olarak kullanılan sahaların dönüşümüyle tarım-şehir çatışmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Özellikle şehri kuzeyden çevreleyen D250 ve D565 şehirlerarası karayolları ile doğuda uzanan demiryolu hattı boyunca tarımsal araziler üzerindeki şehirsel baskı daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Şehrin kuzey sınırlarında yer alan gelişme sahaları arasında olan Manisa Atık Su Arıtma Tesisi (MASKİ) çevresi ile BYD Otomotiv Fabrikası inşaat alanı, tarım arazilerinin olası dönüşümüne örnek teşkil eder (Foto 1c ve d). Bu bulgular, günümüzdeki bu tarım arazilerinin gelecekte yalnızca konut alanlarına dönüşme riski taşımadığını, aynı zamanda sanayi tesislerinin kurulmasıyla birlikte tarım ürünlerinin üretim kapasitesinin ve kalitesinin de zarar görebileceğini göstermektedir.

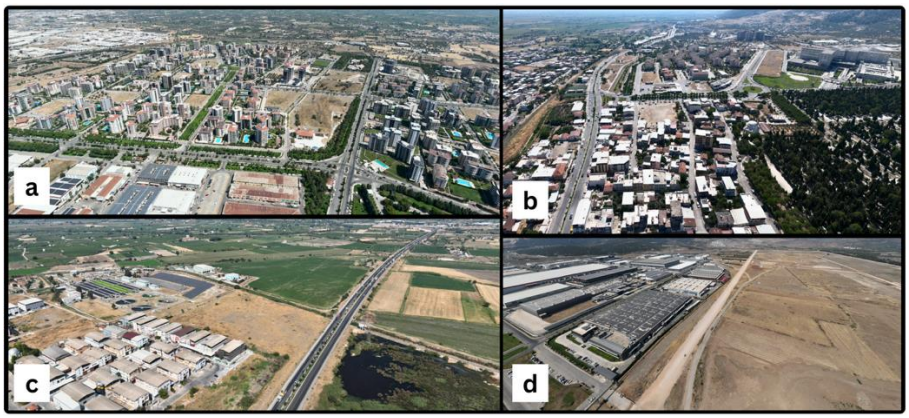


Foto 1. Şehirsel gelişim dinamikleri ve olası yayılma sahaları
(a. Güzelyurt bölgesi, b. Şehir Hastanesi ve çevresi, c. MASKİ çevresi, d. BYD inşaat sahası)
Görüntü tarihi: 24 Temmuz 2025

Gözlemlenen olumsuz eğilimlerin yanı sıra, son 30 yıldaki şehirsel gelişim örüntüsü incelendiğinde şehrin kuzeyindeki üniversite kampüsü çevresi ile batısındaki Akgedik TOKİ yerleşmelerinin büyük ölçüde çıplak araziler üzerinde konumlandığı görülmektedir (Şekil 8). Bu durum, tarımsal üretim açısından yüksek değer taşımayan alanların şehirsel gelişime tahsis edilmesi sayesinde nispeten daha sürdürülebilir bir büyümenin ortaya çıktığını göstermektedir. Nitekim, çıplak alanların şehirsel kullanım için değerlendirilmesi, verimli tarım topraklarının korunmasına katkı sağlayarak tarım-şehir çatışmasının görece azaltılmasına olanak tanımaktadır.

Geleceğe yönelik senaryolar kapsamında geliştirilen öneri modeller de benzer bir yaklaşımı desteklemektedir. Özellikle şehrin kuzey, batı ve doğusundaki dağlık alanların yamaçlarında yeni gelişim bölgelerinin tespit edilmiş olması mekânsal planlama açısından önemli bir bulgudur. Bu alanlar; kuzeyde Celal Bayar Üniversitesi kampüsü çevresi ve Yağcılar bölgesi, batıda Akgedik çevresi, doğuda ise Manisa Şehir Hastanesi'nin doğusundaki yamaçlarla örtüşmektedir (Foto 2). Böylelikle gelecekteki şehirsel genişlemenin, tarım arazileri üzerindeki baskıyı azaltacak şekilde yönlendirilebileceği, aynı zamanda şehrin mekânsal gelişiminde alternatif ve dengeli bir dağılımın sağlanabileceği öngörülmektedir.

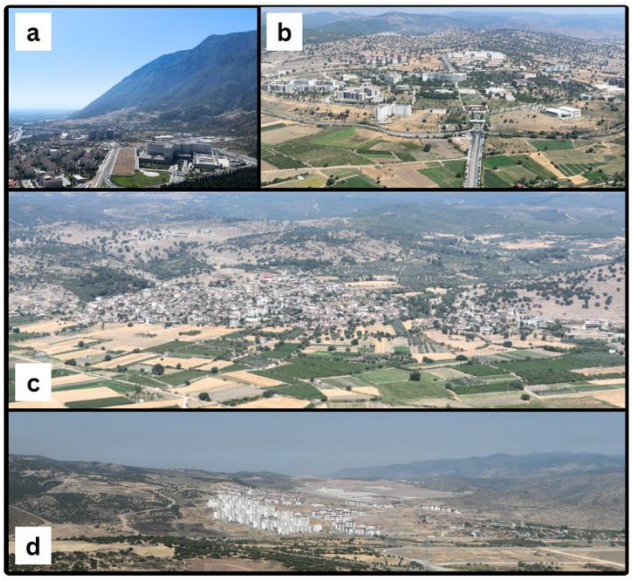


Foto 2. Önerilen yeni gelişme bölgeleri (a. Şehir Hastanesi doğusu, b. Üniversite kampüsü, c. Yağcılar, d. Akgedik çevresi) Görüntü tarihi: 24 Temmuz 2025

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, Manisa şehrinin geçmişteki arazi kullanım değişimlerinden yola çıkarak gelecekteki şehirsel gelişim senaryolarını üretmek ve olası değişimlerin mekânsal etkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Hücresel Otomat ve Markov Chain entegrasyonu temelinde gerçekleştirilen analizler, geçmiş eğilimleri dikkate alarak geleceğe yönelik güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Böylece hem geçmişte gerçekleşen arazi kullanımı dönüşümleri hem de geleceğe ilişkin mekânsal örüntüler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Geçmişteki 30 yıllık süreçte (1990-2020) Manisa'daki şehirsel alanların 1.439 hektardan 3.826 hektara ulaşarak yaklaşık üç katına çıktığı belirlenmiştir. Bu büyüme sürecinin özellikle Gediz Ovası'nın verimli tarım alanları üzerinde yoğunlaştığı ve toplamda 2.361 ha tarım arazisinin yerleşme alanına dönüştüğü tespit edilmiştir. Mekânsal açıdan bakıldığında, şehirsel genişlemenin bölgenin batı ve kuzey yönlerinde, özellikle ulaşım koridorları ve sanayi tesisleri çevresindeki tarım alanları üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Gelecek 30 yıla (2020-2050) yönelik senaryolar da benzer bir eğilime işaret etmektedir. Şehirsel alanların 2050 yılında 5.891 ha alana ulaşarak toplam sahanın %23'ünü kaplayacağı ve bu büyümenin 1.950 ha tarımsal alanlardan tahsis edileceği öngörülmektedir. Mevcut şehir sınırlarının çeperlerinde ve özellikle batı, kuzey ve doğudaki ulaşım aksları boyunca yoğunlaşan olası şehirsel büyüme alanlarının tarımsal üretim kapasitesi yüksek sahaları baskı altına alacağı anlaşılmaktadır. Çoğunlukla ekilebilir alanlar, üzüm bağları ve zeytinliklerden oluşan tarımsal arazi varlığı içerisinde 910 ha kayıp yaşanacağı tahmin edilmektedir. Böylelikle, geçmişteki 30 yılda olduğu gibi gelecek 30 yılda da şehirsel büyümenin en yoğun baskıyı tarım alanları üzerinde oluşturacağı ortaya konulmuştur.

Tarım alanlarının korunması kapsamında üretilen öneri senaryoları, Manisa şehrinin alternatif gelişim bölgelerinin belirlenmesine imkan tanımıştır. Şehrin kuzeyindeki üniversite kampüsü ve Yağcılar çevresi, batısındaki Akgedik çevresi ve doğusundaki Şehir Hastanesi çevresindeki yamaçlar en uygun yeni yerleşme alanlarını oluşturmaktadır. Böylece şehirsel büyümenin tarımsal üretim alanlarına zarar vermeyeceği ve daha güvenilir bir zemin karakterine sahip alanlara yönlendirilmesi şehrin sürdürülebilir geleceği için oldukça önemlidir.

Çalışmada kullanılan CA-Markov modelinin temel varsayımı olan 'geçmiş eğilimlerin gelecekte de benzer biçimde devam edeceği' kabulü, ani politika değişimleri, yeni sanayi yatırımları veya büyük altyapı projeleri gibi dışsal faktörlerin etkisini sınırlı biçimde yansıtmaktadır. Bu nedenle model, gelecekteki tüm sosyo-ekonomik veya politik değişkenleri (şimdiden öngörülemeyen dinamikleri) tam olarak yansıtamamaktadır. Nitekim doğrulama analizinde hesaplanan %77 genel doğruluk oranı ve ortalama %70 düzeyindeki Kappa değerleri, modelin genel eğilimleri başarıyla yansıttığı ancak bazı bölgelerde konumsal farklılıkların bulunduğunu göstermektedir. Bu farklılıklar, ani planlama kararları ve mekânsal gelişim süreçlerindeki değişikliklerden kaynaklandığı için çalışmanın sınırlılığını oluşturmaktadır.

Türkiye'de özellikle büyükşehirler başta olmak üzere birçok şehrin hızlı biçimde tarım arazileri üzerinde genişlediği bilinmektedir ve mevcut çalışmaların önemli bir bölümü bu kayıpları tespit etmeye odaklanmıştır. Ancak bu tür tespitlerin ötesine geçerek geleceğe dair öngörülerin üretildiği ve mekânsal etkilerinin tartışıldığı çalışmaların artırılması literatür için büyük önem taşımaktadır. Gelecekte olası kentsel büyümenin hangi arazi kullanım türleri üzerinde baskı oluşturacağına dair senaryoların geliştirilmesi, mekânın nasıl yönetileceğine ilişkin somut ipuçları sunmaktadır. Bu tür senaryo tabanlı yaklaşımlar, sürdürülebilir planlamaya katkı sunmakla kalmayıp, karar vericilerin farklı gelişim modelleri arasında tercih yapmasına bilimsel dayanak oluşturmaktadır.

Karmaşık şehirsel büyüme modelleme yöntemleri, şehirsel gelişimin mekânsal ve zamansal boyutlarını birlikte değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Karmaşık sistemlerin çok değişkenli yapısını dikkate alan bu modeller, şehirlerin dinamik ve öngörülmesi güç büyüme süreçlerini daha gerçekçi bir biçimde temsil etmektedir. Ayrıca, bu çalışmada olduğu gibi CA-Markov yaklaşımının hem geçmiş eğilimleri yakalama hem de geleceğe yönelik güvenilir senaryolar üretme kapasitesiyle güçlü bulgular ortaya koyduğu anlaşılmıştır. Türkiye'de sınırlı sayıda şehir üzerinde uygulanan bu tür karmaşık modelleme çalışmaları, şehirsel büyümenin gelecekteki etkilerini öngörerek literatüre önemli katkılar sunmakta ve mekânın daha bilinçli yönetilmesi için bilimsel bir temel oluşturmaktadır. Dolayısıyla Türkiye'de şehirsel gelişim senaryolarının geliştirilmesine yönelik araştırmaların artırılması, tarımsal arazilerin korunduğu ve sürdürülebilirliğin önceliklendirildiği daha sağlıklı şehirlerin tasarlanması bakımından kritik bir gerekliliktir. Ayrıca gelecek araştırmalar için, şehirsel büyüme modellerinin sosyo-ekonomik, demografik ve çevresel değişkenlerle zenginleştirilmesi, yapay zekâ temelli tahmin yaklaşımlarıyla desteklenmesi ve mekânsal planlama süreçlerine güvenilir girdiler sağlanması önerilmektedir.

Etik ve Yazar Beyanları / *Ethical and Author Declarations*

Çıkar Çatışması

Yazar, bu çalışmanın hazırlanması ve yayımlanması sürecinde çıkar çatışması oluşturabilecek herhangi bir ticari veya finansal ilişki içinde olmadığını beyan eder.

Conflict of Interest

The author declare that they have no commercial or financial relationships that could give rise to a conflict of interest during the preparation and publication of this study.

Araştırma Etiği Beyanı

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel araştırma ve yayın etiği ilkelerine riayet edilmiş; yararlanılan tüm kaynaklar eksiksiz biçimde kaynakçada belirtilmiştir.

Ethical Statement

The author confirms that this study was conducted in accordance with the principles of academic research and publication ethics, and that all sources used are appropriately cited.

Etik Onay

Bu çalışma, etik kurul izni gerektirmeyen nitelikte olup kullanılan veriler literatür taraması/yayınlanmış kaynaklar üzerinden elde edilmiştir.

Ethical Approve

This study does not require ethical committee approval, and the data used were obtained through a literature review/published sources.

Bilgilendirme ve Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223K370 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Acknowledgement

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) with project number 223K370. We would like to express our gratitude to TUBITAK for its support of this project.

Telif Hakkı ve Lisans

Dergimizde yayımlanan çalışmaların telif hakkı yazarlara, ticari kulanım hakkı dergimize aittir. Coğrafi Bilimler Dergisi'nde yayımlanan çalışmalar CC BY-NC-ND 4.0 lisansı altında açık erişim olarak yayımlanmaktadır

Copyright and License

The copyright for the works published in our journal belongs to the authors, while the right to commercial use belongs to our journal. The studies published in Turkish Journal of Geographical Sciences are published as open access under a CC BY-NC-ND 4.0 license.

Referanslar/References

Ahmed, B., Ahmed, R., & Zhu, X. (2013). Evaluation of model validation techniques in land cover dynamics. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(3), 577-597. https://doi.org/10.3390/ijgi2030577

Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., & Boloorani, A. D. (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 265-275. https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.014

Arslan, F. (2018). Türkiye'de sürdürülebilir üretimde organize sanayi bölgelerinin rolü: Manisa organize sanayi bölgesi (MOSB) örneği. *Marmara Coğrafya Dergisi*(37), 167-182. https://doi.org/10.14781/mcd.386213

Arslan, F. & Üzülmez, M. (2024). İstanbul–İzmir Otoyolu'nun tarım alanlarına etkisi: Manisa kesimi örneği. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 29(52), 173-190. https://doi.org/10.17295/ataunidcd.1493685

Ateş, E., Altundal Öncü, M., Bayar, R. & Yılmaz, M. (2020). Eskişehir kentsel büyüme alanın hücresel otomat ve CA-Markov Zincirleri ile analizi (1984-2056). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 18(2), 276-295. https://doi.org/10.33688/aucbd.803432

Aydın, O. (2011). CBS temelli hücresel otomata yöntemiyle kentsel büyüme modeli: Ankara örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9(2), 135-158. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000122

Aydın, T. K., & Durduran, S. S. (2024). Determining future scenarios of urban areas with cellular automata/Markov Chain Model method; example of Ereğli District Konya-Türkiye (2030–2040). *Earth Science Informatics*, 17(3), 2679-2697. https://doi.org/10.1007/s12145-024-01283-w

Ayhan, F. (2023). Otoyol projelerinin mekânsal değişim ve gelişim üzerine etkileri: Kuzey Marmara Otoyolu Sakarya kesimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(1), 121-152. https://doi.org/10.33688/aucbd.1236477

Balaban, O. (2017). İnşaat sektörü neyin lokomotifi? T. Bora (Ed.), *İnşaat Ya Resulullah* içinde 3. Baskı, (s. 17-32). Birikim Yayınları.

Berberoğlu, S., Akın, A. & Clarke, K. C. (2016). Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for Adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and urban planning*, 15(3), 11-27. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.017

Bhatta, B. (2010). *Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data*. Springer Science & Business Media.

Çağlıyan, A., & Dağlı, D. (2022). Monitoring land use land cover changes and modelling of urban growth using a future land use simulation model (FLUS) in Diyarbakır, Turkey. *Sustainability*, 14(15), 91-80. https://doi.org/10.3390/su14159180

Çavuşoğlu, E. (2014). *Türkiye kentleşmesinin toplumsal arkeolojisi* (3. Baskı). Ayrıntı Yayınları.

Eastman, J. R. (2009). *IDRISI Taiga guide to GIS and image processing*. Clark Labs Clark University, Worcester, MA.

Eastman, J. R. (2016). *TerrSet geospatial monitoring and modeling system*. Clark Labs Clark University, Worcester, MA.

Efe, S., Özaslan, A. & Gül, H. (2020). Türkiye'de ekonomik kümelenme ve kentler-arası çok merkezli kentsel gelişme açısından düşündürdükleri. *İdealkent*, 11(Kentleşme ve Ekonomi Özel Sayısı), https://doi.org/1073-1100. 10.31198/idealkent.674866

Gasirabo, A., Xi, C., Hamad, B. R., & Edovia, U. D. (2023). A CA–Markov-based simulation and prediction of LULC changes over the Nyabarongo River Basin, Rwanda. *Land*, 12(9), 1788. https://doi.org/10.3390/land12091788

Ghosh, S., Chatterjee, N. D., & Dinda, S. (2021). Urban ecological security assessment and forecasting using integrated DEMATEL-ANP and CA-Markov models: A case study on Kolkata Metropolitan Area, India. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102773. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102773

Görentaş, B. (2021). Ekoloji: kriz ve tepki. M. A. Çelik, & B. Görentaş (Eds.), *Ekolojik Kriz Nedenler, Tepkiler ve Adaptasyon* içinde (s. 1-32). Kriter Yayınevi.

Gu, C. (2019). Urbanization: Processes and driving forces. *Science China Earth Sciences*, 62(9), 1351-1360. https://doi.org/10.1007/s11430-018-9359-y

Gül, A., Döker, M. F. & Aslan, F. (2024). Manisa'da şehirsel büyüme sürecinin izlenmesi (1990-2022). *lnternational Journal of Geography and Geography Education*(52), 96-121. https://doi.org/10.32003/igge.1449012

Gündüz, H. İ. (2025). Land-use land-cover dynamics and future projections using GEE, ML, and QGIS-MOLUSCE: A case study in Manisa. *Sustainability*, 17(4), 1363. https://doi.org/10.3390/su17041363

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. https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104073

Işık, F. & Çağatay, U. (2014). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknolojilerinin kentsel büyümenin izlenmesi süreçlerinde kullanımı: Manisa örneği. *Yerel Politikalar Dergisi*(6), 49-64. Erişim adresi: https://izlik.org/JA46LJ67MR

Kaypak, Ş. (2013). Modernizmden postmodernizme değişen kentleşme. *Global Journal of Economics and Business Studies*, 2(4), 80-95. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumusgjebs/article/98717#article_cite

Keleş, R. (2017). *Kentleşme politikası* (16.Baskı). İmge Kitabevi.

Keshtkar, H., & Voigt, W. (2016). A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(10). https://doi.org/10.1007/s40808-015-0068-4

Kurucu, Y., & Chiristina, N. K. (2008). Monitoring the impacts of urbanization and industrialization on the agricultural land and environment of the Torbali, Izmir region, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 136, 289-297. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9684-4

Latue, P. C., & Rakuasa, H. (2023). Analysis of land cover change due to urban growth in Central Ternate District, Ternate City using Cellular Automata-Markov chain. *Journal of Applied Geospatial Information*, 7(1), 722-728. https://doi.org/10.30871/jagi.v7i1.4653

Leal, J. E. (2020). AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. *MethodsX*, 7(100748). https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021

Ma, C., Zhang, G., Zhang, X., Zhao, Y., & Li, H. (2012). Application of Markov model in wetland change dynamics in Tianjin Coastal Area, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 252-262. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.024

Mansour, S., Al-Belushi, M., & Al-Awadhi, T. (2020). Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy* 91, 104414.

https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104414

Moghadam, H. S., & Helbich, M. (2013). Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model. *Applied Geography*, 40, 140-149. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.01.009

Musakwa, W., & Van Niekerk, A. (2015). Earth observation for sustainable urban planning in developing countries: needs, trends, and future directions. *Journal of Planning Literature*, 30(2), 149-160. https://doi.org/10.1177/0885412214557817

Ozturk, D. (2015). Urban growth simulation of Atakum (Samsun, Turkey) using cellular automata-Markov chain and multi-layer perceptron-Markov chain models. *Remote Sensing*, 7(5), 5918-5950. https://doi.org/10.3390/rs70505918

Özdemir, S., Şahin, M. R., & Yetişkul, E. (2024). Geleneksel Kent Modellerinden Karmaşık Sistem Modellerine Geçiş. *Planlama*, 34(2). https://doi.org/10.14744/planlama.2024.38243

Pontius Jr, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429.

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8

Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning* 96(2), 108-122. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.001

Sat, N. A., Gürel Üçer, Z. A., Varol, Ç., & Yenigül, S. B. (2017). Sürdürülebilir kentler için çok merkezli gelişme: Ankara metropoliten kenti için bir değerlendirme. *Ankara Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 98-107. https://doi.org/10.5505/jas.2017.05025

Siyavuş, A. E., & Belge, R. (2024). Trakya'da Şehirsel Saçaklanma: Çorlu Örneği. *Planlama*(1). https://doi.org/10.14744/planlama.2024.04557

Tahir, Z., Haseeb, M., Mahmood, S. A., Batool, S., Abdullah-Al-Wadud, M., Ullah, S., & Tariq, A. (2025). Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS techniques. *Scientific Reports*, 15(1), 3271. https://doi.org/10.1038/s41598-025-87796-w

Tang, J., Wang, L., & Yao, Z. (2007). Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3255-3271. https://doi.org/10.1080/01431160600962749

TÜİK (2025, 12 Ağustos). Nüfus İstatistikleri (ADNKS). Erişim adresi: https://kutuphane.tuik.gov.tr/yordambt/yordam.php

Uğurlu, Ö. (2013). Neoliberal politikalar ekseninde Türkiye'de kentsel mekânin yeniden üretimi. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, *13*(47), 2-12. Erişim adresi: https://izlik.org/JA85MZ89PJ

USGS (2022, 14 Nisan). Earth Explorer. Erişim adresi: earthexplorer.usgs.gov

Yang, J., Su, J., Chen, F., Xie, P., & Ge, Q. (2016). A local land use competition cellular automata model and its application. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(7), 106. Erişim adresi: https://www.mdpi.com/2220-9964/5/7/106#

Yildiz Gorentas, S., & Sargin, S. (2024). Estimating urban growth on Mersin, Tarsus and Adana corridor in Türkiye by using Cellular Automata and Markov Chain. *European Spatial Research and Policy*, 31(2), 157-186. https://doi.org/10.18778/1231-1952.31.2.03

Yu, D., & Fang, C. (2023). Urban remote sensing with spatial big data: A review and renewed perspective of urban studies in recent decades. *Remote Sensing*, 15(5), 1307. https://doi.org/10.3390/rs15051307