T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL GELİŞİM İÇİN KENTSEL BÜYÜMENİN CBS ORTAMINDA MODELLENMESİ

GÖKÇE BETÜL ÇAKMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

AĞUSTOS 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL GELİŞİM İÇİN KENTSEL BÜYÜMENİN CBS ORTAMINDA MODELLENMESİ

GÖKÇE BETÜL ÇAKMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN: PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

AĞUSTOS 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

MODELING URBAN GROWTH IN A GIS ENVIRONMENT FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT

GÖKÇE BETÜL ÇAKMAK

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHICAL INFORMATİON PROGRAM

ADVISOR: PROF. DR. ARİF ÇAĞDAŞ AYDINOĞLU

AUGUST 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 29/07/2024 tarih ve 2024/42 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/08/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gökçe Betül ÇAKMAK'ın tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah KARA

ÜYE : Prof. Dr. Himmet KARAMAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
……/……./..…… tarih ve …..…/…..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Hızlı nüfus artışı ve kentleşme, arazi kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Kentleşme, kentsel alanların genişlemesine, ekili ve ekolojik alanların azalmasına neden olur. Bu durum doğal kaynakların tahribatına yol açmakta ve kaynakların plansız kullanımına neden olmaktadır. Bu nedenle, uygun planlama ve politika kararları almak için mevcut arazi kullanımını izlemek ve gelecekteki strateji ve koşullara göre modellemek önem arz etmektedir. Arazi kullanım değişikliklerinin anlaşılması ve yönetilmesi için modelleme ve simülasyonlar kullanılmaktadır. Bu simülasyonlar, gelecekteki arazi kullanımını projelendirmek ve çevresel değişikliklerin etkilerini anlamak için önemlidir. Politika yapıcıların ve araştırmacıların mevcut arazi kullanımını izlemesi ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için uzaktan algılama yoluyla gelecekteki arazi kullanım koşullarını hızla modellemesi gerekmektedir. Arazi kullanımı değişim simülasyonları hem doğal çevresel hem de insan kaynaklı etkilerin araştırılması, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir bir peyzaj için önemlidir. Bu çalışmada, İstanbul'un Pendik ve Tuzla ilçeleri ile Kocaeli'nin Darıca, Çayırova ve Gebze ilçelerini kapsayan çalışma alanı seçilmiştir. Arazi kullanımını etkileyecek faktörler belirlenip Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında model için uygun formata getirilmiştir. Bu faktörler, hücresel otomata tabanlı simülasyon modeli için yapay sinir ağları tabanlı oluşma olasılığı haritaları üretilmesinde kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan doğal sit alanları, tabiat parkları, su kaynakları ve askeri bölgeler kısıtlı alan olarak belirlenmiştir. Arazi kullanım verisi olarak 2012 ve 2018 yıllarına ait Urban Atlas verileri kullanılmıştır. Temel gelişim, tarım alanlarını koruma ve ekolojik alanları koruma senaryoları geliştirilmiş ve bu senaryolarla 2024, 2030 ve 2036 yıllarına ait arazi kullanım simülasyon haritaları oluşturulmuştur. Bu senaryolar sonucu oluşan haritalar, ilçe bazında yorumlanarak kentlerin gelişimine dair çıkarımlar yapılmıştır. Bu çalışma, kentsel planlama ve çevre koruma politikalarının gelecekteki kent gelişimine yönlendirilmesine katkı sağlayacak bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Büyüme, Arazi Kullanım Simülasyonları, FLUS Model, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

ABSTRACT

Rapid population growth and urbanization significantly impact land use. Urbanization leads to the expansion of urban areas and the reduction of agricultural and ecological lands. This situation results in the destruction of natural resources and the unplanned use of resources. Therefore, monitoring current land use and modeling according to future strategies and conditions is crucial for making appropriate planning and policy decisions. Modeling and simulations are employed to understand and manage land use changes. These simulations are essential for projecting future land use and understanding the effects of environmental changes. Policymakers and researchers must monitor current land use and rapidly model future land use conditions through remote sensing to ensure sustainable development. Land use change simulations are important for investigating both natural and human-induced impacts, adapting to climate change, and achieving a sustainable landscape. This study selected a study area covering the districts of Pendik and Tuzla in Istanbul and the districts of Darıca, Çayırova, and Gebze in Kocaeli. Factors affecting land use were identified and formatted appropriately for the model within a Geographic Information System (GIS) environment. These factors were used to produce artificial neural network-based occurrence probability maps for a cellular automata-based simulation model. In the study area, natural protected areas, nature parks, water resources, and military zones were designated as restricted areas. The land use data from Urban Atlas for the years 2012 and 2018 were used. Basic development, agricultural land protection, and ecological land protection scenarios were developed, and land use simulation maps for the years 2024, 2030, and 2036 were created under these scenarios. The maps resulting from these scenarios were analyzed by district, allowing inferences about urban development. This study presents findings that will contribute to guiding future urban development through urban planning and environmental protection policies.

Keywords: Urban Growth, Land Use Simulations, FLUS Model, Geographic Information Systems.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana rehberlik eden ve yönlendiren, her zaman sabırla sorularımı cevaplayan, bilgi ve deneyimini benimle paylaşan danışmanım Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU'na,

Süreç boyunca deneyimlerini ve fikirlerini benimle paylaşan, çalışmalarıma değerli katkılarda bulunan Araş. Gör. Süleyman ŞİŞMAN'a,

Bu süreçte yanımda olan, her zaman beni motive eden ve emekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan, sonsuz destekleriyle güç veren annem Hatice ÇAKMAK, babam Savaş ÇAKMAK ve tüm aileme,

Neşeleri ve sevimlilikleriyle hayatıma renk katan, bana her daim mutluluk ve huzur veren yeğenlerime,

Moral ve destekleriyle bana her zaman yardımcı olan arkadaşlarıma yürekten teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
1.2. Metodoloji	3
1.3. Literatür Taraması	5
2. KENTSEL BÜYÜME	8
2.1. Temel Tanım ve Kavramlar	8
2.2. Kentsel Büyümeyi Etkileyen Faktörler	9
2.3. Kentsel Büyüme Tahmin Modelleri	10
2.3.1. Makine Öğrenimi Yaklaşımları	11
2.3.2. Hücresel Otomata Tabanlı Modeller	11
2.3.3. Ajan Tabanlı Modeller	12
2.4. FLUS (Future Land Use Simulation) Model	13
2.4.1. Yapay Sinir Ağı Modeline Dayalı Uygunluk Olasılığı Hesaplaması	14
2.4.2. Hücresel Otomata Tabanlı Arazi Kullanım Simülasyonu	15
2.4.3. Model Doğrulama Araçları	16
3. UYGULAMA	18
3.1. Çalışma Alanı	18
3.2. Veri Setlerinin Hazırlanması	19
3.2.1. Arazi Kullanım Verileri	19
3.2.2. Yönlendirici Faktörler	21
3.2.3. Kısıtlı Alanlar	22
3.3. Senaryoların Oluşturulması ve Parametrelerin Belirlenmesi	24
3.4. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	26
3.4.1. Pendik İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları	26
3.4.2. Tuzla İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları	30
3.4.3. Gebze İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları	33
3.4.4. Çayırova İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları	36
3.4.5. Darıca İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları	39
3.5. Model Doğrulaması	42
4. SONUÇ	43
KAYNAKLAR	45

ÖZGEÇMİŞ 48
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR 49
EKLER 50

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
FLUS	: Future Land Use Simulation
UA	: Urban Atlas
InVEST	: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-Offs
YSA	: Yapay Sinir Ağları
HO	: Hücresel Otomata
LCM	: Land Change Modeler
LUSD	: Land Use Scenario Dynamics
SLEUTH	: Slope, land use, excluded layer, urban extent, transportation, hillshade
CLUE-S	: Conversion of Land Use and its Effects at Small extent mode
CA-Markov	: Cellular Automata-Markov model
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tez çalışması iş akışı. 4
Şekil 2.1: FLUS Model iş akışı. 17
Şekil 3.1: Çalışma alanı. 18
Şekil 3.2: 2012 yılına ait Urban Atlas verisi. 20
Şekil 3.3: 2018 yılına ait Urban Atlas verisi. 20
Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan yönlendirici faktörler. 22
Şekil 3.5: Çalışma kapsamında arazi değişimine izin verilmeyen alanlar. 23
Şekil 3.6: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Pendik İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 40
Şekil 3.7: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Pendik İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 40
Şekil 3.8: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Tuzla İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 43
Şekil 3.9: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Tuzla İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 43
Şekil 3.10: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Gebze İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 46
Şekil 3.11: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Gebze İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 46
Şekil 3.12: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Çayırova İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 49
Şekil 3.13: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Çayırova İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 49
Şekil 3.14: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Darıca İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 52
Şekil 3.15: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Darıca İlçesinde yıllara göre arazi değişimi. 52
Şekil 3.16: Model doğrulaması. 42

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1: 2012 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım dağılımı.	19
Tablo 3.2: Temel Gelişim Senaryosuna ait dönüşüm matrisi.	24
Tablo 3.3: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosuna ait dönüşüm matrisi.	25
Tablo 3.4: Ekolojik Alanları Koruma Senaryosuna ait dönüşüm matrisi.	25
Tablo 3.5: Komşuluk ağırlıkları.	26

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, kentleşme eğilimini beraberinde getirirken, bu durum arazi kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Kentleşmenin temel nedenlerinden biri olan nüfus artışı, kaynakların akılcı kullanımı ve sürdürülebilirliğin sağlanması açısından doğru kent planlamasını zorunlu hale getirmektedir. Ancak bu süreç, ekolojik sorunlara da yol açmakta ve geri dönüşü zor bir durum oluşturmaktadır.

Şehirlerin büyümesi ve kentleşmenin hızlanması, kentsel arazi kullanımında genişlemeye, ekili ve ekolojik arazi kullanımlarında azalmaya neden olmaktadır. Bu durum, ekosistem kaynaklarını korumak adına kentsel gelişim sınırlarının belirlenmesini gerektirir. İnsanın neden olduğu arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleri, küresel ısınmayı hızlandırarak ve biyolojik çeşitlilik kayıplarına neden olarak çevresel sorunları beraberinde getirmektedir **[Liu vd., 2017]**. Bu nedenle, uygun politika kararları almak için mevcut arazi kullanımını izlemek ve gelecekteki koşulları modellemek önemlidir.

Arazi kullanımı değişikliklerinin anlaşılması ve yönetilmesi için modelleme ve simülasyonlar kullanılmaktadır. Bu simülasyonlar, gelecekteki arazi kullanımını projelendirmek ve çevresel değişikliklerin etkilerini anlamak için önemlidir **[Verburg vd., 2002**]. Politika yapıcıların ve araştırmacıların mevcut arazi kullanımını izlemesi ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için uzaktan algılama yoluyla gelecekteki arazi kullanım koşullarını hızla modellemesi gerekmektedir. Mekansal-zamansal arazi kullanım değişimi simülasyonları, sosyo-ekonomik ve doğal çevresel yönlendirici güçlere göre gelecekteki alternatif peyzaj dinamiklerinin hem nedenlerini hem de sonuçlarını analiz etmek için etkili ve tekrarlanabilir araçlardır **[Liu vd., 2017]**.

Arazi kullanım değişim simülasyonlarının oluşturulması, hem çevresel hem de antropojenik etkilerin araştırılması, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir bir peyzaj için önemlidir. Modelleme, arazi kullanım sistemi içindeki etkileşimlerin kullanılmasıyla sistemin dinamiklerini ve olası gelecekteki gelişimini keşfetmek için bir araçtır. Arazi kullanımı değişim modelleri, yönlendirici faktörleri ve sistem dinamiklerini açığa çıkarmada bir öğrenme aracı olmanın yanı sıra, arazi kullanım sisteminde olası gelecekteki gelişmeleri keşfetmede önemli bir rol oynar. Modelleme

ile çeşitli senaryolara göre politika kararları veya toplumda meydana gelen gelişmeler sonucunda oluşabilecek alternatif arazi kullanımı yapılandırmalarının görselleştirilmesi mümkündür **[Verburg vd., 2006]**.

Arazi kullanım değişikliklerinin nerede, neden ve nasıl gerçekleştiğini anlamak, küresel sürdürülebilirlik sorunlarını ele almak için hayati önem taşır. Bu nedenle, çevresel yönetim ve arazi kullanım planlaması, arazi kullanımı dinamikleri hakkında bilgiye ihtiyaç duyar. Modeller, bu dinamikleri anlamak ve yönetim kararlarını hedeflemek için yakın gelecekteki arazi kullanımı yörüngelerini projelendirmede yardımcı olabilir.

Bölgesel düzeyde, arazi kullanımı değişiminin doğal kaynaklar üzerindeki etkileri, arazi kullanımı değişim analizi ve doğal kaynaklar üzerindeki etkileri değerlendirmek için özel modellerin bir kombinasyonu ile belirlenebilir. Mekansal olarak açıklayıcı yaklaşımlar genellikle hücresel otomatlar temel alınarak yapılmaktadır. Bu yapılar, arazi kullanımının komşulukta bulunan arazi kullanımı ve kullanımı etkileyen faktörlerle belirlenen bir dizi ilişki olarak değişimini simüle etmektedir **[Verburg vd., 2002]**.

Sonuç olarak, bölgesel düzeyde arazi kullanımı değişiminin etkilerini anlamak ve sürdürülebilir kalkınma için doğru kararlar almak için modelleme ve analizler gereklidir. Farklı arazi kullanımı politikaları altında bölgesel arazi kullanımı desenlerinin simüle edilmesi, bölgesel sürdürülebilir kalkınma ve ekolojik çevrenin optimize edilmesi açısından büyük öneme sahiptir **[Feng vd., 2021]**.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Kentsel büyüme, günümüzde hızlı ve düzensiz bir şekilde gerçekleşmekte olup, bu durum hem sosyal hem de çevresel açıdan çeşitli sorunları beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, doğru ve etkili kentsel planlama stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tezin amacı, kentsel büyüme simülasyonu kullanarak bir kentin gelecekteki gelişimini üç farklı senaryo üzerinden incelemektir. Çalışma kapsamında ele alınacak senaryolar; temel gelişim senaryosu, tarım alanlarını koruma senaryosu ve ekolojik alanların korunmasına dayalı senaryodur. Bu senaryolar, kentin farklı gelişim dinamiklerini ve stratejilerini temsil etmekte olup, her birinin kentsel alanlar

ve doğal çevre üzerindeki potansiyel etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmektedir. Bu kapsamda araştırmanın hedefleri şunlardır:

- Kentsel büyümeyi etkileyecek faktörlerin belirlenmesi ve model için uygun formata getirilmesi
- Temel gelişim senaryosuyla kentsel alanlardaki gelişimin yoğunluğunun ve yönünün belirlenmesi
- Tarım alanlarını koruma senaryosuyla kentsel alanlardaki gelişimin yoğunluğunun ve yönünün belirlenmesi
- Ekolojik alanları koruma senaryosuyla kentsel alanlardaki gelişimin yoğunluğunun ve yönünün belirlenmesi
- Çeşitli politikalarla arazi kullanımında meydana gelebilecek değişikliklerin belirlenmesi

Sonuç olarak, bu çalışma, kentsel planlama ve çevre koruma politikalarının gelecekteki kent gelişimine yönlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Elde edilecek bulgular, kentsel büyümenin olası senaryolarını ve bu senaryoların kentsel ekosistemler üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, planlayıcılar ve politika yapıcılar için değerli bir rehber olacaktır. Bu sayede, daha sürdürülebilir, yaşanabilir ve dirençli kentlerin inşasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olunacaktır.

1.2. Metodoloji

Çalışmada uygulama alanı olarak İstanbul'un Pendik ve Tuzla ilçeleri, Kocaeli'nin Darıca, Çayırova ve Gebze ilçeleri tercih edilmiştir. Arazi kullanımını etkileyecek faktörler belirlenip ArcGIS ortamında model için uygun formata getirilmiştir. Bu faktörler hücresel otomata tabanlı simülasyon modeli için yapay sinir ağları tabanlı oluşma olasılığı haritaları oluşturulmasında kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan doğal sit alanları, tabiat parkları, su kaynakları ve askeri bölge kısıtlı alan olarak hiçbir koşulda arazi değişimine izin verilmeyecek alanlar olarak belirlenmiştir. Simülasyon modeli için gerekli dönüşüm matrisi, komşuluk ağırlığı ve Markov Zincirleri yöntemiyle belirlenen gelecek için arazi kullanım talep miktarları belirlenmiştir. Bu parametreler kapsamında dönüşüm matrisi, gelecek için senaryo tabanlı simülasyon yapılması aşamasında senaryoların çeşitliliğini sağlayan faktör olarak kullanılmıştır. Temel gelişim senaryosu, tarım alanlarını koruma senaryosu ve ekolojik alanların korunmasına dayalı senaryolar geliştirilmiştir. Yönlendirici faktörler ile üretilmiş

oluşma olasılığı haritası ve belirlenen parametreler, FLUS hücresel otomata tabanlı simülasyon modeline girdi olarak eklenip çalışma alanı için 2024, 2030 ve 2036 yıllarına ait 3 farklı senaryoda arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur. Bu senaryolar sonucu oluşan haritalar ile ilçe bazında kentlerin gelişimine dair yorumlar yapılmıştır. Bu kapsamda tez çalışmasının iş akışı **Şekil 1.1**'de görülmektedir.



Şekil 1.1: Tez çalışması iş akışı.

1.3. Literatür Taraması

Literatür taraması kapsamında kentsel büyüme tahmin modelleri ve FLUS model ile ilgili yapılmış çalışmalar irdelenmiştir.

Zhang vd. çalışmasında kentsel büyüme modellerinin kullanım örüntülerini incelemiş ve 2000-2021 yılları arasında en çok kullanılan on kentsel büyüme modeli belirlenmiştir. Daha sonra, kentsel genişlemeyi simüle etmede yaygın olarak kullanılan SLEUTH, CA-Markov, FLUS, LUSD, LCM ve CLUE-S gibi altı kentsel büyüme modelinin performansı karşılaştırılmıştır. Altı modelin davranışları, model dokümantasyonundaki açıklamalara göre doğrulanmış ve veri gereksinimleri ile kullanıcı esnekliği analiz edilmiştir. Sonuçlar, modellerin doğrulama doğruluklarının girilen verilere göre değiştiğini ve bir modelin içsel bir doğruluğa sahip olmadığını göstermiştir. CA-Markov, FLUS, LUSD ve LCM doğrulanabilirken, CLUE-S ve SLEUTH bazı doğrulama kriterlerini karşılayamamıştır. SLEUTH, incelenen modeller arasında en yüksek girdi verisi gereksinimine sahipken; FLUS ve LCM, diğer modellere göre modellemede kullanıcıya daha yüksek esneklik sağlamaktadır **[Zhang, Kwan ve Yang, 2023]**.

Uysal vd., Afyonkarahisar ili için kentsel büyümenin belirlemesi amacıyla yaptığı çalışmada SLEUTH modelini kullanmıştır. Model için girdi veri olarak LANDSAT görüntülerinden kontrollü sınıflandırma ile elde ettikleri 1987 ve 2011 yıllarına ait arazi kullanımı verileri, yol, harici bölge, kentsel alan, eğim ve gölgeleme verileri kullanılarak 2030 yılına ait kentsel büyüme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Mevcut büyüme ve kontrollü büyüme adı altında iki farklı senaryo üzerinden kurgulanan simülasyonda, mevcut büyüme senaryosunda kentsel genişlemenin doğal alanlar üzerinde gerçekleşeceği, kontrollü büyüme senaryosunda ise büyümenin kent çeperlerinde gerçekleşeceği öngörülmüştür **[Uysal vd., 2020]**.

Hou vd., yaptıkları çalışmada Tarim Nehri Havzası'ndaki hızlı kentleşmenin bölgenin ekonomik gelişimi, arazi kullanım yapısı ve ekolojik sürdürülebilirliği üzerindeki etkilerini incelemiştir.1990 ve 2020 yılarındaki değişimi inceleyip CA-Markov modeli kullanarak 2030 yılına ait arazi kullanım değişikliklerini tespit etmişlerdir. Modelin doğruluğunu sağlamak için Kappa indeksi gibi yöntemler kullanılmış ve modelin Tarim Nehri Havzası'ndaki arazi kullanım değişikliklerini gerçekçi bir şekilde tahmin edebileceği sonucuna varılmıştır **[Hou vd., 2023]**.

Mamitimin vd. yaptıkları çalışmada FLUS modeline dayalı olarak 1980 ve 2020 yıllarına ait arazi kullanım verilerini kullanarak 2030 ve 2050 yıllarına ait simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Arazi kullanım verileri; tarım alanları, orman, otlak arazi, su yüzeyleri, kentsel arazi ve kullanılmayan alanlar olmak üzere altı sınıfa ayrılmıştır. Ayrıca itici faktör olarak yükseklik, eğim, yerleşim yerlerine yakınlık, otoyola yakınlık, demiryoluna yakınlık ve diğer yollarına yakınlık faktörleri kullanılmıştır. Temel Senaryo, Tarım Alanlarını Korumaya Yönelik Senaryo ve Ekoloji Koruma Senaryosu olmak üzere üç senaryo üzerinden simülasyonlar gerçekleştirilmiştir **[Mamitimin vd., 2023]**. Bu senaryoların geliştirilmesi modelde kullanılan maliyet matrisinde yapılan kısıtlamalarla belirlenmiştir.

Liu vd., 2010 ve 2015 yılları arazi kullanım verilerini kullanarak Yangtze Nehri Ekonomik Kuşağı'ndaki ekolojik alanları incelemiştir. Araştırma alanı için yapılan simülasyon çalışmalarında FLUS modelini kullanmışlar ve 2035 yılında bölgedeki ekolojik alanların durumunu tahmin etmişlerdir. Çalışmada arazi kullanım verileri altı sınıfa ayrılmıştır. Doğal ve sosyo-ekonomik olmak üzere iki grupta sınıflandırılmış 18 itici faktör kullanılmıştır. Dört farklı senaryo altında inceledikleri bölgede üretim alanı öncelikli senaryo ve yaşam alanı öncelikli senaryolarında ekolojik alanlarda azalma görülmüş, ekolojik alan öncelikli senaryo ve kapsamlı alan optimizasyon senaryosunda ise ekolojik alanlarda artış yaşanmıştır **[Xiaoqiong Liu vd., 2023]**.

Chen vd., Çin'in Pekin şehri için arazi kullanımının simüle edilmesi üzerine yaptıkları çalışmada FLUS modelini kullanmışlardır. 2008 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım verilerini kullanarak 2028 ve 2038 yılları için tahminde bulunmuşlardır. Arazi değişimini etkileyen faktörleri doğal, ekonomik ve sosyal olarak üç gruba ayırarak toplamda 12 faktör kullanmışlardır. Doğal gelişim, tarım arazisi koruma ve ekolojik kontrol olmak üzere üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Maliyet matrisi ve komşuluk ağırlıkları parametrelerindeki farklılıklar ile senaryolar belirlenmiştir **[Chen, He ve Wang, 2022]**.

Wang vd., FLUS modeli kullanarak kentsel gelişimin gelecekteki sınırlarının belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada 2009 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım verilerini kullanmışlar ve 2030 yılı için tahminde bulunmuşlardır. Çalışmada arazi kullanımı yedi sınıfa ayrılmış ve kentsel gelişimi etkileyen dokuz faktör girdi olarak verilmiştir **[Wang, Hu ve Zhang, 2021]**.

Canpolat ve Dağlı, 1990, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait CORINE verilerini kullanarak arazi kullanımında meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Sonrasında Markov Zincirleri yöntemiyle arazi kullanım projeksiyonu oluşturmuşlar ve FLUS modeli ile 2030 yılı için bir simülasyon çalışması yapıp sonuçları değerlendirmişlerdir **[Canpolat ve Dağlı, 2020]**.

Lin vd., kentsel su baskınlarına yatkın alanları öngörmek için maksimum entropi ve FLUS modelini birleştiren bir yaklaşım sunmuşlardır. Maksimum entropi yöntemi ile model için girdi veriler oluşturup sonrasında FLUS model ile gelecekteki su baskını için riskli alanları gösteren haritalar elde etmişlerdir. Bu çalışma, su baskını risklerini önleme stratejileri için önemli bir araç olarak görülmüştür **[Lin vd., 2022]**.

Yang vd., Çin'in Hangzhou kentinde ekolojik korumaya dayalı kentsel genişlemenin simüle edilmesi üzerine yaptıkları çalışmada FLUS modelini kullanmışlardır. 2000, 2010 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım verileri ve dokuz itici faktör kullanmışlardır. Doğal gelişim ve ekolojik koruma senaryoları ile 2030 yılına ait tahmini arazi kullanım haritaları oluşturmuşlardır **[Yang vd., 2021]**.

Luo ve Li, Çin'deki Yangtze Nehri Deltası ve Pearl Nehri Deltası için orman kaybının ve su kaynaklarının gelecekteki durumunu tespit etmek amacıyla 2008 ve 2013 yıllarındaki arazi kullanım verilerini kullanarak 2023 yılı için FLUS model ile bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Bu simülasyon modeline göre su veriminin tespiti için InVEST modelini kullanmışlardır **[Luo ve Li, 2019]**.

Xu vd., 2005 ve 2015 yılları arasındaki arazi kullanımının mekânsal desen değişimini analiz ederek, 2025 yılına dair doğal büyüme ve ekolojik koruma senaryoları altında arazi kullanım değişikliklerini tahmin etmek için Markov–FLUS bileşik modelini önermektedir. Bu çalışma, Xinjiang'ın ekolojik çevresinin sürdürülebilir gelişimi için karar destek sağlayabilecek önemli bulgular sunmaktadır **[Xu vd., 2021]**.

2. KENTSEL BÜYÜME

2.1. Temel Tanım ve Kavramlar

Kentsel büyüme, mekansal ve demografik bir süreçtir ve bir ekonomi ve toplum içindeki nüfusun yoğunlaşması olarak şehirlerin ve kasabaların öneminin artması anlamına gelir. Bu süreç, nüfus dağılımının büyük ölçüde köy ve kasaba yerleşimlerinden şehir ve kasaba yerleşimlerine dönüşmesiyle gerçekleşir **[Bhatta, 2010]**.

Şehirler nüfus olarak büyüdükçe, dışa doğru genişler, alan olarak büyür ve daha fazla araziyi kentsel kullanıma dönüştürür. Kentler, nüfus artışını hem mevcut alanlarının yoğunlaştırılması hem de kırsal çevrelerine doğru genişlemesi yoluyla karşılar. Son yıllarda, nüfus artışının çoğu kentsel genişleme yoluyla karşılanmıştır. Kentsel büyüme, belirli bir dönemde hem kentsel taleplerin hem de ilgili mekansal faktörlerin bir sonucudur.

Kentsel büyüme, şehirlerin mekansal ayak izlerinin çevredeki kırsal alanlara doğru fiziksel genişlemesi olarak tanımlanır. Angel ve diğerleri (2012) bu genişleme sürecinin başlangıçta parçalı olduğunu ve bazen boş açık alanların üzerinden atlayarak gerçekleştiğini, ancak kentsel sınırdaki bu boş alanların dışa doğru genişleme devam ettikçe yavaş yavaş dolduğunu ortaya koymuştur.

Kentsel büyüme için plan yapmamak, bir şehrin üretken, kapsayıcı ve sürdürülebilir bir şekilde büyüme yeteneğini tehlikeye atacaktır. Kentsel büyümeyi düzgün bir şekilde karşılayamama durumu ise birkaç olumsuz sonuca yol açabilir **[Angel, 2023]**. Bunlar;

- Düzensiz ve plansız kentsel çevre yerleşimi
- Aşırı kalabalıklaşma ve karşılanamaz konut maliyetleri
- Uygun düzenleme ve sokak, drenaj çalışmaları ve kamu tesisleri için gayri resmi yerleşimlerin çoğalması
- Kentlerdeki iş piyasasına kırsal alanları bağlayan ana arter yolların eksikliği
- Korunması gerekli doğal alanların işgali
- Kamu açık alanlarının yetersizliği

Kentsel büyümenin düzensiz ve plansız bir şekilde gerçekleşmesi, şehirleri daha az üretken, daha az kapsayıcı, daha az dayanıklı ve daha az sürdürülebilir hale getirmektedir.

2.2. Kentsel Büyümeyi Etkileyen Faktörler

Şehirler, karmaşık arazi kullanım desenleri ile tanımlanır ve kentsel aktivitelerin karmaşık birleşimi olarak düşünülebilir. Kentsel alanlar, çeşitli birimlerin bir karışımını oluşturur, ancak bu birimlerin ilişkilerinin derecesi ve doğası bazen zor anlaşılır. Kentsel arazi kullanım dinamikleri, aynı zamanda kentsel alanda bireylerin, kamu ve özel şirketlerin eşzamanlı hareketlerinin doğrudan sonucudur. Sonuç olarak şehirler, bu etkilerin zaman içinde sürekli olarak şehri şekillendirmeye katkıda bulunan mekansal sonucudur.

Mekansal karar verme biliminde kentsel faaliyetler için beş farklı arazi kullanım tahsis faktörleri tanımlanmıştır **[Barredo vd., 2003]**. Bunlardan birincisi çevresel özelliklerdir. Bu özellikler, kentsel büyüme için eğimler ve akarsular gibi doğal eşikler olarak nitelendirilebilir.

İkinci faktör grubu, Tobler'in coğrafya kanunuyla ilişkili olan komşuluk özellikleridir. "Her şey başka her şeyle ilişkilidir, ancak yakın şeyler uzak şeylerden daha fazla ilişkilidir **[Tobler, 1970]**." Arazi kullanım desenleri genellikle arazi kullanım dinamikleri için en güçlü etkiyi temsil etmektedir. Yeni özelliklerin mevcut arazi kullanımlarına olan mesafesi ve bu arazi kullanımlarının türü yerel ölçekte kentsel dinamikleri yönlendirir. Yeni konut alanlarının genellikle mevcut konut alanlarının yakınında veya bitişiğinde büyüdüğünü düşünmek mantıklıdır. Ancak diğer arazi kullanımlarından da etkilenirler.

Üçüncü faktör grubu, şehirlerin mekansal özellikleriyle ilgilidir. Bu gruba şehir merkezine uzaklık, erişilebilirlik, akışlar veya ulaşım ağları gibi faktörler dahildir. Örneğin yol ağındaki yeni bağlantılar, kentsel arazi kullanımları için yönlendirici olabilir.

Dördüncü faktör grubu, kentsel ve bölgesel planlama politikalarıyla ilgilidir. Çeşitli ölçeklerdeki plan kararları aracılığıyla arazi kullanımları, zaman içinde farklı arazi kullanım türlerine dönüşebilir.

Beşinci faktör grubu, bireysel tercihler, ekonomik gelişmişlik düzeyi ve sosyo-ekonomik ve politik sistemlerle ilgili faktörleri içerir. Bu faktörler anlaşılması ve modellenmesi en karmaşık olanlardır. Ayrıca çoğu durumda niteliksel olan, zaman içinde evrilen ve bu nedenle tahmin edilmesi zor veya neredeyse imkansız olan insan karar verme süreçleriyle ilgilidir. Örneğin, yeni bir konut alanı, diğer yerlere göre daha güzel olduğu için bir yere yerleştirilebilir.

Şehirleri karmaşık sistemler olarak incelerken, kritik nokta, parçaların toplamının kentsel morfolojiye karşılık gelmesi, bütünün ise kentsel desenlerin dinamikleriyle temsil edilmesidir. Bu perspektiften dinamikler, şehirleri bütünsel bir perspektiften incelemek için anahtar kelime haline gelir. Bu yaklaşımla kentsel modeller, diğer yeteneklerin yanı sıra, ortaya çıkan sistemlerin öz-örgütlenme özelliklerini modelleyebilmek için geri beslemeleri ele alabilmelidir.

Bir şehrin karmaşık bir sistem olarak büyümesini anlamak farklı perspektiflerden geniş bir şekilde ele alınabilir. Örneğin nüfus artışı, arazi kullanım yoğunluğunun artışı ve şehir tarafından işgal edilen alanın genişlemesi olarak ifade edilebilir.

Doğal çevre ve insan faaliyetlerinin kolektif olarak kentsel alanı şekillendirdiği görüşü altında, çoğu nicel araştırmada mekansal faktörler ve sosyo-ekonomik faktörler temel iki boyut olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, modelleme sürecinde mahalli faktörler ve politika etkisi de dahil edilmektedir. Ayrıca, şehir zamanla büyüdükçe kentsel genişlemenin sürücü faktörleri değişmektedir. Şehir büyümesinin erken aşamalarında, konumla ilgili faktörler ve sitelerin fiziksel koşulları daha etkilidir ve zamanla diğer faktörler şehir alanının şeklini giderek daha fazla belirlemeye başlamaktadır **[Li vd. 2018]**.

2.3. Kentsel Büyüme Tahmin Modelleri

Kentsel büyüme modelleri, kentsel genişlemeyi ve bunun çevresel etkilerini incelemek için geliştirilmiş ve geniş çapta benimsenmiştir. Bu modeller, kentsel politika oluşturma veya gelişim senaryolarının analizlerinde kullanılabilir **[Li ve Gong, 2016]**.

Kentsel büyümeyi simüle etmek ve gelecekteki senaryoları öngörmek, kentsel planlamacılar için kritik öneme sahiptir. Son yirmi yılda, birçok yeni kentsel büyüme modeli geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu modeller, metodolojileri ve ilkeleri açısından çeşitlilik gösterir ve farklı kentsel sorunlara hitap eder.

Kent büyümesi, küresel çevresel değişimin temel bir bileşeni haline geldikçe, şehir alanlarının nasıl evrildiğini ve gelecekteki gelişmelerin olası yönlerini anlama konusunda bir ihtiyaç vardır. Farklı zaman periyotlarında arazi kullanım değişikliklerini gözlemlemeyi içeren mekansal değişim tespit teknikleri, şehir büyüme desenlerini ve eğilimlerini anlama konusunda önemli bir rol oynamaktadır **[Musa vd., 2017]**. Bu çalışmada kentsel büyüme modelleri 3 grup içerisinde incelenmiştir.

2.3.1. Makine Öğrenimi Yaklaşımları

Makine öğrenimi yaklaşımları, arazi kullanım değişikliklerini ve bu değişikliklerin meydana gelmesi muhtemel yerlerin özellikleri arasındaki ilişkiyi öngören algoritmalara dayanır. Bu modeller, genellikle uzaktan algılama verilerine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak hesaplanan mekansal göstergelere dayanır. Bu göstergeler arasında yollar ve şehirlere olan mesafe, toprak özellikleri, eğim, yükseklik, nüfus ve ekonomik çıktı gibi faktörler bulunur.

Bu modeller, genellikle ekonomik teoriye dayanmaz, ancak istatistiksel teknikler kullanarak arazi kullanım değişikliği ile sürücüler arasındaki ilişkiyi belirler.

2.3.2. Hücresel Otomata Tabanlı Modeller

Hücresel otomatlar, kentsel büyüme ve arazi kullanımı değişikliklerini modellemek için yaygın olarak kullanılan güçlü araçlardır. Bu modeller, basitlikleri, esneklikleri ve sezgisellikleri nedeniyle tercih edilir ve çeşitli coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile kolayca entegre edilebilir. Hücresel otomat modelleri, özellikle uzaktan algılama verilerinden elde edilen iki boyutlu hücre ızgaraları üzerinde çalışır. Her hücre, belirli bir arazi kullanımını temsil eder ve komşu hücrelerin değerleri ve önceki durumu ile belirli bir geçiş kuralları setine göre gelecekteki durumu belirlenir.

Hücresel otomat modellerinin temel bileşenleri hücreler, komşuluk kuralları ve geçiş kurallarıdır. Her hücre, bir şehir içindeki herhangi bir bölgesel coğrafya ile ilişkilendirilebilir: arazi parselleri, idari sınırlar, trafik analiz bölgeleri vb. Hücrelerin durumu, önceki durumu ve komşu hücrelerin durumu ile belirli geçiş kuralları setine göre değişir **[Li ve Gong, 2016]**. Geçiş kuralları, kentsel büyümeyi simüle etmek için önemli olup, kentsel CA modelinin önemli bir parçası olarak farklı büyüme dönemlerine uyum sağlayacak şekilde güncellenebilir olmalıdır.

Kentsel büyüme simülasyonunda hücresel otomatların kullanımı, geçmiş kentsel gelişmelerin gelecekteki desenleri arazi kullanımları arasındaki yerel etkileşimler yoluyla etkilediği varsayımına dayanır. Bu modeller, mevcut kentsel arazi kullanımları, yol ağları, çeşitli tesislerin konumu ve altyapı tesislerinin mevcudiyeti gibi gerçek dünya verilerine dayanır ve bu veriler modelleme senaryosuna entegre edilebilir. Hücresel otomata modellerinin kentsel büyüme simülasyonunda ilgi çekici olmasının nedenleri arasında basitlikleri, esneklikleri, sezgisellikleri ve şeffaflıkları yer alır. Bu modeller, çeşitli çözünürlüklerde kare hücrelerden oluşan bir hücre alanı kullanır ve bu hücreler, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile kolayca entegre edilebilir **[Santé vd., 2010]**.

Hücresel otomatların CBS ile entegrasyonu, kentsel modellemeyi iyileştirmek için yeni ufuklar açmaktadır. CBS, çeşitli mekansal gerçek dünya verilerinin entegrasyonu ve yönetimi için başlıca bir çerçeve olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, CBS'yi yalnızca bir modelleme aracı olarak kullanmanın sınırlı modelleme işlevleri ve zamansal veri kümelerini işleme konusundaki kısıtlamaları nedeniyle şüpheyle karşılandığı görülmüştür(Maithani, 2010). Buna rağmen, CBS ve hücresel otomatanın birleşimi, her iki tekniğin avantajlarından yararlanmak için güçlü bir çift olarak kullanılabilir. CA'nın dinamik gücü ile CBS'de bulunan etkili mekansal temsilin entegrasyonu, kentsel büyüme gibi bir fenomenin gerçekçi temsilini sağlamak için faydalı olabilir **[Maithani, 2010]**.

2.3.3. Ajan Tabanlı Modeller

Ajan tabanlı modeller, arazi kullanımı değişikliklerini ve bu değişikliklerle ilişkili süreçleri ve etkileşimleri temsil etmek için geliştirilmiştir **[Brown vd., 2013]**. Bu modeller, bireysel ajanların karar verme süreçlerine ve bu süreçlerin toplu sonuçlarına odaklanır. Ajanlar, kendi kontrolleri altındaki, amaç odaklı ve belirli hedeflere ulaşmak için etkileşime giren varlıklar olarak kabul edilmektedir **[Parker vd., 2003]**.

Ajan tabanlı modeller, ekonomik teoriye dayanır ve esneklik göstererek farklı teorileri ve karar verme süreçlerini içerebilir **[Brown vd., 2013]**. Bu modeller, yerel düzeyde ajanların gerçek arazi kullanımı kararlarına dayanan bir süreç tabanlı alttan yukarı yaklaşım olarak kabul edilmektedir.

Ajan tabanlı modeller, karar alma mekanizmalarını açıklamak için oyun teorisini kullanır, çünkü ajanların eylemleri hem kendi eylemleri hem de diğer ajanların eylemleriyle ilişkilidir.

Hücresel modellerle ajan tabanlı modellerin birleştirilmesi, arazi kullanımı/örtüsü modellemesi için umut verici bir yaklaşımdır **[Parker vd., 2003]**. Hücresel modelleme, bir sistemin fiziksel ve ekolojik yönlerini temsil ederken, ABM insan karar alma süreçlerini temsil eder.

Sonuç olarak, ajan tabanlı modeller bireylerin karar alma süreçlerini ve bu süreçlerin kolektif sonuçlarını simüle etmek için güçlü araçlardır. Bu modeller, geniş kapsamlı saha araştırmaları ve anketlerden elde edilen verilere dayalı olarak hazırlanır ve yerel düzeydeki karar alma süreçlerini anlamak için kullanılır **[Ustaoglu ve Aydinoglu, 2019]**. Model doğrulaması, gözlemlenen arazi kullanımı değişiklikleri ile model çıktılarının karşılaştırılmasına dayanır.

2.4. FLUS (Future Land Use Simulation) Model

FLUS (Future Land Use Simulation) modeli, doğal çevre ve insan faaliyetlerinin etkisi altında arazi kullanım değişimini ve gelecekteki arazi kullanım senaryolarını simüle etmek için kullanılmaktadır. Li X. Team tarafından geliştirilen model gelecekteki arazi kullanımı değişiklik senaryosu simülasyon araştırmaları için uygundur **[Liang vd., 2018; Liu vd., 2017]**.

Bu model, temel olarak yapay sinir ağı algoritması (YSA) ve hücresel otomata (HO) algoritmalarını kullanmaktadır. Bu durum, modelin işleyişi için iki bölüm gerektirdiğini göstermektedir. Birincisi, yapay sinir ağı algoritması tabanlı oluşma olasılığı haritalarının belirlenmesidir. İkincisi ise, araştırma alanındaki arazi kullanımı türlerinin değişimlerini hücresel otomata kullanarak simüle etmektir.

Kolaylığı ve yüksek doğruluğu nedeniyle FLUS modeli, kentsel genişleme ve arazi kullanımı değişikliği araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır **[Wang vd., 2021]**. FLUS modeli yüksek simülasyon doğruluğuna sahiptir ve gerçek arazi kullanım dağılımı ile benzer sonuçlar elde edebilir **[Liu vd., 2021]**. Modelin uygulanmasında açık kaynak kodlu GeoSOS-FLUS yazılımı kullanılmaktadır **[Web 1]**.

Ekolojik alanların gelecekteki durumlarının araştırılmasında **[Xiaoqiong vd., 2023; Yang vd., 2021]**, şehirleşme ile birlikte gerçekleşen orman kaybının belirlenmesinde

[Luo ve Li, 2019], kentsel arazi kullanımlarının gelecekteki dağılımının belirlenmesinde **[Mamitimin vd., 2023]**, kentsel büyüme sınırlarının belirlenmesinde **[Wang vd., 2021]**, kentsel su baskını tehlikesi altındaki alanlarının gelecek arazi örtüsünün belirlenmesinde **[Lin vd., 2022]**, arazi kullanımlarında meydana gelebilecek değişikliklerin farklı senaryolar altında değerlendirilmesinde **[Chen vd., 2022], [Xu vd., 2021]** FLUS model kullanılmaktadır.

2.4.1. Yapay Sinir Ağı Modeline Dayalı Uygunluk Olasılığı Hesaplaması

Yapay Sinir Ağları (YSA), çeşitli doğrusal olmayan coğrafi problemlerin analizi ve modellemesi için başarıyla uygulanmış olan biyolojik sinir ağlarından esinlenerek geliştirilmiş bir makine öğrenimi modelidir. YSA, bir giriş katmanı, bir veya daha fazla gizli katman ve bir çıkış katmanını içeren çok katmanlı bir ileri beslemeli sinir ağıdır. Bu yöntem, hesaplama doğruluğunu etkili bir şekilde artırmada kanıtlanmıştır **[Feng ve Chen, 2023]**.

$$sp(p,k,t) = \sum_j w_{j,k} \times \frac{1}{1 + e^{-[\sum_i w_{i,j} \times x_i(p,t)]}} \quad (2.1)$$

Hesaplama işlemine ilişkin formülde (2.1) $sp(p,k,t)$, k arazi tipinin p gridinde t zamanında ortaya çıkma olasılığını temsil etmektedir.

$w_{j,k}$, gizli katmandan çıktı katmanına kadar olan ağırlık değeridir.

$w_{i,j}$ giriş katmanından gizli katmana kadar olan ağırlık değeridir.

$x_i(p,t)$, girdi katmanındaki i değişkeni ile t zamanındaki p gridi arasındaki ilişki fonksiyonudur.

Uygunluk olasılığı hesaplama süreci, araştırma döneminin başında yönlendirici faktörlerin ve arazi kullanım verilerinin belirlenmesini içerir. YSA modeli daha sonra çok sayıda hesaplama ve döngü yinelemesi yoluyla aralarındaki karmaşık ilişkiye uyum sağlar.

2.4.2. Hücresel Otomata Tabanlı Arazi Kullanım Simülasyonu

Hücresel otomata, bir pikselin durumunu başlangıç durumuna, çevresindeki komşuluk etkilerine ve bir dizi geçiş kuralına göre tahmin ederek arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliğini simüle etmek için yaygın olarak kullanılan basitleştirilmiş yöntemlerdir **[Liu vd., 2017]**. Hücresel otomatlar, bir bölgedeki pikselleri bir grid üzerinde temsil ederler. Her piksel, belirli bir arazi kullanım veya örtü tipini temsil eder. Ardından, bu hücrelerin komşuluk etkileşimlerine dayalı olarak belirli geçiş kurallarına tabi tutularak, gelecekteki durumları tahmin edilir. Bu şekilde, zaman içinde arazi kullanım değişikliğinin nasıl gerçekleşebileceği görselleştirilebilir ve analiz edilebilir.

$$TProb_{p,k}^{t} = sp(p,k,t) \times \frac{\sum_{N\times N} con(c_p^{t-1} = k}{N \times N - 1} \times w_k \times Inertia_k^t \times (1 - sc_{c\to k)} \quad (2.2)$$

İlgili formülde (2.2);

$TProb_{p,k}^{t}$ p gridinin t zamanında k kara tipine dönüştürülmesinin toplam olasılığıdır.

$\sum_{N\times N} con(c_p^{t-1} = k)$, mahalle ağırlığının son yinelemesinden sonra k arazi kullanım tipindeki gridlerin toplam sayısıdır.

w_k, her arazi tipinin komşuluk etkisi ağırlığıdır.

$Inertia_k^t$, arazi tipinin t zamanındaki uyarlanabilir atalet katsayısıdır.

$sc_{c\to k}$, c tipi araziden k tipi araziye dönüşüm maliyetidir.

FLUS modeli, her bir arazi gridin değişme olasılığını tahmin etmek için YSA ile üretilmiş oluşma olasılığı haritasını, dönüşüm matrisini, komşuluk ağırlıklarını ve arazi kullanım talebini parametre olarak alır ve hesaplar **[Feng ve Chen, 2023]**.

Modelde kullanılan parametreler 3 alt başlık altında incelenebilir.

2.4.2.1 Arazi Kullanım Talebi (Land Use Demand)

Arazi kullanım talebi, bir bölgedeki arazi kullanımının gelecekteki değişimini etkileyen önemli bir faktördür. Arazi kullanım planlaması ve yönetimi süreçlerinde, arazi kullanım talebinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve yönetilmesi önemlidir. Bu, bölgesel kalkınma stratejilerinin, çevresel sürdürülebilirlik çabalarının ve toplumun genel refahının sağlanması için kritik bir adımdır.

FLUS model arazi kullanım talebinin belirlenmesi için Markov Zincir modelini kullanmaktadır. Markov zincirleri, gelecekteki durumların belirlenmesinde geçmiş durumların bilgisini kullanarak bir süreci modellemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir.

Markov zincir modeli, $(t+1)$'deki bir arazi kullanım tipinin durumunun yalnızca t'deki arazi kullanım tipinin durumu ile ilgili olduğunu varsayarak arazi kullanımı değişikliklerini simüle etmek için çalışmalarda kullanılır. Formülde (2.3) $S(t)$, $S(t+1)$ çalışma alanının t'deki arazi kullanım tipi durum matrisidir, $(t+1)$; Pab, a tipinden b tipine dönüşüm için transfer olasılık matrisini temsil eder **[Chen vd., 2022]**.

$$S(t+1) = Pab \times S(t) \tag{2.3}$$

2.4.2.2 Dönüşüm Matrisi (Cost Matrix)

Arazi kullanım sınıfları arasında dönüşüm olup olmayacağına karar vermek için 0 ve 1 değerleri kullanılır. 1 değeri dönüşüme izin verilen alanları, 0 değeri ise izin verilmeyen alanları temsil eder. Bu değerler, arazi kullanımında çeşitli senaryoların oluşturulmasında belirleyici rol oynar. Her arazi kullanım türü için belirlenen karar kuralları, arazi kullanım türünün bir sonraki zaman adımında değişmesine izin verilme koşullarını belirler. Bu kurallar, birçok hücrenin sahip olduğu arazi kullanımı yapısındaki istikrarı sağlamak için belirli arazi kullanım türlerine direnç kazandırmak amacıyla uygulanır.

2.4.2.3 Komşuluk Ağırlıkları (Weight of Neighborhood)

[0, 1] eşik değer aralığı ile komşuluk faktörü parametreleri, bir arazi tipinin genişleme gücünü veya her bir arazi tipinin dış etkenlere yanıt olarak kendini genişletme kapasitesini ifade eder. 1'e yakın değer, arazi tipinin daha güçlü genişleme kapasitesini ifade eder **[Liu vd., 2019]**.

2.4.3. Model Doğrulama Araçları

Kappa katsayısı, arazi kullanım simülasyonlarının doğruluğunu değerlendirmek için en sık kullanılan ve iyi bilinen doğrulama göstergeleridir **[Mamitimin vd., 2023]**.

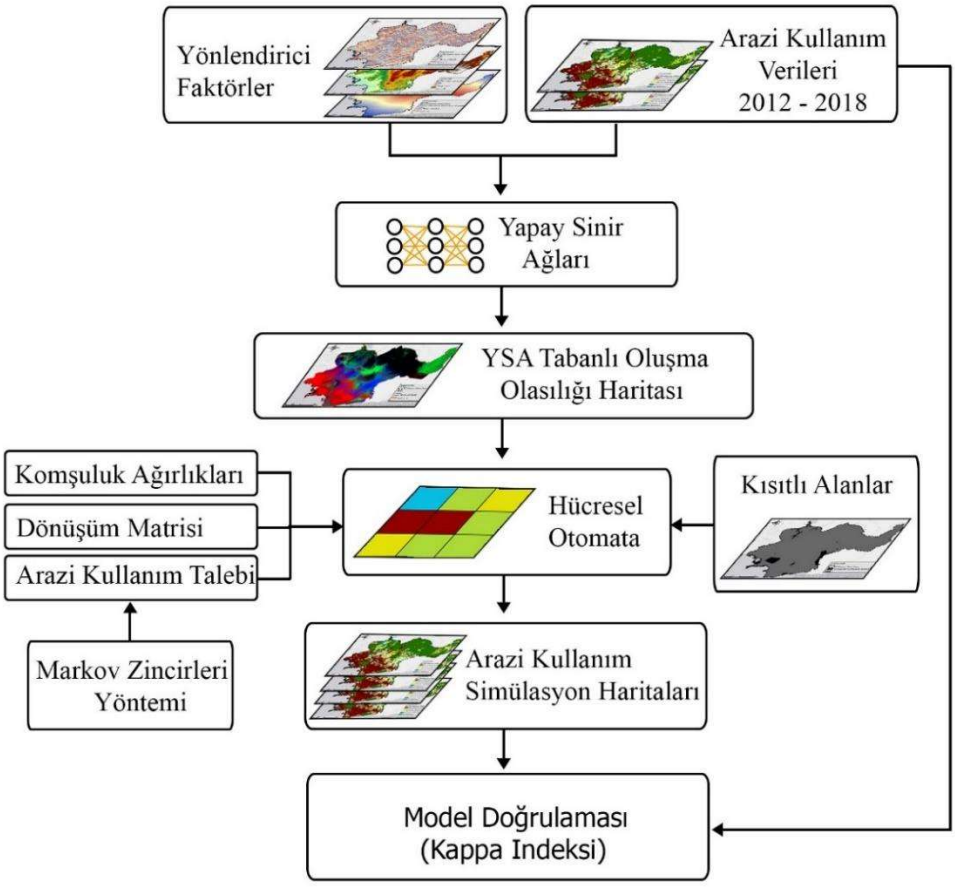
FLUS modelde simülasyon bulgularının doğruluğunu kontrol etmek için Kappa katsayısı aracı kullanılmaktadır.

Kappa katsayısı, simüle edilmiş arazi kullanımı sonucu ile gerçek arazi kullanımı dağılımı arasındaki model tutarlılığını yansıtmaktadır. Yüksek bir kappa katsayısı, yüksek bir simülasyon doğruluğunu göstermektedir. Formül (2.4) şu şekilde ifade edilmiştir:

$$Kappa = \frac{(p_0 - p_e)}{(1 - p_e)} \tag{2.4}$$

Burada p_0 gözlenen, p_e ise beklenen arazi kullanımı oranlarıdır.

FLUS Modele genel olarak baktığımızda iş akış şemasını **Şekil 2.1**'de görebiliriz.

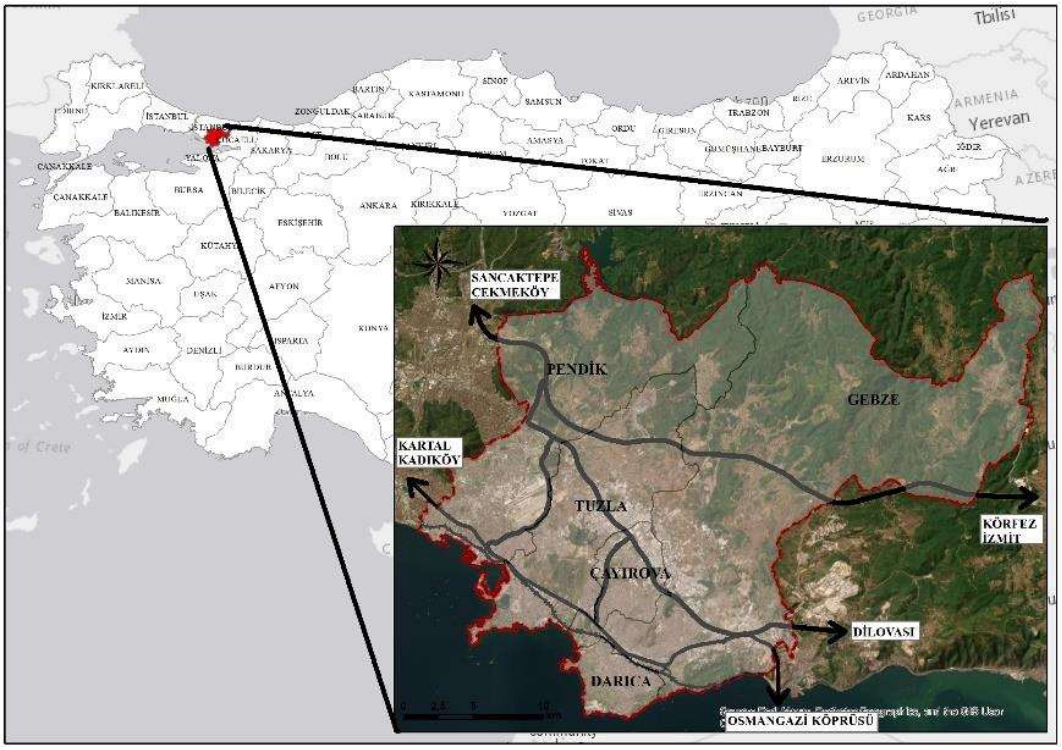


Şekil 2.1: FLUS Model iş akışı.

3. UYGULAMA

3.1. Çalışma Alanı

İstanbul'un Anadolu Yakası'nda yer alan Pendik ve Tuzla ilçeleri ile Kocaeli'nin Gebze, Darıca ve Çayırova ilçeleri, sanayi, ticaret ve lojistik açısından büyük öneme sahip bir bölge oluşturur. Bu alan, stratejik konumuyla üretim, depolama ve lojistik faaliyetler için tercih edilen bir merkez konumundadır. Toplamda 77497,57 hektarlık bir alanı kapsamaktadır.



Şekil 3.1: Çalışma alanı.

Bu bölgeler, İstanbul ve Kocaeli'nin sanayi ve konut açısından en önemli ve hızlı gelişen alanları arasında yer almaktadır. Ulaşım ağlarının gelişmişliği, sanayi tesisleri ve modern konut projeleri ile bu bölgeler, bölgesel kalkınmanın önemli merkezleri olarak öne çıkmaktadır.

3.2. Veri Setlerinin Hazırlanması

3.2.1. Arazi Kullanım Verileri

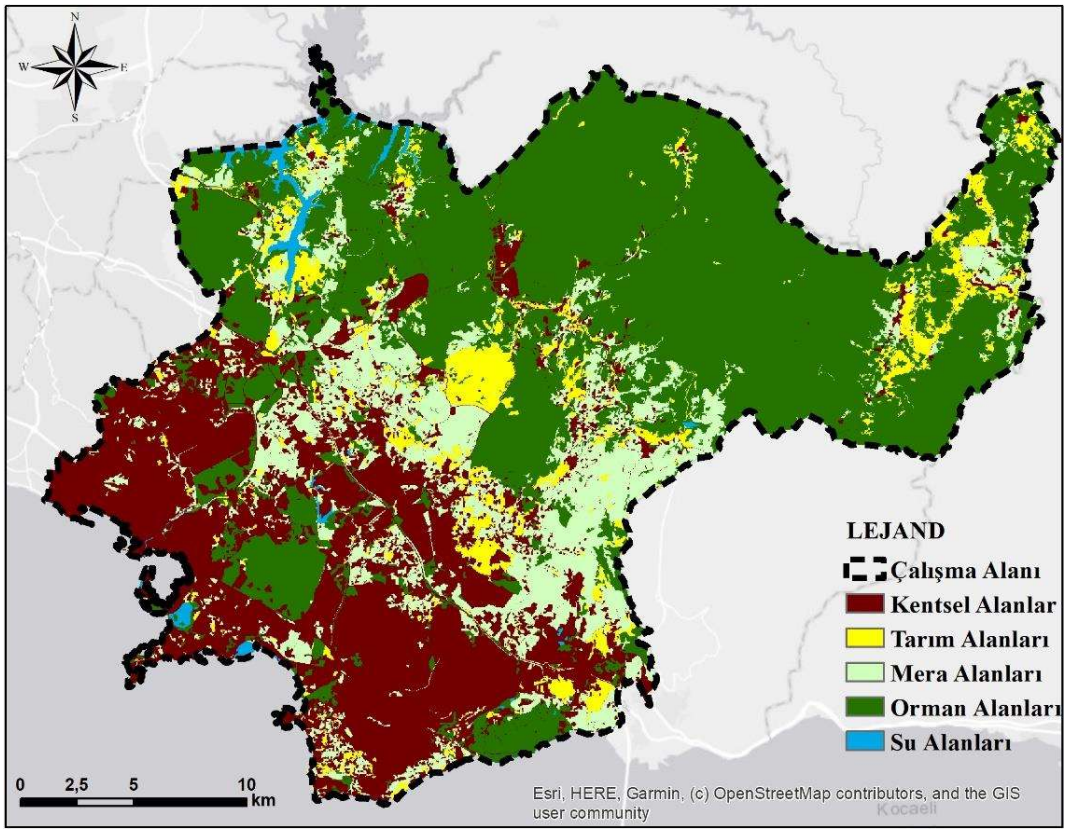
Çalışma kapsamında iki döneme ait arazi kullanım verileri kullanılması gereklidir. Bu bağlamda, çalışma alanına ait 2012 ve 2018 yılına ait Urban Atlas verileri kullanılmıştır.

Urban Atlas verileri, 2006 yılından bu yana Türkiye dahil olmak üzere çeşitli Avrupa ülkeleri için Avrupa Çevre Ajansı tarafından üretilen büyük kentsel alanları kapsayan verilerdir. Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) Urban Atlas verileri, yarı otomatik ve manuel olarak düzenlenmiş, zenginleştirilmiş ve geliştirilmiş CORINE verilerinden üretilmekte ve Copernicus Arazi İzleme Servisi veri portalında sunulmaktadır **[Web 2]**. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, özellikle kentsel alanlardaki büyüme ve zamansal değişiklikleri belirlemek için önemlidir. Bu nedenle, çözünürlüğü CORINE verilerinden 100 kat daha yüksek olan Urban Atlas verilerinin kullanılması, arazi kullanım değişim çalışmaları için daha doğru sonuçlar sağlayabileceği söylenebilir **[Aksoy vd., 2022]**. Urban Atlas'tan sağlanan arazi kullanım verileri modelde kullanılmak üzere 5 üst gruba toplanmıştır. Bunlar kentsel alanlar, tarım alanları, mera alanları, orman alanları ve su alanları. Gruplandırılmış arazi kullanım haritaları **Şekil 3.2** ve **Şekil 3.3**'de görülmektedir.

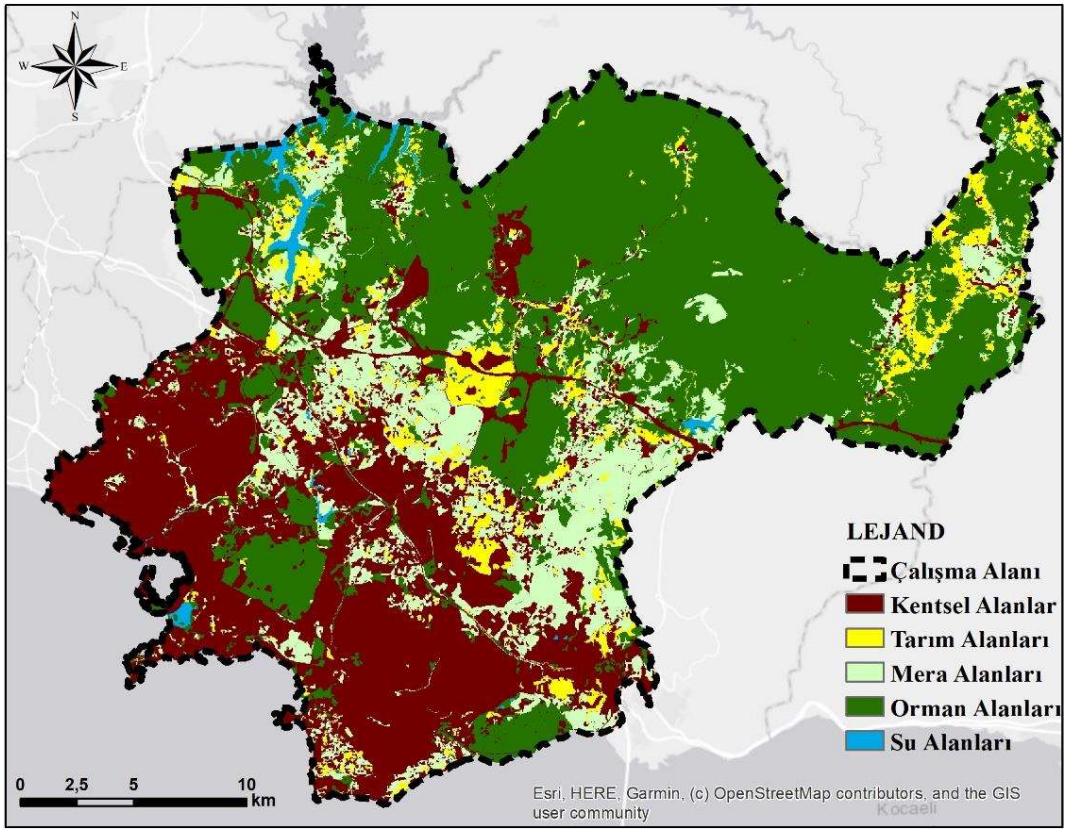
Tablo 3.1: 2012 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım dağılımı.

Yıllar	Kent	Tarım	Mera	Orman	Su
2012	20863,85	5471,77	12629,6	37634,21	898,14
2018	23833,52	5052,19	11799,39	35933,85	878,61

Genel çalışma alanında 2012 ile 2018 yılları arasındaki arazi kullanımı verilerini incelediğimizde kent alanları, 20,863.85 hektardan 23,833.52 hektara yükselerek %14.23'lük bir artış göstermiştir. Tarım alanları ise 5,471.77 hektardan 5,052.19 hektara düşerek %7.67 oranında azalmıştır. Mera alanları 12,629.60 hektardan 11,799.39 hektara gerileyerek %6.57 oranında azalma yaşamıştır. Orman alanları 37,634.21 hektardan 35,933.85 hektara inerek %4.52 oranında azalmıştır. Su alanları ise 898.14 hektardan 878.61 hektara düşerek %2.17 oranında azalmıştır. Bu arazi gruplarına ait dağılımlar **Tablo 3.1**'de belirtilmiştir.



Şekil 3.2: 2012 yılına ait Urban Atlas verisi.



Şekil 3.3: 2018 yılına ait Urban Atlas verisi.

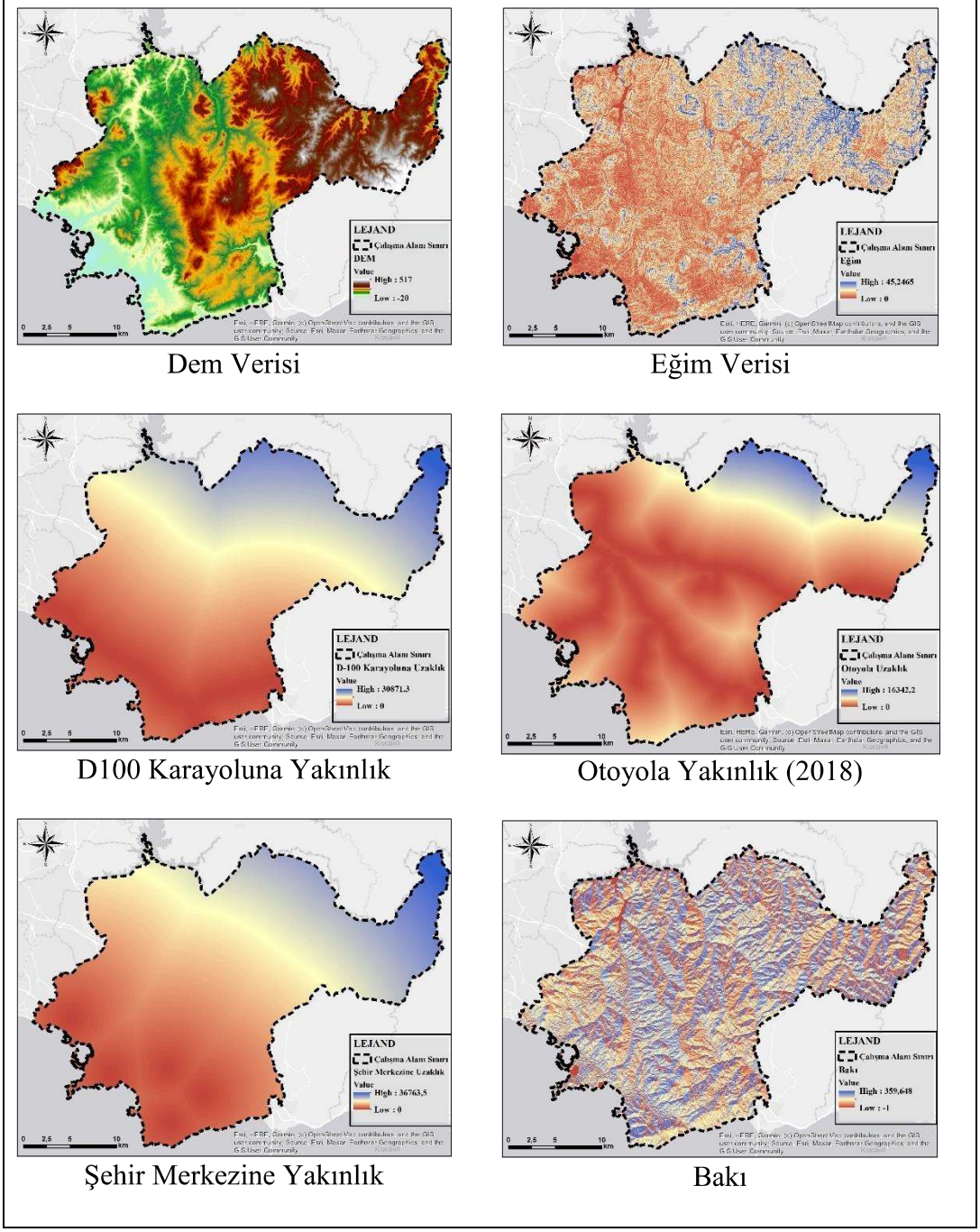
3.2.2. Yönlendirici Faktörler

Çalışma alanına ait dijital yükseklik modeli (DEM) verisi indirildikten (Web 3) sonra, bu veriler kullanılarak eğim ve bakı haritaları oluşturulmuştur. Bu işlem, arazinin topografik özelliklerini belirlemek ve analiz etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Eğim haritası, arazinin eğim oranlarını gösterirken, bakı haritası, arazinin hangi yöne baktığını gösterir.

Şehir merkezine uzaklık, otoyola uzaklık, karayoluna uzaklık ve demiryoluna uzaklık gibi veriler ise ArcGIS yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu veriler, Euclidean Distance aracı kullanılarak hesaplanmıştır. Euclidean Distance aracı, her bir hücreden belirli bir noktaya olan düz çizgi mesafesini hesaplar. Bu sayede, çalışma alanının farklı ulaşım ve yerleşim noktalarına olan mesafeleri belirlenmiştir.

Tüm bu veriler, WGS_1984_UTM_Zone_35N koordinat sistemine göre koordinatlandırılmış ve 30x30 metre çözünürlükte raster veri formatına dönüştürülmüştür. Bu adım, verilerin tutarlı bir mekansal referansa sahip olmasını ve analizler sırasında uyumlu bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Verilerin raster formatında olması, mekansal analizlerin daha kolay ve hızlı yapılmasına olanak tanır.

Elde edilen bu veriler, uygunluk olasılığı haritası oluşturmak için yapay sinir ağı sistemine girdi veri olarak kullanılmıştır. Girdi veriler **Sekil 3.4**'de gösterilmektedir.



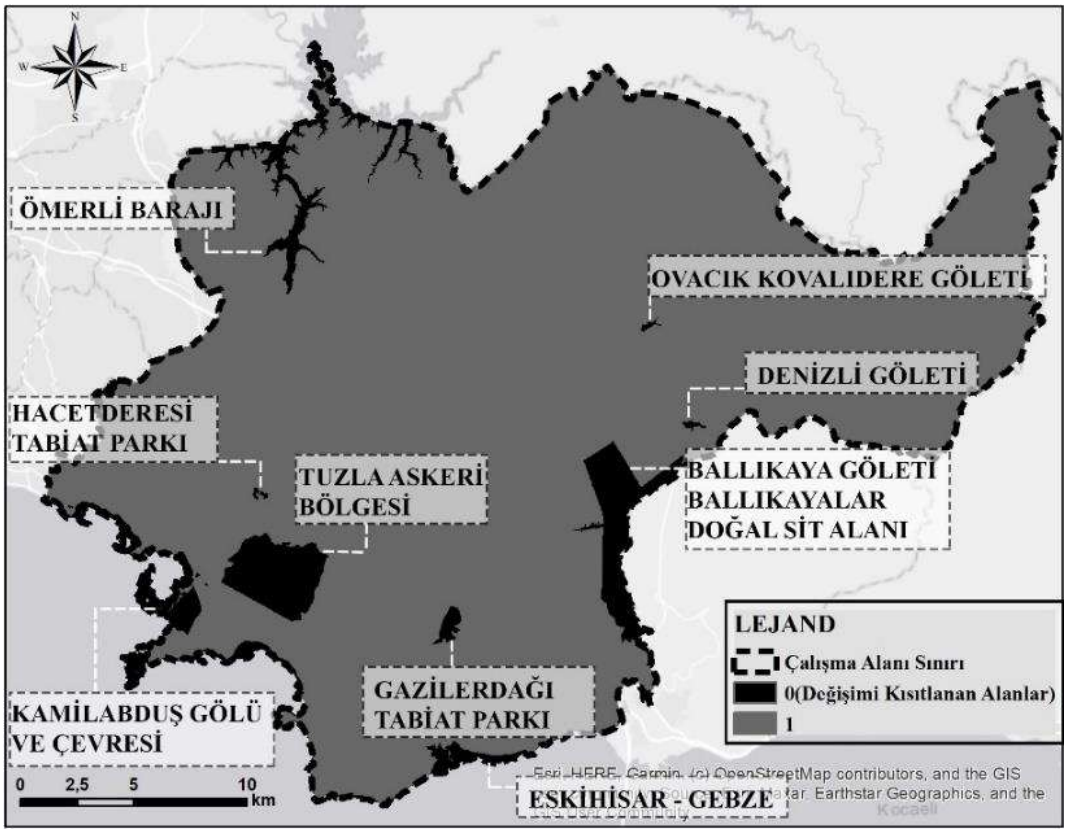
Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan yönlendirici faktörler.

3.2.3. Kısıtlı Alanlar

Çalışmada kullanılan bir diğer veri simülasyonda değişimine izin verilmeyecek alanların belirlendiği veridir. Çalışma alanı içerisinde kalan bölgenin önemli su kaynaklarından biri olan Ömerli Barajı, bölgenin su ihtiyacını karşılayan temel

kaynaklardan biridir ve çevresel denge açısından büyük öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, Ovacık Kovalıdere Göleti, Denizli Göleti ve Ballıkaya Göleti de su kaynakları olarak stratejik bir öneme sahiptir ve bu alanlar değişime izin verilmeyen bölgeler olarak belirlenmiştir. Bu karar, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Doğal Sit Alanı kategorisinde yer alan Kamil Abduş Gölü ve Çevresi, bölgenin biyolojik çeşitliliğini koruma açısından büyük öneme sahiptir. Aynı şekilde, Ballıkayalar Doğal Sit Alanı ve Eskihisar-Gebze Batısı (2. Etap) da doğal yaşam alanlarını koruma amacıyla önemli bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu alanların korunması, ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve doğal mirasın gelecek nesillere aktarılması açısından hayati bir rol oynamaktadır.



Şekil 3.5: Çalışma kapsamında arazi değişimine izin verilmeyen alanlar.

Bunun yanı sıra, Tabiat Parkı ilan edilen Gazilerdağı ve Hacetderesi alanları da bu koruma bölgesi içerisinde yer almaktadır. Bu alanlar hem doğal güzellikleri hem de ekolojik değerleri ile dikkat çekmektedir. Bölgeye ait kısıtlı alanlar **Sekil 3.5**'te gösterilmektedir.

3.3. Senaryoların Oluşturulması ve Parametrelerin Belirlenmesi

Şehirlerdeki gelecekteki arazi kullanım değişiklikleri, farklı kısıtlamalardan etkilenir ve arazi kullanım değişikliklerini modellemelerinde dikkate alınır. Böylece şehirlerin gelecekteki gelişme eğilimi, kentsel genişleme yoğunluğu ve yönü model tahminlerinde kontrol altına alınabilir. Bu çalışmada temel olarak dönüşüm matrislerinde yapılan kısıtlamalar ile senaryolar oluşturulmuştur. Bu kısıtlamalar yapılırken temelde bazı kabuller ele alınmıştır. Örneğin bazı arazi kullanım türlerinin, ilk dönüşümünden sonra başka bir arazi kullanım türüne dönüştürülmeleri çok olası değildir. Bir tarım alanı kentleştirildiğinde, tarıma geri dönmesi veya orman örtüsüne dönüştürülmesi beklenmez. Bu arazi kullanımı tarafından kaplanan konumlar, potansiyel arazi kullanımı değişiklikleri için artık değerlendirilmez. Bu çalışmada bütün senaryolarda kent alanlarının başka arazi kullanım türlerine kısıtlanmıştır. Çalışma kapsamında temel gelişim senaryosu, tarım arazisi koruma senaryosu ve ekolojik alanları koruma senaryosu oluşturulmuştur. Eğitim örneği olarak 2018'deki arazi kullanım verileri kullanılarak, arazi kullanım değişikliğini etkileyen 6 yönlendirici faktör yapay sinir ağı eğitimi için girildi. FLUS model ile 2024, 2030 ve 2036 yıllarına ait arazi kullanım haritaları oluşturuldu.

Temel gelişim senaryosu kapsamında, çalışma alanının kentsel gelişimi sadece normal koşullar altında simüle edildi. Bu senaryo için oluşturulan dönüşüm matrisi **Tablo 3.2**'de görülmektedir.

Tablo 3.2: Temel Gelişim Senaryosuna ait dönüşüm matrisi.

	Kent	**Tarım**	**Mera**	**Orman**	**Su**
Kent	1	0	0	0	0
Tarım	1	1	1	1	0
Mera	1	1	1	1	0
Orman	1	1	1	1	0
Su	0	1	1	1	1

Tarım alanlarını koruma senaryosu, çalışma alanında bulunan tarım arazilerini koruma uygulamalarının ve sürdürülebilir tarımsal gelişim için gerekli olan ekili arazi miktarı ve kalitesini korumak için yönetim çabalarını artırmak gerektiğini vurgulamaktadır. Bu senaryo altındaki arazi kullanım modellemesi, kentsel gelişim için planlama

yaparken ekili arazinin korunmasına öncelik verirken ilgili yetkililer için referans oluşturabilir. Bu senaryo için oluşturulan dönüşüm matrisi **Tablo 3.3**'de görülmektedir.

Tablo 3.3: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosuna ait dönüşüm matrisi.

	Kent	**Tarım**	**Mera**	**Orman**	**Su**
Kent	1	0	0	0	0
Tarım	0	1	0	0	0
Mera	1	1	1	1	0
Orman	1	1	1	1	0
Su	0	1	1	1	1

Ekolojik kontrol senaryosu kapsamında, ekolojik kontrol bölgeleri ekosistemin sürekliliğini koruyabilir ve kent yayılmasını engelleyebilirken şehrin doğal ekosistemini korumak amaçlanmıştır. Doğal gelişim koşulları altında düşünülen ekolojik kontrol bölgelerinin korunması temel alınarak, bahsedilen mevcut ekolojik alanlar, dağlar, ormanlar, nehirler ve göller gibi önemli ekolojik değerlere sahip olan ve yasal olarak korunan su koruma alanları, doğa rezervleri ve manzara noktaları gibi alanlar ekolojik kontrol bölgeleri olarak belirlendi. Gelecekteki arazi kullanımı değişiklikleri, ekolojik alanın azaltılmayacağı ve işlevlerinin azaltılmayacağı prensibini takip ederek modellendi. Bu senaryo, kentsel ölçekte ve ekolojik desenlerin gelişimini koordine edebilir, böylece ekolojik kaliteyi artırabilir ve sürdürülebilir kentsel gelişimi gerçekleştirebilir. Bu senaryo için oluşturulan dönüşüm matrisi **Tablo 3.4**'de görülmektedir.

Tablo 3.4: Ekolojik Alanları Koruma Senaryosuna ait dönüşüm matrisi.

	Kent	**Tarım**	**Mera**	**Orman**	**Su**
Kent	1	0	0	0	0
Tarım	0	1	1	1	0
Mera	0	1	1	1	0
Orman	0	1	1	1	0
Su	0	1	1	1	1

Komşuluk ağırlığı parametresi, arazi kullanım türünün genişleme yeteneğinin gücünü gösterir ve parametre 0 ile 1 arasında değişir. Değer 1'e ne kadar yakınsa, arazi kullanım türünün genişlemesi o kadar güçlüdür. Bu çalışmada, ilgili literatür referansı **[Chen vd., 2022]** temel alınarak ve çeşitli denemelerden sonra her arazi kullanım türü için komşuluk ağırlığı parametreleri **Tablo 3.5**'teki haliyle belirlenmiştir.

Tablo 3.5: Komşuluk ağırlıkları.

	Kent	**Tarım**	**Mera**	**Orman**	**Su**
Komşuluk Ağırlıkları	0.8	0.4	0.6	0.6	0.2

3.4. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.4.1. Pendik İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları

Pendik ilçesi için 2018, 2024, 2030 ve 2036 yıllarını kapsayan üç farklı senaryo altında kent, tarım, mera, orman ve su alanlarının hektar cinsinden büyüklükleri analiz edilmiştir. Her bir senaryo, gelecekte arazi kullanımının nasıl şekilleneceğine dair farklı yaklaşımlar sunmaktadır.

Temel gelişim senaryosu, mevcut trendlerin devam ettiği ve planlı bir müdahalenin olmadığı durumu yansıtır. 2018 yılında 6534 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 7274 hektara, 2030 yılında 7941 hektara ve 2036 yılında 8680 hektara yükselmektedir. Bu, Pendik'te hızla artan kentleşme trendini göstermektedir. Tarım alanları ise 2018 yılında 946 hektardan, 2024'te 815 hektara, 2030'da 760 hektara ve 2036'da 713 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında %25'lik bir azalma öngörülmektedir. Mera alanları 2018'de 1643 hektardan, 2024'te 1419 hektara, 2030'da 1341 hektara ve 2036'da 1273 hektara düşmektedir. Bu, mera alanlarında %22 oranında bir azalma anlamına gelir. Orman alanları 2018'de 8742 hektar iken, 2024'te 8342 hektara, 2030'da 7810 hektara ve 2036'da 7188 hektara düşmektedir. Orman alanlarında %18'lik bir azalma söz konusudur. Su alanlarında ise küçük bir azalma görülmektedir. 2018 yılında 652 hektar olan su alanı, 2036 yılında 645 hektara düşmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.6**'da gösterilmektedir.

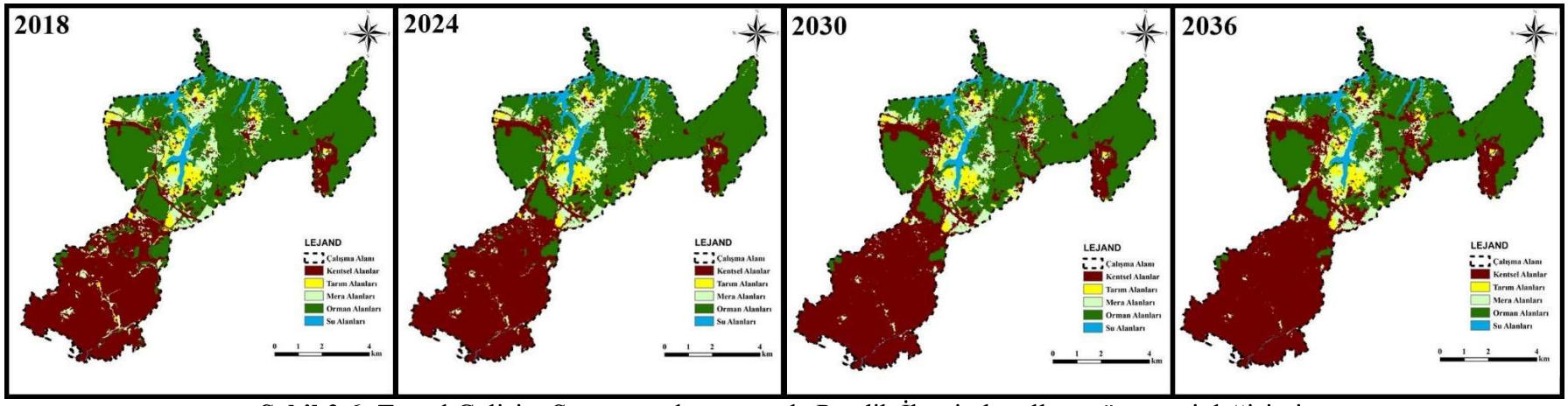
Tarım alanlarının koruma senaryosu kapsamında arazi kullanım durumlarını incelediğimizde kent alanları 2018'de 6534 hektardan, 2024'te 7150 hektara, 2030'da

7717 hektara ve 2036'da 8412 hektara yükselmektedir. Kentleşme hızı, temel senaryoya göre biraz daha yavaş ancak yine de belirgindir. Tarım alanları 2018'de 946 hektardan, 2024'te 943 hektara, 2030'da 941 hektara ve 2036'da 939 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında temel senaryoya kıyasla daha az bir azalma öngörülmektedir. Mera alanları 2018'de 1643 hektardan, 2024'te 1421 hektara, 2030'da 1352 hektara ve 2036'da 1270 hektara düşmektedir. Azalma oranı temel senaryo ile benzerdir. Orman alanları 2018'de 8742 hektardan, 2024'te 8335 hektara, 2030'da 7842 hektara ve 2036'da 7231 hektara düşmektedir. Orman alanlarındaki azalma yine belirgindir. Su alanları 2018'de 652 hektardan, 2024'te 650 hektara, 2030'da 647 hektara ve 2036'da 646 hektara düşmektedir. Azalma oranı çok küçük olup temel senaryo ile benzerdir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.7**'de gösterilmektedir.

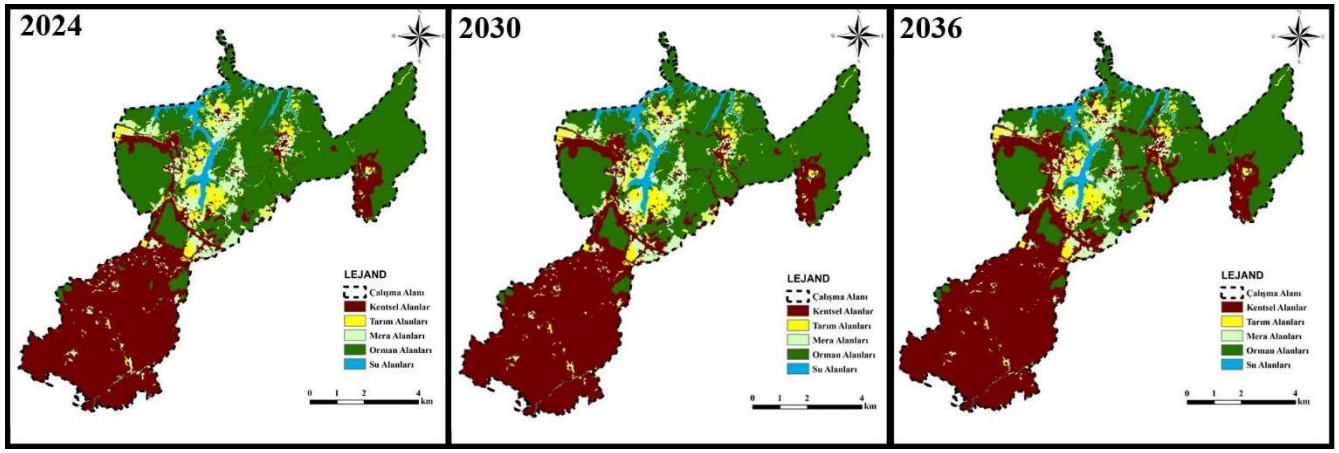
Ekolojik alanları koruma senaryosu, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan bir yaklaşımdır. Kent alanları 2018'de 6534 hektardan, 2024'te 6526 hektara, 2030'da 6527 hektara ve 2036'da 6527 hektara hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu, kentleşmenin sıkı bir şekilde kontrol altında tutulduğunu göstermektedir. Tarım alanları 2018'de 946 hektardan, 2024'te 902 hektara, 2030'da 980 hektara ve 2036'da 964 hektara çıkmaktadır. Bu senaryoda, tarım alanlarının korunması ve artırılması hedeflenmektedir. Mera alanları 2018'de 1643 hektardan, 2024'te 1517 hektara, 2030'da 1474 hektara ve 2036'da 1479 hektara çıkmaktadır. Ekolojik senaryoda mera alanlarında artış öngörülmektedir. Orman alanları 2018'de 8742 hektardan, 2024'te 8905 hektara, 2030'da 8870 hektara ve 2036'da 8880 hektara düşmektedir. Orman alanlarının korunması ve artışının sağlanması hedeflenmektedir. Su alanları 2018'de 652 hektardan, 2024'te 648 hektara, 2030'da 648 hektara ve 2036'da 648 hektara düşmektedir. Azalma oranı çok küçük olup, su kaynaklarının korunması hedeflenmektedir.

Genel olarak, Pendik ilçesinde temel gelişim senaryosunda kent alanlarının genişlemesinin öncelikle mevcut kent yerleşimleri arasında kalan tarım, mera ve orman alanlarında olduğu gözlemlenmektedir. Tarım alanlarını koruma senaryosunda ise alan içerisindeki tarım alanları korunmuş ve kentleşme diğer arazi kullanım türlerinde gerçekleşmiştir. Ekolojik alanları koruma senaryosunda ise getirilen dönüşüm sınırlılıkları nedeniyle ufak değişiklikler olmuştur. Kentleşmenin genel olarak Kuzey Marmara Otoyolu çevresinde yoğunlaştığı ve bu süreçte Kurna, Ballıca

ve Emirli Mahalleleri ile Sultanbeyli ilçesine bağlanan bölgelerde kentsel alanların arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.6: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Pendik İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.



Şekil 3.7: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Pendik İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.

3.4.2. Tuzla İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları

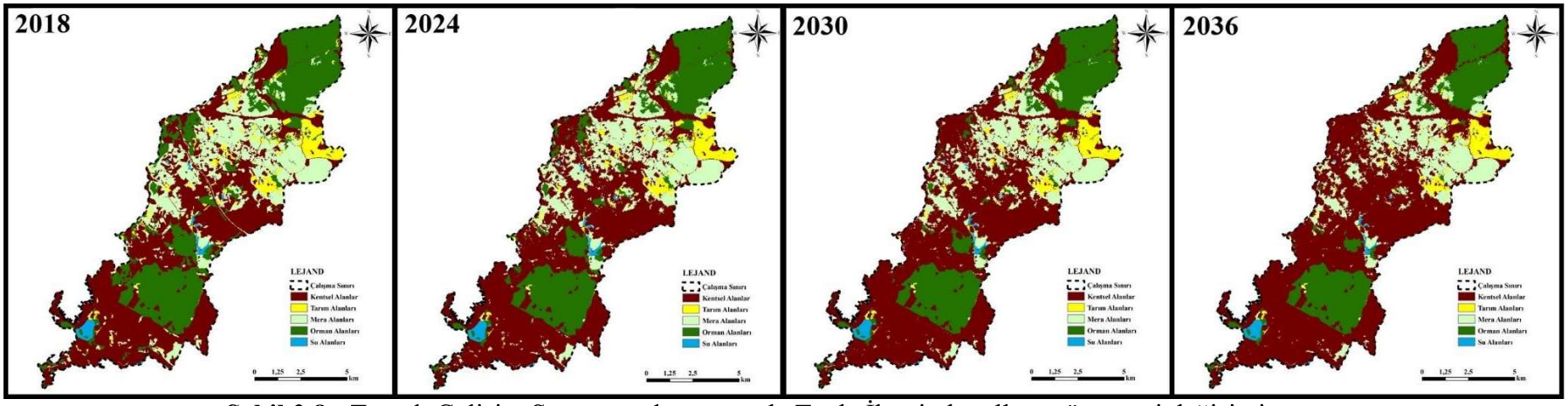
Tuzla ilçesi için 2018, 2024, 2030 ve 2036 yıllarını kapsayan üç farklı senaryo altında kent, tarım, mera, orman ve su alanlarının hektar cinsinden büyüklükleri analiz edilmiştir. Her bir senaryo, gelecekte arazi kullanımının nasıl şekilleneceğine dair farklı yaklaşımlar sunmaktadır.

Temel gelişim senaryosu, mevcut trendlerin devam ettiği ve planlı bir müdahalenin olmadığı durumu yansıtır. 2018 yılında 5500 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 6225 hektara, 2030 yılında 6790 hektara ve 2036 yılında 7375 hektara yükselmektedir. Bu, Tuzla'da hızla artan kentleşme trendini göstermektedir. Tarım alanları ise 2018 yılında 670 hektardan, 2024'te 597 hektara, 2030'da 550 hektara ve 2036'da 491 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında %27'lik bir azalma öngörülmektedir. Mera alanları 2018'de 2814 hektardan, 2024'te 2624 hektara, 2030'da 2469 hektara ve 2036'da 2199 hektara düşmektedir. Bu, mera alanlarında %22 oranında bir azalma anlamına gelir. Orman alanları 2018'de 3471 hektar iken, 2024'te 3001 hektara, 2030'da 2646 hektara ve 2036'da 2396 hektara düşmektedir. Orman alanlarında %31'lik bir azalma söz konusudur. Su alanlarında ise küçük bir azalma görülmektedir. 2018 yılında 136 hektar olan su alanı, 2036 yılında 117 hektara düşmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.8**'de gösterilmektedir.

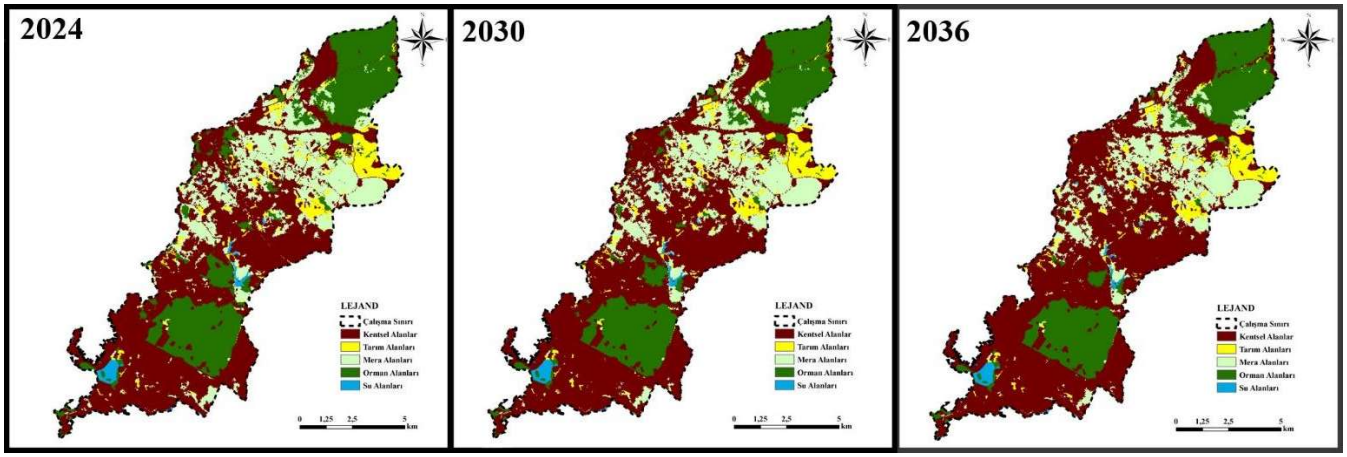
Tarım alanlarını koruma senaryosu, tarım alanlarının korunmasına yönelik bir yaklaşımı yansıtır. Kent alanları 2018'de 5500 hektardan, 2024'te 6176 hektara, 2030'da 6676 hektara ve 2036'da 7131 hektara yükselmektedir. Kentleşme hızı, temel senaryoya göre biraz daha yavaş ancak yine de belirgindir. Tarım alanları 2018'de 670 hektardan, 2024'te 670 hektara, 2030'da 669 hektara ve 2036'da 669 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında temel senaryoya kıyasla daha az bir azalma öngörülmektedir. Mera alanları 2018'de 2814 hektardan, 2024'te 2610 hektara, 2030'da 2436 hektara ve 2036'da 2228 hektara düşmektedir. Azalma oranı temel senaryo ile benzerdir. Orman alanları 2018'de 3471 hektardan, 2024'te 2994 hektara, 2030'da 2673 hektara ve 2036'da 2433 hektara düşmektedir. Orman alanlarındaki azalma yine belirgindir. Su alanları 2018'de 136 hektardan, 2024'te 128 hektara, 2030'da 124 hektara ve 2036'da 118 hektara düşmektedir. Azalma oranı çok küçük olup temel senaryo ile benzerdir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.9**'da gösterilmektedir.

Ekolojik alanları koruma senaryosu, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan bir yaklaşımdır. Kent alanları 2018'de 5500 hektardan, 2024'te 5484 hektara, 2030'da 5483 hektara ve 2036'da 5483 hektara hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu, kentleşmenin sıkı bir şekilde kontrol altında tutulduğunu göstermektedir. Tarım alanları 2018'de 670 hektardan, 2024'te 657 hektara, 2030'da 668 hektara ve 2036'da 665 hektara çıkmaktadır. Bu senaryoda, tarım alanlarının korunması ve artırılması hedeflenmektedir. Mera alanları 2018'de 2814 hektardan, 2024'te 2871 hektara, 2030'da 2892 hektara ve 2036'da 2894 hektara çıkmaktadır. Ekolojik senaryoda mera alanlarında artış öngörülmektedir. Orman alanları 2018'de 3471 hektardan, 2024'te 3438 hektara, 2030'da 3408 hektara ve 2036'da 3410 hektara düşmektedir. Orman alanlarının korunması ve artışının sağlanması hedeflenmektedir. Su alanları 2018'de 136 hektardan, 2024'te 128 hektara, 2030'da 127 hektara ve 2036'da 126 hektara düşmektedir. Azalma oranı çok küçük olup, su kaynaklarının korunması hedeflenmektedir.

Genel olarak Tuzla ilçesindeki değişime bakıldığında kuzeybatısında Anadolu Otoyolu ile Pendik ilçesine bağlandığı noktada kentsel alanlarda yoğunlaşma görülmüştür. Ayrıca Kuzey Marmara Otoyolu çevresinde de bir yoğunlaşma görülmektedir. İlçede bulunan Tuzla Askeri Bölgesi, Hacetderesi Tabiat Parkı, Kamil Abduş Gölü ve çevresi dönüşüme izin verilmeyen alan olarak belirtildiğinden bu alanlarda bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 3.8: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Tuzla İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.



Şekil 3.9: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Tuzla İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.

3.4.3. Gebze İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları

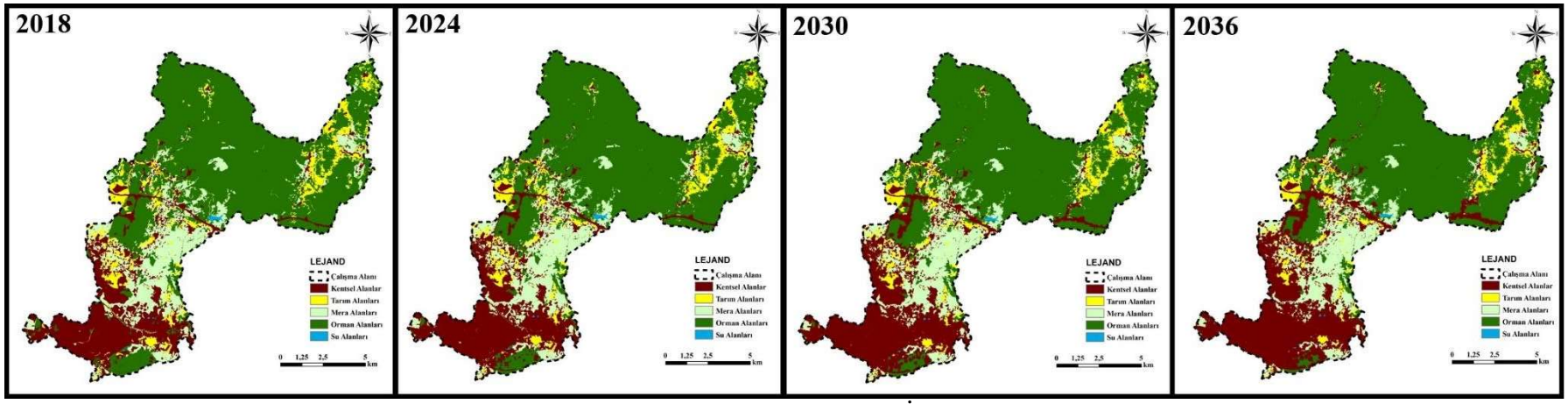
Gebze ilçesi için 2018, 2024, 2030 ve 2036 yıllarını kapsayan üç farklı senaryo altında kent, tarım, mera, orman ve su alanlarının hektar cinsinden büyüklükleri analiz edilmiştir. Her bir senaryo, gelecekte arazi kullanımının nasıl şekilleneceğine dair farklı yaklaşımlar sunmaktadır.

Temel gelişim senaryosu, mevcut trendlerin devam ettiği ve planlı bir müdahalenin olmadığı durumu yansıtır. 2018 yılında 7785 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 8581 hektara, 2030 yılında 9644 hektara ve 2036 yılında 10645 hektara yükselmektedir. Bu, Gebze'de hızla artan kentleşme trendini göstermektedir. Tarım alanları ise 2018 yılında 3259 hektardan, 2024'te 3098 hektara, 2030'da 2889 hektara ve 2036'da 2682 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında %18'lik bir azalma öngörülmektedir. Mera alanları 2018'de 6566 hektardan, 2024'te 6393 hektara, 2030'da 6156 hektara ve 2036'da 5963 hektara düşmektedir. Bu, mera alanlarında %9 oranında bir azalma anlamına gelir. Orman alanları 2018'de 23431 hektar iken, 2024'te 22946 hektara, 2030'da 22344 hektara ve 2036'da 21751 hektara düşmektedir. Orman alanlarında %7'lik bir azalma söz konusudur. Su alanlarında ise küçük bir azalma görülmektedir. 2018 yılında 78 hektar olan su alanı, 2036 yılında 53 hektara düşmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.10**'da gösterilmektedir.

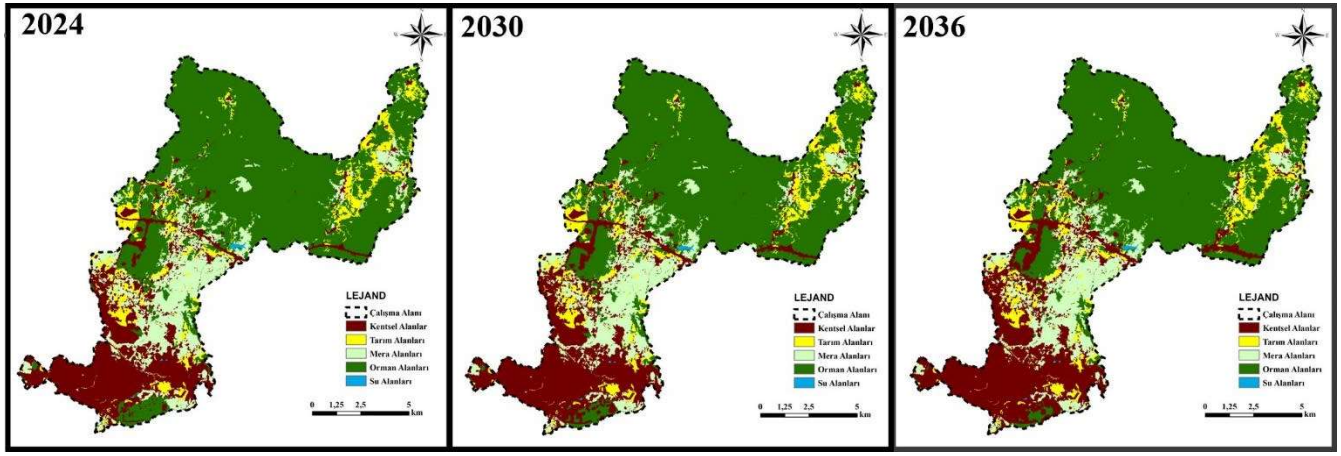
Tarım alanlarını koruma senaryosu, tarım alanlarının korunmasına yönelik bir yaklaşımı yansıtır. Kent alanları 2018'de 7785 hektardan, 2024'te 8400 hektara, 2030'da 9319 hektara ve 2036'da 10151 hektara yükselmektedir. Kentleşme hızı, temel senaryoya göre biraz daha yavaş ancak yine de belirgindir. Tarım alanları 2018'de 3259 hektardan, 2024'te 3290 hektara, 2030'da 3297 hektara ve 2036'da 3296 hektara çıkarak artış göstermektedir. Tarım alanlarında temel senaryoya kıyasla bir artış öngörülmektedir. Mera alanları 2018'de 6566 hektardan, 2024'te 6384 hektara, 2030'da 6146 hektara ve 2036'da 5934 hektara düşmektedir. Azalma oranı temel senaryo ile benzerdir. Orman alanları 2018'de 23431 hektardan, 2024'te 22953 hektara, 2030'da 22273 hektara ve 2036'da 21658 hektara düşmektedir. Orman alanlarındaki azalma yine belirgindir. Su alanları 2018'de 78 hektardan, 2024'te 66 hektara, 2030'da 59 hektara ve 2036'da 54 hektara düşmektedir. Azalma oranı çok küçük olup temel senaryo ile benzerdir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.11**'de gösterilmektedir.

Ekolojik alanları koruma senaryosu, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan bir yaklaşımdır. Kent alanları 2018'de 7785 hektardan, 2024'te 7744 hektara, 2030'da 7745 hektara ve 2036'da 7745 hektara hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu, kentleşmenin sıkı bir şekilde kontrol altında tutulduğunu göstermektedir. Tarım alanları 2018'de 3259 hektardan, 2024'te 3276 hektara, 2030'da 3399 hektara ve 2036'da 3431 hektara çıkmaktadır. Bu senaryoda, tarım alanlarının korunması ve artırılması hedeflenmektedir. Mera alanları 2018'de 6566 hektardan, 2024'te 6382 hektara, 2030'da 6336 hektara ve 2036'da 6351 hektara çıkmaktadır. Ekolojik senaryoda mera alanlarında artış öngörülmektedir. Orman alanları 2018'de 23431 hektardan, 2024'te 23624 hektara, 2030'da 23549 hektara ve 2036'da 23503 hektara çıkarak artış göstermektedir. Orman alanlarının korunması ve artışının sağlanması hedeflenmektedir. Su alanları 2018'de 78 hektardan, 2024'te 68 hektara, 2030'da 64 hektara ve 2036'da 63 hektara düşmektedir. Azalma oranı çok küçük olup, su kaynaklarının korunması hedeflenmektedir.

Genel olarak Gebze ilçesindeki değişime bakıldığında Kuzey Marmara Otoyolu çevresinde de bir yoğunlaşma görülmektedir. Ayrıca ilçenin güneyinde yer alan Tübitak Marmara Araştırma Merkezi çevresindeki ormanlık arazinin kentsel alana çevrildiğini görmekteyiz.



Şekil 3.10: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Gebze İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.



Şekil 3.11: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Gebze İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.

3.4.4. Çayırova İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları

Çayırova ilçesi için 2018, 2024, 2030 ve 2036 yıllarını kapsayan üç farklı senaryo altında kent, tarım, mera, orman ve su alanlarının hektar cinsinden büyüklükleri analiz edilmiştir. Her bir senaryo, gelecekte arazi kullanımının nasıl şekilleneceğine dair farklı yaklaşımlar sunmaktadır. İşte her bir

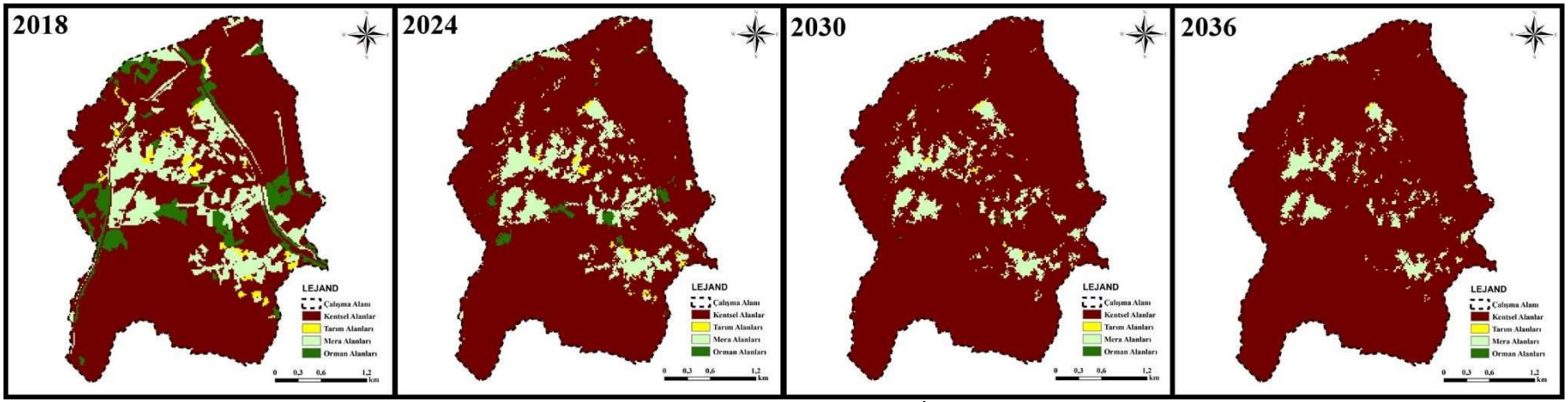
Temel gelişim senaryosu, mevcut trendlerin devam ettiği ve planlı bir müdahalenin olmadığı durumu yansıtır. Bu senaryoda, 2018 yılında 2211 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 2549 hektara, 2030 yılında 2700 hektara ve 2036 yılında 2757 hektara yükselmektedir. Bu, Çayırova'da artan kentleşme trendini göstermektedir. 2018 yılında 44 hektar olan tarım alanları, 2024 yılında 21 hektara, 2030 yılında 8 hektara ve 2036 yılında 2 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında önemli bir azalma öngörülmektedir. 2018 yılında 455 hektar olan mera alanları, 2024 yılında 317 hektara, 2030 yılında 210 hektara ve 2036 yılında 160 hektara düşmektedir. Mera alanlarında belirgin bir azalma yaşanacaktır. 2018 yılında 210 hektar olan orman alanları, 2024 yılında 33 hektara, 2030 yılında 2 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sıfıra düşmektedir. Orman alanlarında ciddi bir azalma öngörülmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.12**'de gösterilmektedir.

Tarım alanlarını koruma senaryosu, tarım alanlarının korunmasına yönelik bir yaklaşımı yansıtır. Bu senaryoda, 2018 yılında 2211 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 2498 hektara, 2030 yılında 2661 hektara ve 2036 yılında 2712 hektara yükselmektedir. Kentleşme, temel senaryoya göre daha yavaş bir hızla gerçekleşmektedir. 2018 yılında 44 hektar olan tarım alanları, 2024 yılında 42 hektara, 2030 yılında 42 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Tarım alanlarının korunmasına yönelik bir eğilim vardır. 2018 yılında 455 hektar olan mera alanları, 2024 yılında 343 hektara, 2030 yılında 213 hektara ve 2036 yılında 164 hektara düşmektedir. Mera alanlarında azalma yaşanacaktır. 2018 yılında 210 hektar olan orman alanları, 2024 yılında 36 hektara, 2030 yılında 4 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sıfıra düşmektedir. Orman alanlarındaki azalma devam etmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.13**'de gösterilmektedir.

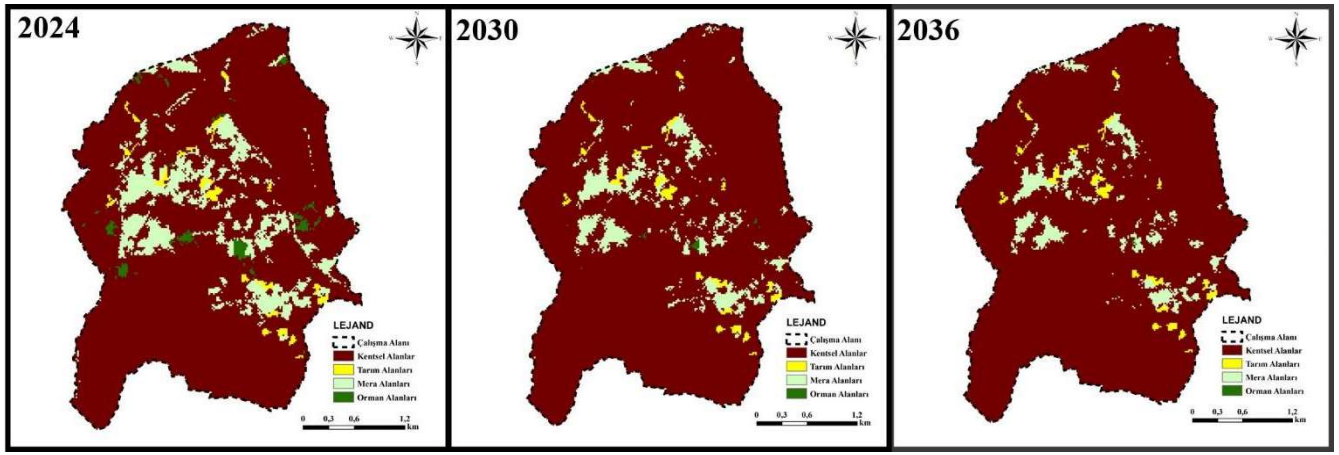
Ekolojik alanları koruma senaryosu, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan bir yaklaşımdır. Bu senaryoda, 2018 yılında 2211 hektar olan kent alanı, 2024 yılında

2215 hektara, 2030 yılında 2215 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Kentleşme sıkı bir şekilde kontrol altında tutulmaktadır. 2018 yılında 44 hektar olan tarım alanları, 2024 yılında 39 hektara, 2030 yılında 38 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Tarım alanlarının korunması hedeflenmektedir. 2018 yılında 455 hektar olan mera alanları, 2024 yılında 459 hektara, 2030 yılında 462 hektara ve 2036 yılında 464 hektara hemen hemen sabit kalmaktadır. Mera alanlarında küçük bir artış öngörülmektedir. 2018 yılında 210 hektar olan orman alanları, 2024 yılında 206 hektara, 2030 yılında 204 hektara ve 2036 yılında 203 hektara hemen hemen sabit kalmaktadır. Orman alanlarının korunması hedeflenmektedir.

Çayırova ilçesi 2018 arazi kullanım verilerine dayanarak kentsel alanlar toplam alanın %75'ine karşılık gelmektedir. Temel senaryoya göre öncelikle orman alanları kentsel alanlara dönüşmüş, sonrasında tarım ve mera alanlarında dönüşüm başlamıştır. 2036 yılında ilçenin arazi kullanımının yaklaşık %94'ünün kentsel alana dönüşeceği öngörülmektedir. Tarım alanlarını koruma senaryosunda ise tarım alanları tamamıyla 2036 senesinde varlığını sürdürecek ve kentsel alanlar alanın yaklaşık %92'sine tekabül edeceği öngörülmektedir.



Şekil 3.12: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Çayırova İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.



Şekil 3.13: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Çayırova İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.

3.4.5. Darıca İlçesi Arazi Kullanım Senaryoları

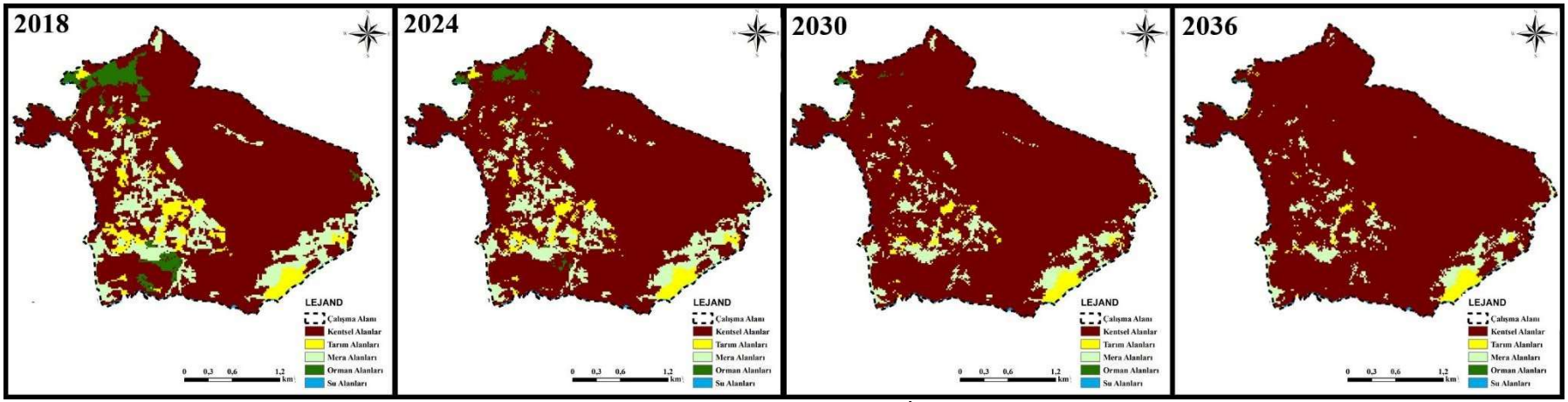
Darıca ilçesi için 2018, 2024, 2030 ve 2036 yıllarını kapsayan üç farklı senaryo altında kent, tarım, mera, orman ve su alanlarının hektar cinsinden büyüklükleri analiz edilmiştir. Her bir senaryo, gelecekte arazi kullanımının nasıl şekilleneceğine dair farklı yaklaşımlar sunmaktadır.

Temel senaryo, mevcut trendlerin devam ettiği ve planlı bir müdahalenin olmadığı durumu yansıtır. Bu senaryoda, 2018 yılında 1808 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 1958 hektara, 2030 yılında 2118 hektara ve 2036 yılında 2174 hektara yükselmektedir. Bu, Darıca'da artan kentleşme trendini göstermektedir. 2018 yılında 135 hektar olan tarım alanları, 2024 yılında 93 hektara, 2030 yılında 56 hektara ve 2036 yılında 40 hektara düşmektedir. Tarım alanlarında önemli bir azalma öngörülmektedir. 2018 yılında 325 hektar olan mera alanları, 2024 yılında 280 hektara, 2030 yılında 176 hektara ve 2036 yılında 138 hektara düşmektedir. Mera alanlarında belirgin bir azalma yaşanacaktır. 2018 yılında 90 hektar olan orman alanları, 2024 yılında 26 hektara, 2030 yılında 7 hektara ve 2036 yılında 4 hektara düşmektedir. Orman alanlarında ciddi bir azalma öngörülmektedir. 2018 yılında 12 hektar olan su alanları, 2024 ve sonraki yıllarda 9 hektar olarak sabit kalmaktadır. Su alanlarında küçük bir azalma görülmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.14**'de gösterilmektedir.

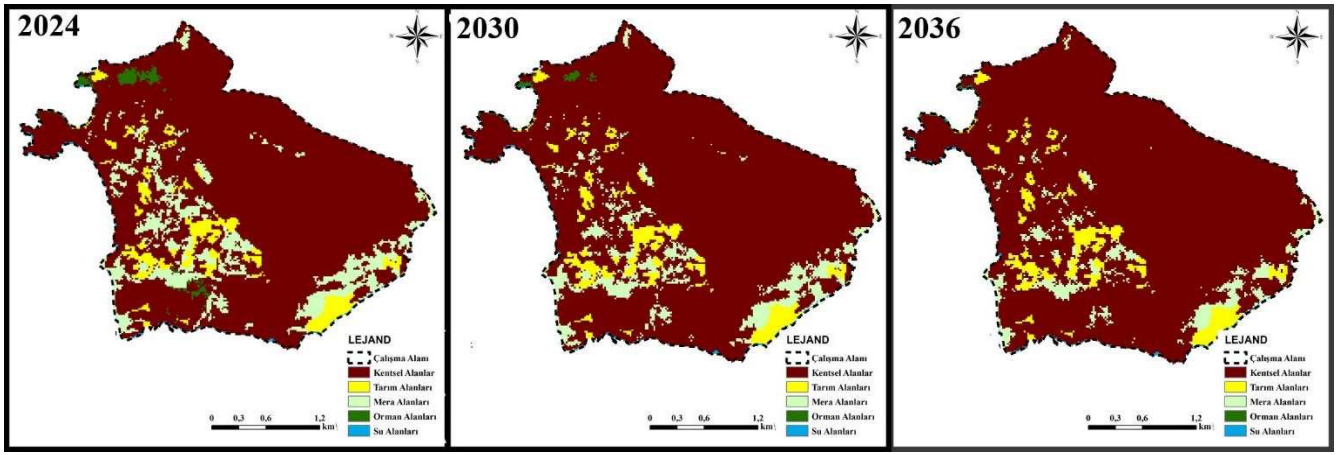
Tarım senaryosu, tarım alanlarının korunmasına yönelik bir yaklaşımı yansıtır. Bu senaryoda, 2018 yılında 1808 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 1918 hektara, 2030 yılında 2011 hektara ve 2036 yılında 2082 hektara yükselmektedir. Kentleşme, temel senaryoya göre daha yavaş bir hızla gerçekleşmektedir. 2018 yılında 135 hektar olan tarım alanları, 2024 yılında 133 hektara, 2030 yılında 133 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Tarım alanlarının korunmasına yönelik bir eğilim vardır. 2018 yılında 325 hektar olan mera alanları, 2024 yılında 276 hektara, 2030 yılında 203 hektara ve 2036 yılında 137 hektara düşmektedir. Mera alanlarında azalma yaşanacaktır. 2018 yılında 90 hektar olan orman alanları, 2024 yılında 30 hektara, 2030 yılında 10 hektara ve 2036 yılında 5 hektara düşmektedir. Orman alanlarındaki azalma devam etmektedir. 2018 yılında 12 hektar olan su alanları, 2024 ve sonraki yıllarda 9 hektar olarak sabit kalmaktadır. Su alanlarında küçük bir azalma görülmektedir. Bu senaryoya ait arazi değişimi **Şekil 3.15**'de gösterilmektedir.

Ekolojik senaryo, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan bir yaklaşımdır. Bu senaryoda, 2018 yılında 1808 hektar olan kent alanı, 2024 yılında 1806 hektara, 2030 yılında 1806 hektara ve 2036 yılında 1807 hektara hemen hemen sabit kalmaktadır. Kentleşme sıkı bir şekilde kontrol altında tutulmaktadır. 2018 yılında 135 hektar olan tarım alanları, 2024 yılında 134 hektara, 2030 yılında 138 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Tarım alanlarının korunması hedeflenmektedir. 2018 yılında 325 hektar olan mera alanları, 2024 yılında 327 hektara, 2030 yılında 323 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Mera alanlarında küçük bir artış öngörülmektedir. 2018 yılında 90 hektar olan orman alanları, 2024 yılında 90 hektara, 2030 yılında 89 hektara ve 2036 yılında hemen hemen sabit kalmaktadır. Orman alanlarının korunması hedeflenmektedir. 2018 yılında 12 hektar olan su alanları, 2024 ve sonraki yıllarda 9 hektar olarak sabit kalmaktadır. Su alanlarında küçük bir azalma görülmektedir.

Darıca ilçesi 2018 arazi kullanım verilerine dayanarak kentsel alanlar toplam alanın %76'sına karşılık gelmektedir. Temel senaryoya göre öncelikle orman alanları kentsel alanlara dönüşmüş, sonrasında tarım ve mera alanlarında dönüşüm başlamıştır. 2036 yılında ilçenin arazi kullanımının yaklaşık %91'inin kentsel alana dönüşeceği öngörülmektedir. Tarım alanlarını koruma senaryosunda ise tarım alanları tamamıyla 2036 senesinde varlığını sürdürecek ve kentsel alanlar alanın yaklaşık %87'sine tekabül edeceği öngörülmektedir.



Şekil 3.14: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında Darıca İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.



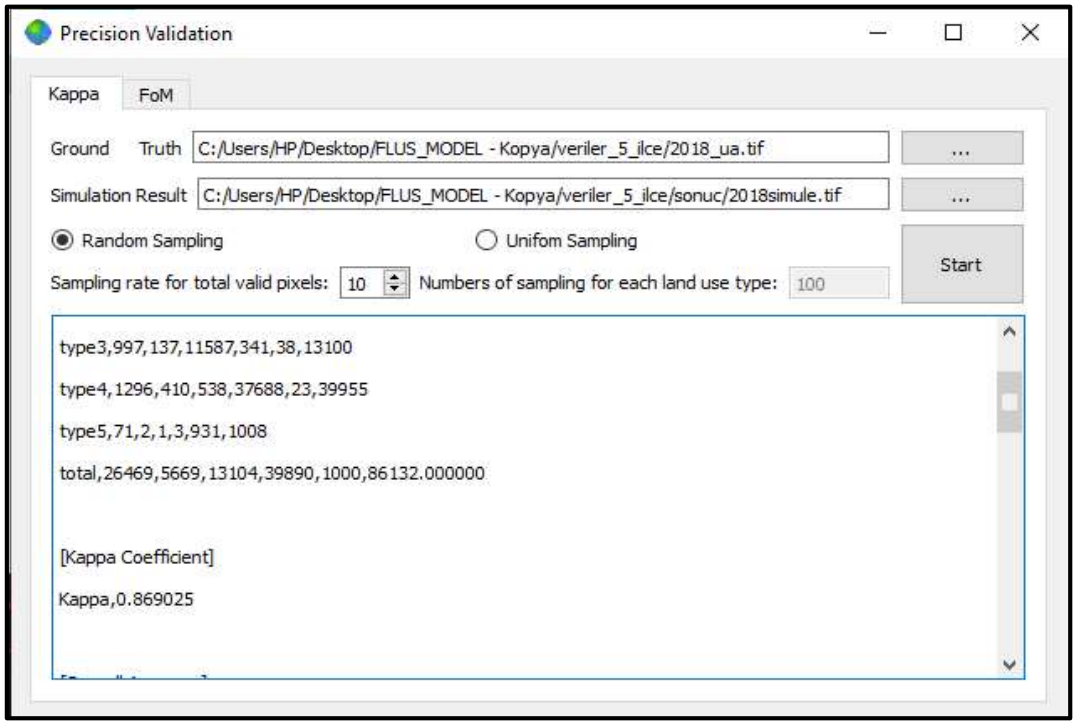
Şekil 3.15: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında Darıca İlçesinde yıllara göre arazi değişimi.

3.5. Model Doğrulaması

Simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini doğrulamak amacıyla, 2012 yılına ait mevcut arazi kullanım haritası temel alınarak 2018 yılı için bir arazi kullanımı simülasyon haritası oluşturuldu. Bu süreçte, Urban Atlas'tan elde edilen 2018 yılına ait gerçek arazi kullanım haritası ile hazırlanan simülasyon haritası karşılaştırıldı. Karşılaştırmanın doğruluğunu belirlemek için rastgele örnekleme modeli kullanıldı. Bu model kapsamında, geçerli rasterların toplam örnek sayısının %10'u rastgele seçildi ve analiz edildi. Doğrulama ekranına ait görsel Şekil 3.16'da belirtilmektedir.

Karşılaştırma sürecinde Kappa indeksi kullanılarak simülasyonun doğruluğu ölçüldü. Bunun için kullanılan yazılım içinde bulunan doğrulama aracı kullanıldı. Kappa indeksi, gözlenen doğruluk ile rastgele doğruluğun farkını ölçen bir istatistiksel ölçüttür ve arazi kullanım haritalarının doğruluğunu değerlendirmede yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, Kappa indeksi 0.86 olarak bulunmuş ve bu değer kabul edilebilir bir doğruluk oranı olarak değerlendirilmiştir.

Kappa indeksinin 0.86 olarak bulunması, simülasyon sonuçlarının gerçek arazi kullanım durumu ile büyük ölçüde örtüştüğünü göstermektedir. Bu, kullanılan simülasyon modelinin güvenilirliğini ve doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.



Şekil 3.16: Model doğrulaması.

4. SONUÇ

Bu çalışma, İstanbul'un Pendik, Tuzla, Gebze, Çayırova ve Darıca ilçelerinde arazi kullanım değişikliklerini 2018-2036 yılları arasındaki üç farklı senaryo altında incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada temel gelişim senaryosu, tarım alanlarını koruma senaryosu ve ekolojik alanları koruma senaryosu olmak üzere üç ana senaryo geliştirilmiş ve her bir senaryo doğrultusunda kentleşmenin ve diğer arazi kullanım türlerinin değişimleri analiz edilmiştir.

Temel gelişim senaryosunda, kentleşmenin hızlı bir şekilde arttığı ve buna bağlı olarak tarım, mera ve orman alanlarında belirgin bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu senaryo, mevcut kentleşme eğilimlerinin devam edeceği varsayımı üzerine kuruludur. Örneğin, Pendik ilçesinde kent alanları 2012 yılında 5558,89 hektarken, 2036 yılında 8680,41 hektara yükselmiştir. Benzer bir durum Tuzla ilçesinde de görülmüş olup 2012'de 4917,85 hektar olan kent alanları 2036'da 7375,04 hektara çıkmıştır. Bu artış, kentleşmenin tarım, mera ve orman alanları üzerinde baskı yarattığını göstermektedir.

Tarım alanlarını koruma senaryosunda ise, kentleşmenin tarım arazileri üzerindeki olumsuz etkileri sınırlandırılmış ve tarım alanlarının korunmasına yönelik politikalar uygulanmıştır. Bu senaryo, tarım alanlarının gelecekte korunabileceğini ve kentleşmenin bu alanlar üzerindeki etkisinin azaltılabileceğini varsaymaktadır. Örneğin, Pendik ilçesinde temel senaryoya göre daha az bir azalma gözlemlenmiş; 2012'de 985,92 hektar olan tarım alanları, 2036 yılında 939,42 hektara düşmüştür. Bu durum, tarım alanlarını koruma politikalarının etkili olabileceğini göstermektedir.

Ekolojik alanları koruma senaryosunda ise, kentleşme kontrollü bir şekilde gerçekleşmiş ve tarım, mera, orman ve su alanlarındaki azalmalar en az düzeyde tutulmuştur. Bu senaryo, ekolojik alanların korunması için politikaların etkili bir şekilde uygulanacağını varsaymaktadır. Örneğin, Tuzla ilçesinde kent alanları 2012'de 4917,85 hektarken, 2036'da yalnızca 5483,47 hektara ulaşmıştır. Bu durumda, ekolojik alanların korunması için uygulanan politikaların etkili olduğu ve kentleşmenin bu alanlar üzerindeki dönüşüm sınırlılığının minimum düzeyde tutulduğu görülmüştür.

Araştırmada kullanılan FLUS modelinin doğruluğu, 2018 yılına ait arazi kullanım verileri ile karşılaştırılarak Kappa indeksi ile ölçülmüş ve bu indeksin 0.86 olarak

hesaplanması, modelin güvenilirliğini kanıtlamıştır. Bu bulgular, gelecekteki arazi kullanım planlamalarında karar vericilere rehberlik edecek nitelikte olup, kentleşmenin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayabilir. Ancak, daha fazla doğrulama için gelecekteki Urban Atlas verilerinin kullanımı önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır. Henüz 2024 yılına ait Urban Atlas verileri mevcut olmadığından, şu an için bu doğrulama yapılamamaktadır. Ancak, 2024 yılına ait arazi kullanım verileri elde edildiğinde, simülasyon sonuçları ile karşılaştırılabilir ve modelin tahmin kabiliyeti bir kez daha doğrulanabilir. Bu karşılaştırmalar, modelin gelecekteki arazi kullanım değişikliklerini ne kadar doğru bir şekilde öngörebileceğini ortaya koyacaktır. Özellikle FLUS modelinin 2018 sonrası değişimleri nasıl yansıttığını görmek, karar vericilere planlama süreçlerinde daha güvenilir bir rehberlik sunabilir.

FLUS, açık kaynak kodlu olması ve kullanıcı dostu arayüzü sayesinde diğer modellere göre daha hafif bir çözüm sunmakta ve hızlı sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Gelecekte modele daha detaylı arazi kullanım ve sosyo-ekonomik veriler entegre edilerek, yerel düzeyde daha hassas sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca, FLUS modeli farklı coğrafi veriler ve mekansal analiz yöntemleriyle güçlendirilerek Türkiye genelinde doğal kaynak yönetimi ve kentleşme ile ilgili kapsamlı simülasyonlar için sağlam bir temel oluşturabilir. Bu özellikler, FLUS'un sürdürülebilir kentleşme planlamalarında karar vericilere rehberlik edecek önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Aksoy, T., Dabanli, A., Cetin, M., Senyel Kurkcuoglu, M. A., Cengiz, A. E., Cabuk, S. N., Cabuk, A. (2022), "Evaluation of comparing urban area land use change with Urban Atlas and CORINE data", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 28995-29015.

Angel, S. (2023), "Urban expansion: theory, evidence and practice", *Buildings and Cities*, 4(1), 124-138.

Angel, S., Parent, J. ve Civco, D. L. (2012), "The fragmentation of urban landscapes: Global evidence of a key attribute of the spatial structure of cities", 1990-2000. *Environment and Urbanization*, 24(1), 249-283.

Barredo, J. I., Kasanko, M., McCormick, N. ve Lavalle, C. (2003), "Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata", *Landscape and Urban Planning*, 64(3), 145-160.

Bhatta, B. (2010), "Urban Growth and Sprawl", *Advances in Geographic Information Science*, 1-16.

Brown, D. G., Verburg, P. H., Pontius, R. G. ve Lange, M. D. (2013), "Opportunities to Improve Impact, Integration, and Evaluation of Land Change Models", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), 452-457.

Canpolat, F. A. ve Dağlı, D. (2020), "Elazığ İli'nde Arazi Kullanımı Değişimi (2006-2018) Ve Simülasyonu (2030)", *lnternational Journal of Geography and Geography Education*, (42), 702-723.

Chen, X., He, X. ve Wang, S. (2022), "Simulated Validation and Prediction of Land Use under Multiple Scenarios in Daxing District, Beijing, China, Based on GeoSOS-FLUS Model", *Sustainability (Switzerland)*, 14(18).

Feng, S. ve Chen, K. (2023), "The Impact of Forestry Carbon Sink on Land Use Space Based on FLUS Model", *Processes*, 11(2).

Li, X. ve Gong, P. (2016), "Urban growth models: progress and perspective", *Science Bulletin*, 61(21), 1637-1650.

Liang, X., Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tian, H. ve Yao, Y. (2018), "Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method", *Landscape and Urban Planning*, 177, 47-63.

Lin, J., He, P., Yang, L., He, X., Lu, S. ve Liu, D. (2022), "Predicting future urban waterlogging-prone areas by coupling the maximum entropy and FLUS model".

Liu, P., Hu, Y. ve Jia, W. (2021), "Land use optimization research based on FLUS model and ecosystem services-setting Jinan City as an example", *Urban Climate*, 40, 100984.

Liu, Xiaoping, Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Pei, F. (2017), "A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects" *Landscape and Urban Planning*, 168, 94-116.

Liu, Xiaoqiong, Wang, X., Chen, K. ve Li, D. (2023), "Simulation and prediction of multi-scenario evolution of ecological space based on FLUS model: A case study of the Yangtze River Economic Belt, China", *Journal of Geographical Sciences*, 33(2), 373-391.

Luo, M. ve Li, X. (2019), "Forest Loss Simulation and Water Yield Assessment Based on GEOSOS-FLUS Model: A Case Study of Yangtze River Delta and Pearl River Delta", *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 6582-6585.

Maithani, S. (2010), "Application of Cellular Automata and GIS Techniques in Urban Growth Modelling: A New Perspective".

Mamitimin, Y., Simayi, Z., Mamat, A., Maimaiti, B. ve Ma, Y. (2023), "FLUS Based Modeling of the Urban LULC in Arid and Semi-Arid Region of Northwest China: A Case Study of Urumqi City", *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 4912, 15(6), 4912.

Musa, S. I., Hashim, M. ve Reba, M. N. M. (2017), "A review of geospatial-based urban growth models and modelling initiatives", *Geocarto International*, 32(8), 813-833.

Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J. ve Deadman, P. (2003), "Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review", *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 314-337.

Santé, I., García, A. M., Miranda, D. ve 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.

Tobler, W. R. (1970), "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region", *Economic Geography*, 46, 234.

Ustaoglu, E. ve Aydinoglu, A. Ç. (2019), "Theory, Data, and Methods", 156-202.

Uysal, C., Uysal, M. M. ve Uysal, M. (2020), "CBS Temelli Hücresel Özişleme Yaklaşımı ile Kentsel Büyüme Simülasyonu: Afyonkarahisar Örneği", *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 2(1), 26-36.

Verburg, P. H., Kok, K., Pontius, R. G. ve Veldkamp, A. (2006), "Modeling Land-Use and Land-Cover Change", 117-135.

Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V. ve Mastura, S. S. A. (2002), "Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model", *Environmental Management*, 30(3), 391-405.

Wang, Y., Hu, Z. ve Zhang, Y. (2021), "Delineating the future boundaries of urban development using the FLUS Model: A Case Study of Zhaoyuan City, China", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 783(1), 012088.

Web 1, (2024), https://www.geosimulation.cn/FLUS.html, (Erişim Tarihi: 20/06/2024).

Web 2, (2024), https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas, (Erişim Tarihi: 20/06/2024).

Web 3, (2024), https://earthexplorer.usgs.gov/, (Erişim Tarihi: 20/06/2024).

Xu, Q., Guo, P., Jin, M. ve Qi, J. (2021), "Multi-scenario landscape ecological risk assessment based on Markov–FLUS composite model".

Yang, X., Li, S., Zhu, C., Dong, B. ve Xu, H. (2021), "Simulating Urban Expansion Based on Ecological Security Pattern—A Case Study of Hangzhou, China", *International Journal of Environmental Research and Public Health 2022*, Vol. 19, Page 301, 19(1), 301.

Zhang, Y., Kwan, M. P. ve Yang, J. (2023), "A user-friendly assessment of six commonly used urban growth models", *Computers, Environment and Urban Systems*, 104, 102004.

ÖZGEÇMİŞ

Gökçe Betül ÇAKMAK, 2019 yılında Kırklareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümünden mezun oldu. 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri alanında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu anda özel sektörde CBS tabanlı yazılım geliştirme alanında çalışmaktadır.

TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Çakmak G.B., Aydınoğlu A.Ç., (2024), Kentsel Büyüme Sınırlarının FLUS Model ile Belirlenmesi, 8.GTÜ Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu(Poster Sunumu), 30-31 Mayıs 2024, Gebze-Kocaeli.

Çakmak, G.B., ve Aydınoğlu, A.Ç., (2024). Using Urban Growth Simulation Modelling With Gis The Case Of Pendik And Tuzla. IV. International Selçuk Scientific Research Congress,24-25 August 2024, Konya - Turkey (Online).

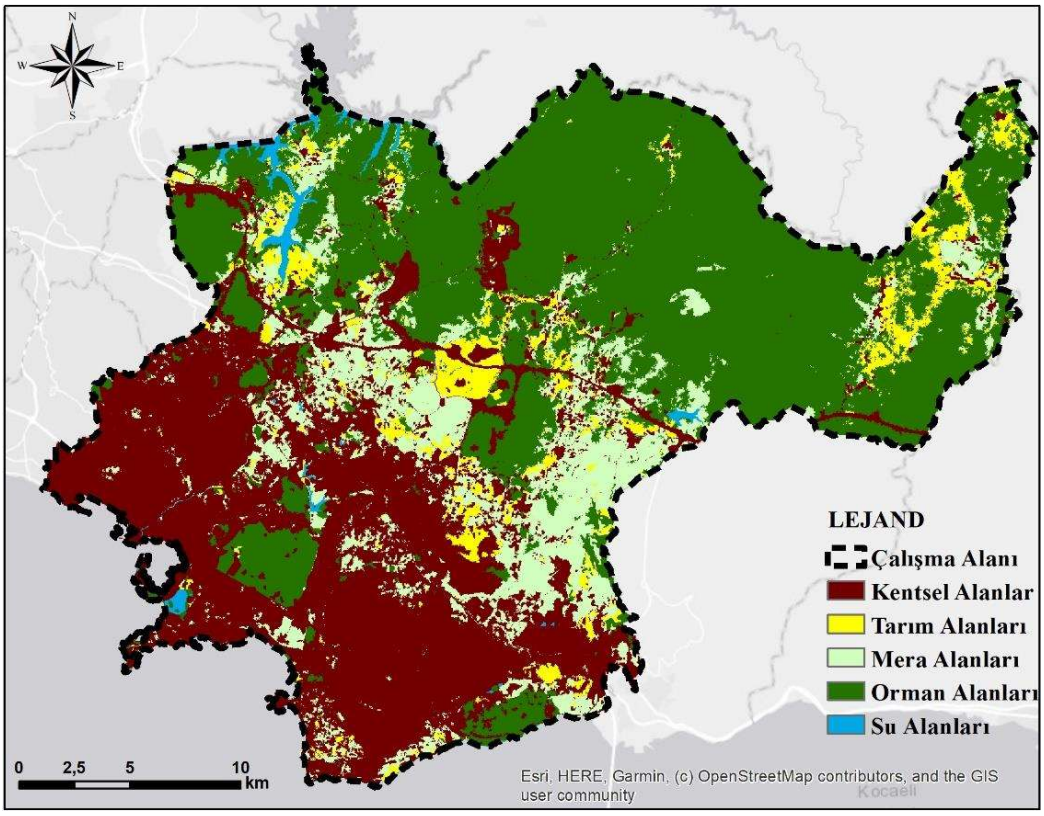
EKLER

Ek-A: Urban Atlas Verileri Sınıflandırması

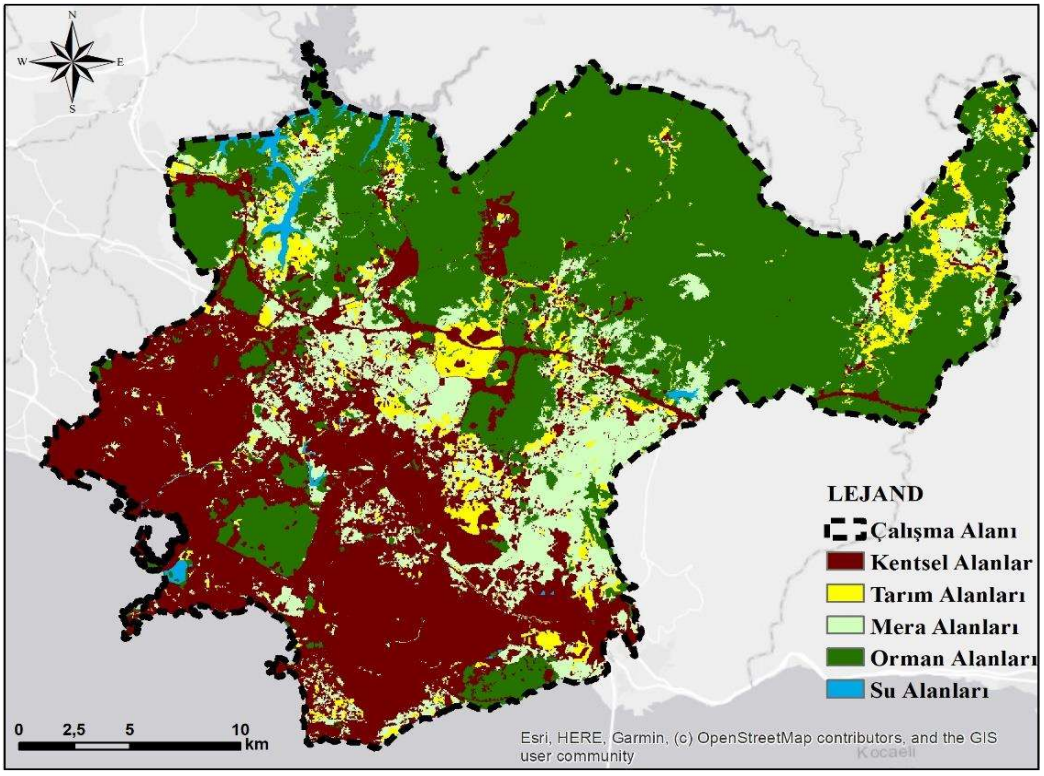
Tablo A1: Urban Atlas verilerinin gruplandırılması.

	Sınıf	Urban Atlas İsimlendirmesi
Kentsel Alanlar	11100	Continuous urban fabric (S.L. : > 80%)
	11210	Discontinuous dense urban fabric (S.L. : 50% - 80%)
	11220	Discontinuous medium density urban fabric (S.L. : 30% - 50%)
	11230	Discontinuous low density urban fabric (S.L. : 10% - 30%)
	11240	Discontinuous very low density urban fabric (S.L. : < 10%)
	11300	Isolated structures
	12100	Industrial, commercial, public, military and private units
	12220	Other roads and associated land
	12230	Railways and associated land
	12210	Fast transit roads and associated land
	12400	Airports
	12300	Port areas
	13100	Mineral extraction and dump sites
	13300	Construction sites
	13400	Land without current use
	14100	Green urban areas
	14200	Sports and leisure facilities
Tarım Alanları	21000	Arable land (annual crops)
	22000	Permanent crops (vineyards, fruit trees, olive groves)
Mera Alanları	23000	Pastures
Orman Alanları	31000	Forests
	32000	Herbaceous vegetation associations (natural grassland, moors...)
	33000	Open spaces with little or no vegetation (beaches, dunes, bare rocks, glaciers)
Su Alanları	40000	Wetlands
	50000	Water

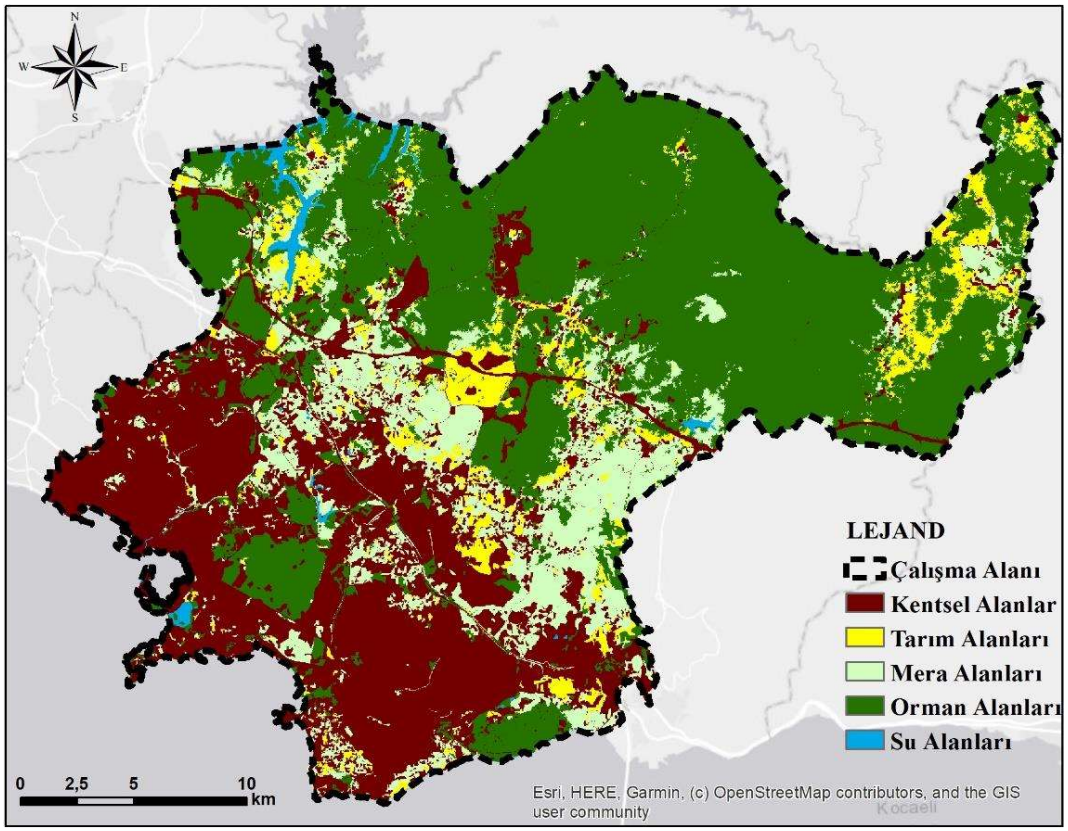
Ek-B: Simülasyon Sonuç Haritaları



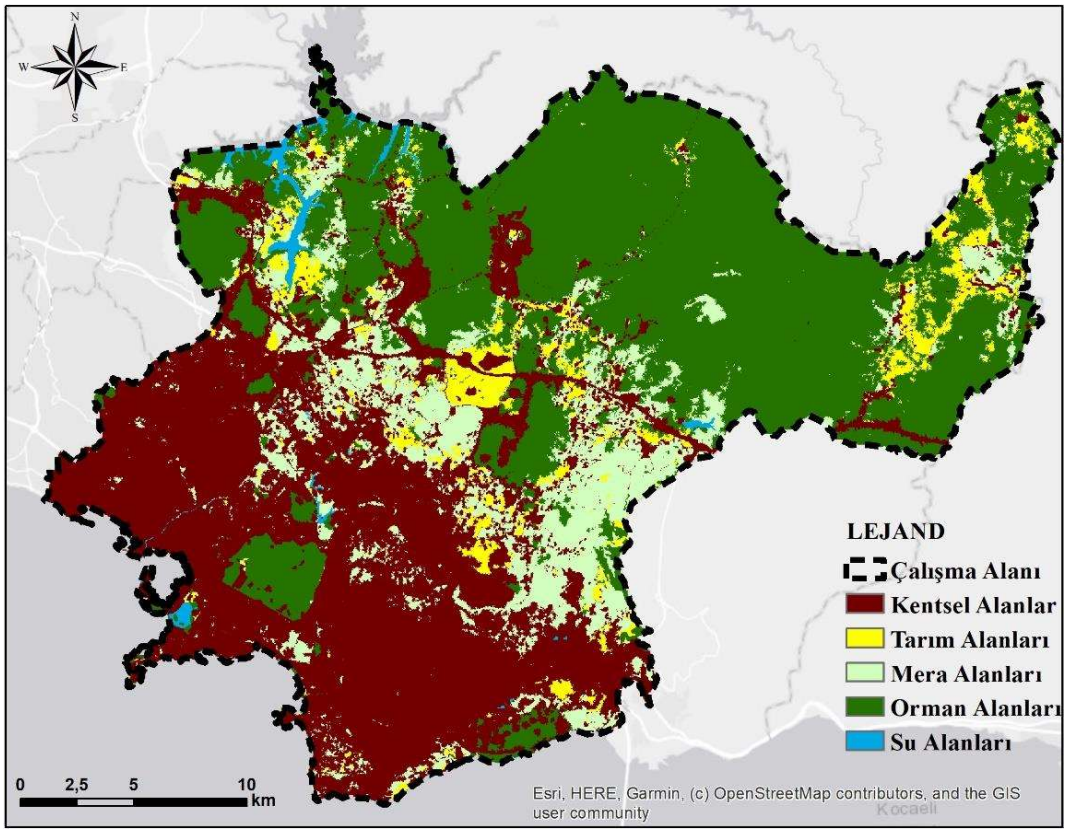
Şekil B.1: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında 2024 yılı simülasyon haritası.



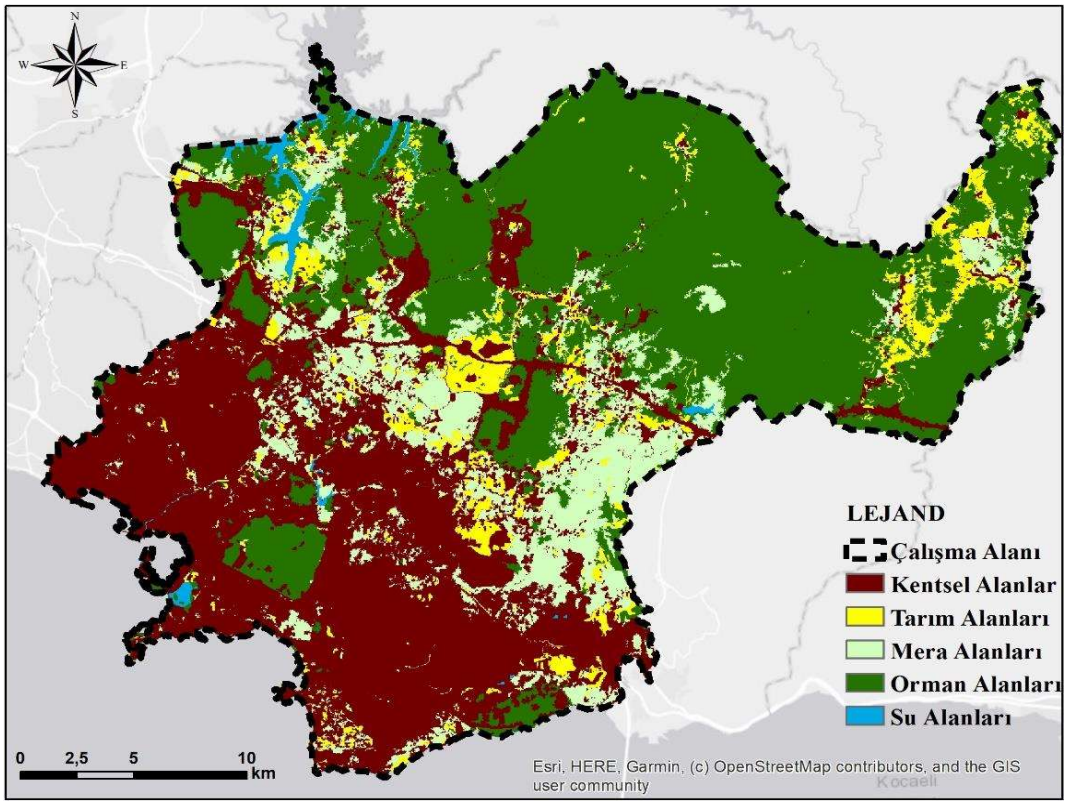
Şekil B.2: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında 2024 yılı simülasyon haritası.



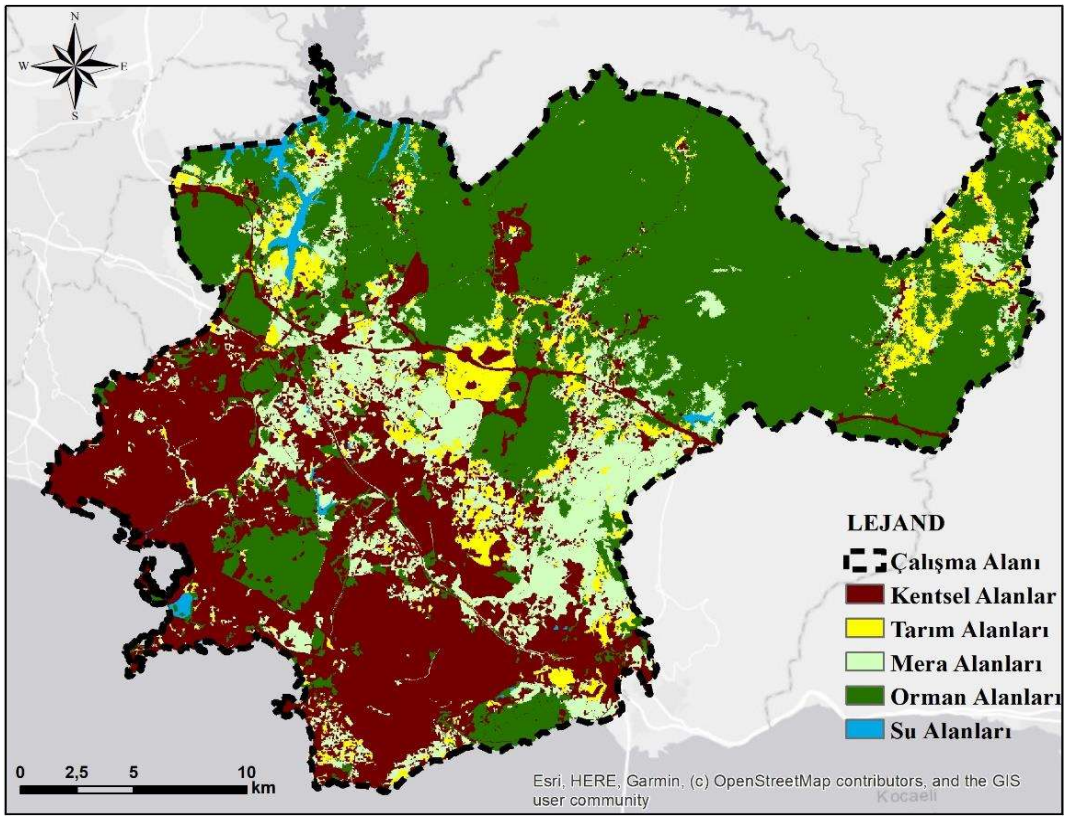
Şekil B.3: Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu kapsamında 2024 yılı simülasyon haritası.



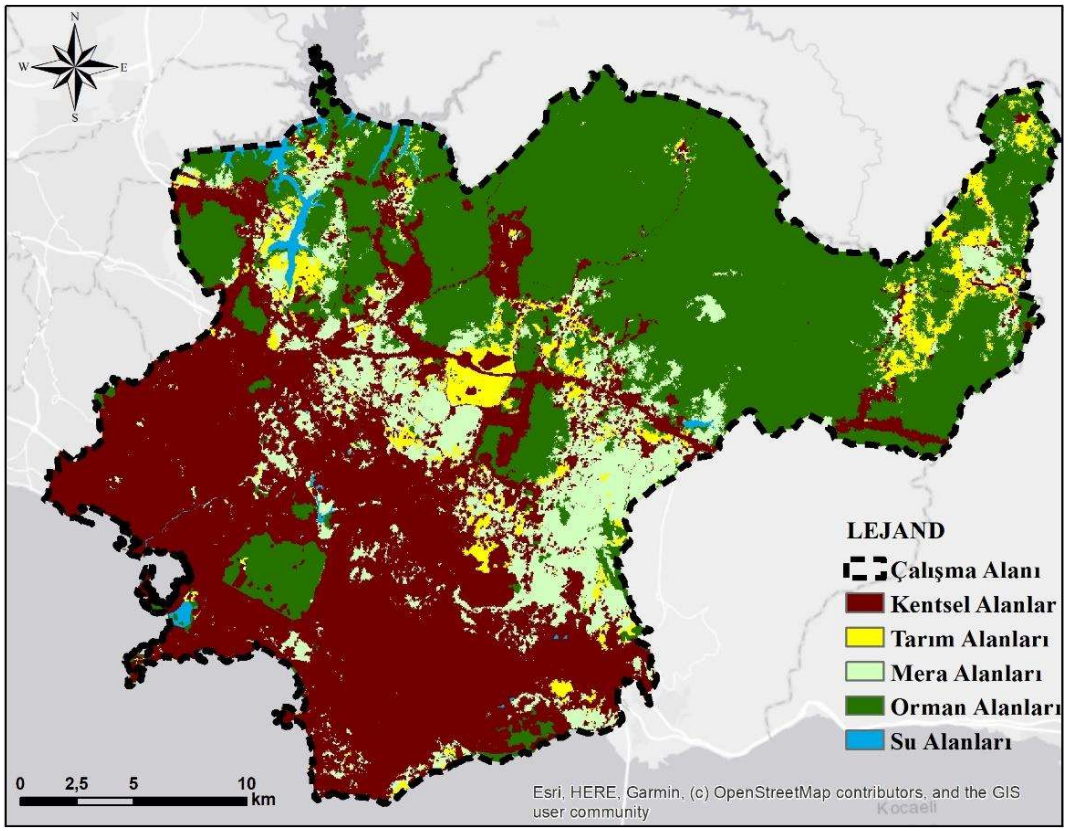
Şekil B.4: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında 2030 yılı simülasyon haritası.



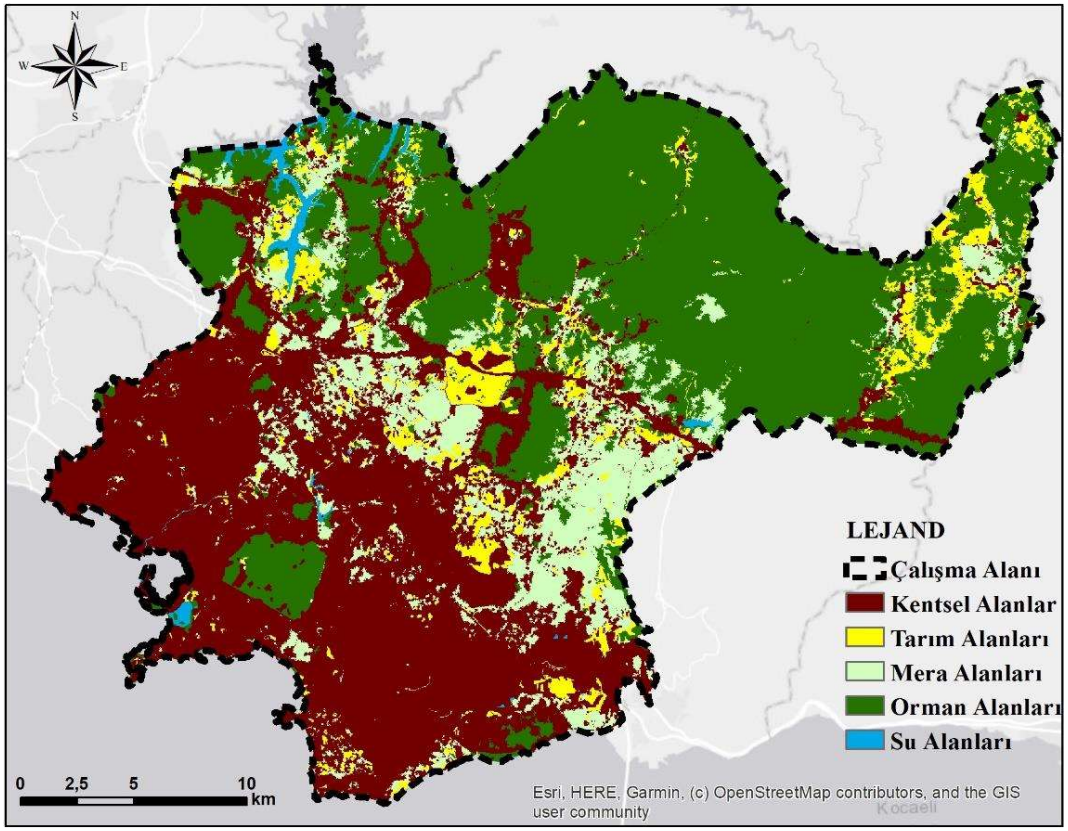
Şekil B.5: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında 2030 yılı simülasyon haritası.



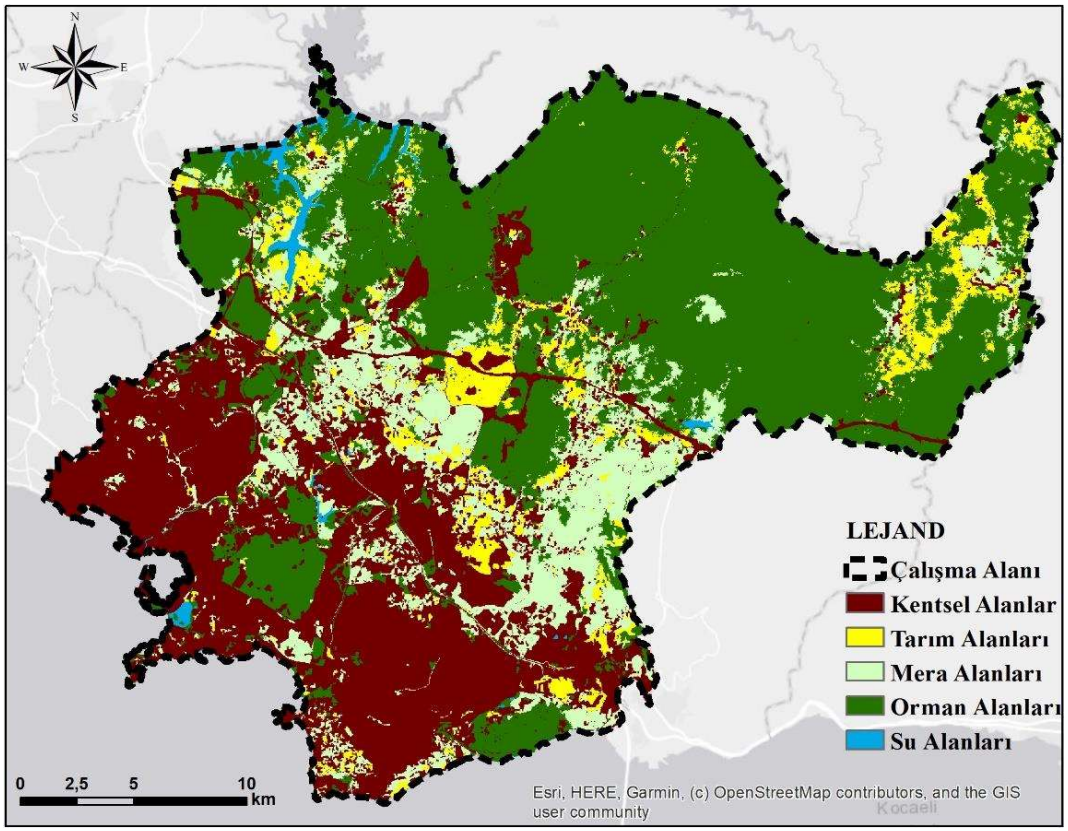
Şekil B.6: Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu kapsamında 2030 yılı simülasyon haritası.



Şekil B.7: Temel Gelişim Senaryosu kapsamında 2036 yılı simülasyon haritası.



Şekil B.8: Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu kapsamında 2036 yılı simülasyon haritası.



Şekil B.9: Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu kapsamında 2036 yılı simülasyon haritası.

Tablo B.1: İstanbul İli Pendik İlçesi senaryolara ve yıllara göre arazi kullanım dağılımları.

	Temel Gelişim Senaryosu				Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu				Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu			
	2018	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**
Kent	6.534,15	7.273,65	7.941,23	8.680,41	6.534,15	7.149,64	7.716,66	8.412,03	6.534,15	6.525,63	6.526,72	6.526,55
Tarım	946,41	815,48	759,87	712,62	946,41	943,35	941,39	939,42	946,41	902,43	980,35	964,26
Mera	1.643,31	1.418,75	1.341,09	1.273,12	1.643,31	1.420,91	1.351,72	1.270,39	1.643,31	1.516,90	1.474,03	1.479,14
Orman	8.742,28	8.341,63	7.809,30	7.187,53	8.742,28	8.334,50	7.841,57	7.231,43	8.742,28	8.905,23	8.869,29	8.880,31
Su	651,91	649,10	647,01	644,79	651,91	650,24	647,45	645,54	651,91	647,93	647,74	647,85

Tablo B.2: İstanbul İli Tuzla İlçesi senaryolara ve yıllara göre arazi kullanım dağılımları.

	Temel Gelişim Senaryosu				Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu				Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu			
	2018	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**
Kent	5.500,18	6.224,92	6.789,52	7.375,04	5.500,18	6.176,07	6.676,38	7.131,44	5.500,18	5.483,70	5.483,17	5.483,47
Tarım	670,22	597,06	550,43	491,30	670,22	670,22	668,92	668,66	670,22	656,86	668,32	665,18
Mera	2.813,64	2.624,33	2.468,79	2.198,68	2.813,64	2.609,64	2.436,29	2.227,79	2.813,64	2.871,43	2.891,83	2.893,98
Orman	3.470,61	3.001,31	2.645,92	2.396,19	3.470,61	2.994,42	2.672,97	2.432,65	3.470,61	3.438,17	3.408,18	3.410,20
Su	136,32	130,87	123,86	117,30	136,32	128,18	123,96	117,94	136,32	128,34	127,00	125,67

Tablo B.3: Kocaeli İli Gebze İlçesi senaryolara ve yıllara göre arazi kullanım dağılımları.

	Temel Gelişim Senaryosu				Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu				Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu			
	2018	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**
Kent	7.784,75	8.581,23	9.643,77	10.644,55	7.784,75	8.400,07	9.318,63	10.150,67	7.784,75	7.743,95	7.744,60	7.745,15
Tarım	3.258,67	3.097,53	2.889,32	2.681,68	3.258,67	3.290,05	3.296,80	3.296,19	3.258,67	3.275,69	3.399,19	3.431,07
Mera	6.566,0	6.393,4	6.156,47	5.963,19	6.566,06	6.384,49	6.145,83	5.933,90	6.566,06	6.381,79	6.335,82	6.351,06
Orman	23.431,3	22.945,6	22.343,5	21.750,5	23.431,3	22.953,0	22.272,6	21.658,	23.431,3	23.623,8	23.549,4	23.502,9
Su	78,20	75,23	59,76	53,22	78,20	65,84	59,23	54,18	78,20	67,81	63,83	63,07

Tablo B.4: Kocaeli İli Çayırova İlçesi senaryolara ve yıllara göre arazi kullanım dağılımları.

	Temel Gelişim Senaryosu				Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu				Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu			
	2018	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**
Kent	2.210,57	2.548,65	2.699,64	2.757,11	2.210,57	2.497,97	2.660,55	2.711,92	2.210,57	2.215,50	2.215,16	2.214,87
Tarım	43,82	20,60	7,65	1,86	43,82	42,00	41,68	42,03	43,82	38,99	38,04	38,00
Mera	454,70	316,54	210,07	159,85	454,70	343,43	213,29	164,48	454,70	459,00	462,03	463,55
Orman	210,03	33,33	1,76	0,30	210,03	35,73	3,60	0,70	210,03	205,63	203,89	202,70

Tablo B.5: Kocaeli İli Darıca İlçesi senaryolara ve yıllara göre arazi kullanım dağılımları.

	Temel Gelişim Senaryosu				Tarım Alanlarını Koruma Senaryosu				Ekolojik Alanları Koruma Senaryosu			
	2018	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**	**2018**	**2024**	**2030**	**2036**
Kent	1.808,43	1.957,93	2.117,94	2.174,36	1.808,43	1.918,04	2.011,10	2.081,86	1.808,43	1.806,25	1.806,47	1.806,55
Tarım	134,56	92,72	55,78	40,22	134,56	132,87	132,88	132,64	134,56	133,79	137,77	137,55
Mera	324,65	280,26	175,83	137,68	324,65	276,06	202,88	137,46	324,65	327,17	323,46	324,94
Orman	90,48	25,84	7,17	4,44	90,48	29,74	9,86	4,74	90,48	89,62	89,14	87,80
Su	12,34	8,82	8,82	8,85	12,34	8,82	8,82	8,85	12,34	8,82	8,82	8,82