



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HÜCRESEL OTOMAT TABANLI SLEUTH MODEL KULLANILARAK
KENTSEL BÜYÜMENİN TARIM ALANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

MURAT GÜNEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Temmuz-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat GÜNEŞ tarafından hazırlanan “Hücreyel Otomat Tabanlı SLEUTH Model Kullanılarak Kentsel Büyümenin Tarım Alanları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 07/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye KARASAKA

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Pınar KARAKUŞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Murat GÜNEŞ
07.07.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜCRESEL OTOMAT TABANLI SLEUTH MODEL KULLANILARAK KENTSEL BÜYÜMENİN TARIM ALANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Murat GÜNEŞ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

2023, 61 sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Dr. Öğr. Üyesi Pınar KARAKUŞ**

Dünya genelinde sürekli artış eğiliminde olan nüfus, kent alanlarının plansız büyümesine yol açan önemli bir etkidir. Bunun sonucunda doğal yaşam alanları tahrip olmakla birlikte kentlerde sosyoekonomik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların önüne geçebilmek için ilk olarak tarımsal faaliyetleri kontrol altında tutmak amacıyla kentsel büyüme analizleri yapılmıştır. Günümüzde ise Hücreli Otomat, Yapay Sinir Ağları, Markov Zincirleri şeklinde sıralanan modeller geliştirilmiştir. 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren, teknolojiye gelişmeler ışığında kentsel büyüme modelleri daha sağlam temellere dayandırılarak üretilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, kentsel büyüme ve arazi kullanımının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan hücreli otomat temeline dayanan SLEUTH model ile çalışma alanı olan Konya'nın Selçuklu ilçesinde kentsel büyümenin belirlenmesi ve kentleşmenin yakın gelecekte tarım alanlarına olan etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Modelde son kontrol yılı olarak belirlenen 2015 yılından başlayarak 2030 ve 2050 yılları için gerçekleştirilen simülasyonlara ek olarak 2022 yılı simülasyon sonuçları, 2022 yılı Landsat uydu görüntüsünün Google Earth Engine (GEE) kontrollü sınıflandırmasından elde edilen arazi sınıfları ile karşılaştırılmıştır.

2030 ve 2050 yılları için simülasyon modellerinin oluşturulması sonucunda sırasıyla 10428.75-23747.49 hektar tarım arazisinin tahrip olacağı sonucuna varılmıştır. SLEUTH model 2022 yılı için ise toplamda 56468.26 hektarlık tarımsal alanın olacağını modellemiştir. Bu da 2022 yılı sınıflandırma sonucunun %95'ine karşılık gelerek model doğruluğunun incelenmesinde önemli bir faktör olmuştur.

Karar vericilere ve planlamacılara yol gösterici olması hedeflenen bu çalışma sonucunda, gelecekteki arazi kullanımının planlı bir şekilde irdelenmesi için SLEUTH model kullanımının güçlü etkileri olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Büyüme, Hücreli Otomat, SLEUTH, Simülasyon, Uzaktan Algılama

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF URBAN GROWTH ON AGRICULTURAL LANDS USING CELLULAR AUTOMATA BASED SLEUTH MODEL

Murat GÜNEŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA

2023, 61 pages

Jury

**Asst.Prof.Dr. Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Asst. Prof. Dr. Pınar KARAKUŞ**

The population, which is constantly increasing worldwide, is an important factor that leads to the unplanned growth of urban areas. As a result, natural habitats are destroyed and socio-economic problems arise in cities. In order to prevent these problems, first of all, urban growth analyzes were carried out in order to keep agricultural activities under control. Today, models such as Cellular Automata, Artificial Neural Networks, Markov Chains have been developed. Since the last quarter of the 20'th century, in the light of the developments in technology, urban growth models have started to be produced on a more solid basis. In this study, it is aimed to determine the urban growth in the Selçuklu district of Konya, which is the study area with the SLEUTH model based on cellular automata, which is widely used in the modeling of urban growth and land use, and to examine the effect of urbanization on agricultural areas in the near future. In addition to the simulations carried out for the years 2030 and 2050 starting from 2015, which was determined as the last control year in the model, the simulation results of the year 2022 were compared with the terrain classes obtained from the Google Earth Engine (GEE) controlled classification of the 2022 Landsat satellite image.

As a result of the creation of simulation models for the years 2030 and 2050, it was concluded that 10428.75-23747.49 hectares of agricultural land will be destroyed, respectively. The SLEUTH model has modeled a total of 56468.26 hectares of agricultural land for 2022. This corresponds to 95% of the classification result for 2022, which is an important factor in examining the accuracy of the model.

As a result of this study, which is aimed to guide decision makers and planners, it is seen that the use of SLEUTH model has strong effects for the planned examination of future land use.

Keywords: Cellular Automaton, Simulation, SLEUTH, Remote Sensing, Urban Growth

ÖNSÖZ

“HÜCRESEL OTOMAT TABANLI SLEUTH MODEL KULLANILARAK KENTSEL BÜYÜMENİN TARIM ALANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada, dünya çapında yüzlerce şehirde kullanılan SLEUTH model ile Selçuklu bölgesinde tarımsal tahribat analizi yapılmıştır. Yol gösterici olduğu düşünülen bu çalışmanın, kentsel gelişmenin planlanmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışma süresi boyunca bana yol gösteren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ferruh YILDIZ ve Prof. Dr. Hakan KARABÖRK’e, bilgi ve tecrübelerini şahsımdan esirgemeyerek her fırsatta yardımcı olan sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Lutfiye KARASAKA’ya, her zaman olumlu tavırlarıyla problemleri çözmekte bana yardımcı olan Doç. Dr. Fatih SARI’ya ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan Bilgehan MAKİNECİ’ye, tez konusunu belirlemedeki değerli fikirlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Neslihan Serdaroğlu SAĞ’a, verilerin hazırlanması ve modelin çalıştırılması sürecinde her türlü desteği sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Fazlı Engin TOMBUŞ’a ve Öğr. Gör. Ahmet Emir YAKUP’a, çalışma süresi boyunca değerli fikirlerinden faydalandığım Arş. Gör. Halil Burak AKDENİZ’e ve Arş. Gör. Duygu ARIKAN’a, tez çalışmasının başından sonuna kadar maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme ve eserlerinden faydalandığım bilim insanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Murat GÜNEŞ
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. İlk Kentsel Büyüme Modelleri.....	8
3.1.1. Von Thünen Modeli.....	8
3.1.2. Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi Modeli.....	9
3.1.3. Merkezi Alan Teorisi Modeli	10
3.1.4. Sektör Alan Teorisi.....	10
3.2. Günümüzde Kentsel Büyüme Modelleri	11
3.2.1. Hücresel Otomat	11
3.2.2. Yapay Sinir Ağları	12
3.2.3. Markov Zincirleri.....	13
3.3. SLEUTH Kentsel Büyüme Modeli.....	14
3.3.1. Modelin Girdi Verileri	18
3.3.2. Modelin Büyüme Döngüsü	20
3.3.2.1. Büyüme Katsayıları	20
3.3.2.2. Büyüme Kuralları	21
3.3.2.3. Kendi Kendini Değiştirme (Self-Modification).....	22
3.3.3. Test Aşaması.....	22
3.3.4. Kalibrasyon Aşaması	22
3.3.5. Kestirim Aşaması.....	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. Çalışma Alanı	26
4.2. Girdi Verilerinin Hazırlanması	29
4.2.1. Arazi Kullanımı (Landuse) Verisi	30
4.2.2. Kent (Urban) Verisi	32
4.2.3. Yol (Transportation) Verisi	34
4.2.4. Eğitim, Harici Bölge ve Gölgeleme Verisi	36
4.3. Simülasyon Modellerinin Oluşturulması	39
4.3.1. Test Aşaması.....	39

4.3.2. Kalibrasyon Aşaması	39
4.3.2.1. Kaba (Coarse) Kalibrasyon.....	39
4.3.2.2. İyi (Fine) Kalibrasyon.....	41
4.3.2.3. Son (Final) Kalibrasyon.....	42
4.3.2.4. Tahmin	43
4.3.3. Kestirim Aşaması ve Çıktılar.....	44
4.4. Doğruluk Analizi	48
5. SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	56
EK-1 Google Earth Engine Kodlamaları	56
EK-2 Sınıflandırma Doğrulukları	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Von Thünen modeli.....	8
Şekil 3.2. Von Thünen kentsel yayılma modeli.....	9
Şekil 3.3. Eş merkezli bölgeleme teorisi	9
Şekil 3.4. Merkezi alan teorisi	10
Şekil 3.5. Sektör teorisi.....	11
Şekil 3.6. Conway’ın hayat oyunu.....	12
Şekil 3.7. Yapay sinir ağlarının coğrafi izahı	13
Şekil 3.8. SLEUTH arayüzü	14
Şekil 3.9. Modelin temel iş akışı	16
Şekil 3.10. Senaryo dosyası.....	17
Şekil 3.11. Büyüme kuralları.....	21
Şekil 4.1. Lokasyon haritası	26
Şekil 4.2. Selçuklu ilçesi tarım alanları	27
Şekil 4.3. Google Earth Engine arayüzü.....	29
Şekil 4.4. Arazi kullanımı verisi.....	31
Şekil 4.5. 2015 yılına ait arazi kullanımı girdi verisi	32
Şekil 4.6. Kent verileri.....	33
Şekil 4.7. 2010 kent girdi verisi.....	34
Şekil 4.8. Yol verisi	34
Şekil 4.9. Yol girdi verisi.....	35
Şekil 4.10. a) Harici bölge b) Gölgeleme c) Eğim girdi verisi	36
Şekil 4.11. Harici bölge girdi verisi.....	37
Şekil 4.12. 2030 yılı kentleşme simülasyonu	44
Şekil 4.13. 2050 yılı kentleşme simülasyonu	45
Şekil 4.14. 2030 yılı arazi kullanımı haritası.....	46
Şekil 4.15. 2050 yılı arazi kullanımı haritası.....	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Metrikler	24
Çizelge 4.1. Selçuklu nüfus verileri.....	27
Çizelge 4.2. Tahıl ve diğer bitkisel ürün istatistikleri.....	28
Çizelge 4.3. Koruma alanları	37
Çizelge 4.4. Girdi verileri	38
Çizelge 4.5. Kaba kalibrasyon aralık değerleri.....	40
Çizelge 4.6. Kaba kalibrasyon sonuç değerleri	40
Çizelge 4.7. İyi kalibrasyon aralık değerleri.....	41
Çizelge 4.8. İyi kalibrasyon sonuç değerleri	42
Çizelge 4.9. Son kalibrasyon aralık değerleri.....	42
Çizelge 4.10. Son kalibrasyon sonuç değerleri.....	43
Çizelge 4.11. Tahmin aşaması aralık değerleri.....	43
Çizelge 4.12. Tahmin aşaması sonuç değerleri	44
Çizelge 4.13. Büyüme katsayıları	44
Çizelge 4.14. 2030 yılı için tahribat analizi.....	47
Çizelge 4.15. 2050 yılı için tahribat analizi.....	47
Çizelge 4.16. Sınıflandırmaların kappa değerleri	48
Çizelge 4.17. 2022 yılı için model doğruluğu	48

KISALTMALAR DİZİNİ

BFC	:	Brute Force Calibration
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
GEE	:	Google Earth Engine
HEX	:	Hexadecimal
HA	:	Hektar
HO	:	Hücresel Otomat
LCD	:	Land Cover Deltatron
LULC	:	Land Use/Land Cover
MC	:	Monte Carlo
OSM	:	Optimum SLEUTH Metric
RGB	:	Red-Green-Blue
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
UA	:	Uzaktan Algılama
UGM	:	Urban Growth Model
UTM	:	Universal Transverse Mercator
YSA	:	Yapay Sinir Ağları
WGS	:	World Geodetic System

1. GİRİŞ

Kentleşme, genel olarak kırsal alanlardan kentsel alanlara nüfus akış süreci olarak tanımlanmaktadır (Ren ve ark., 2018). Dünya genelinde her geçen gün artan nüfus, kentleşme problemlerine ve kent alanlarında birtakım değişikliklere yol açmaktadır. UN (2018) verilerine göre, 2018 yılında dünyanın kentsel nüfusu 4.2 milyara yakınken 2050 yılında bu sayının 6.7 milyara ulaşması beklenmektedir. Rapora göre, dünya nüfusunun 1950 yılında %30'u kentlerde yaşamaktayken 2018 yılına gelindiğinde bu oran %55 seviyesindedir. 2050 yılı tahminlerinde ise kentsel nüfusun %68 seviyelerinde olması beklenmektedir.

Dünyadaki mevcut kentleşme sürecinin sonucunda, kentsel alanlar büyümekte ve buna bağlı olarak yönetim birimleri üzerinde oluşan baskı artmaktadır. Kırsal alanlardan kentsel alanlara gerçekleşen nüfus göçü, bölgesel dengesizlikten kaynaklanan ve kontrolsüz kentsel büyümeye neden olan en önemli kentsel sorunlardan biri olmuştur (Yazıcı ve ark., 2018). Kentlerdeki düzenli ve planlı olmayan büyümeler, verimli tarım ve orman alanlarının yok olmasına yol açmaktadır (Uysal ve ark., 2020).

Arazi yani mekân, sınırlı bir kaynak olduğu için nüfus artışıyla birlikte üzerindeki baskı da artmaktadır. Bu nedenle her alanda olduğu gibi arazi kullanımında da verimliliğin artırılması yönünde çalışmalara ve planlamalara ihtiyaç vardır (Canpolat ve Dağlı, 2019).

Yirmi birinci yüzyılda kendisini iyice hissettiren gıdaya erişim güvensizliği esasen dünya genelinde karşılaşılan azalan tahıl verimliliği ve daralan tarım alanlarından kaynaklanmaktadır (Deniz ve Hiç, 2022). Sürekli daralan tarım alanları ve artan nüfusa yetecek gıda ürünleri üretimi konusunda er geç sıkıntıya düşülmesi kaçınılmazdır (Uzun, 2009). Tarım sektöründeki negatif dalgalanmaların yaşamsal faaliyetleri de etkileyeceği düşünüldüğünde tarımsal alanlardaki planlama ve koruma faaliyetleri önem kazanmaktadır.

Nüfus artışı, kentleşme oranının yükselmesi ve büyük bir hızla tükenen kaynaklar karşısında gelişen teknolojilerin yardımıyla kentsel çözümler ortaya konması ve her boyutta sürdürülebilir kentler oluşturulması, akıllı yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu hale getirerek 'kentlerin akıllanması' fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu dinamikleri içeren yaklaşım ise 'Smart City/Akıllı Şehir' olarak adlandırılmıştır (Ateş ve Önder, 2019). Bu bağlamda "Sürdürülebilir kalkınma", "akıllı büyüme" ve "kompakt şehir" gibi çağdaş planlama konuları, dağınık ve aşırı kentsel büyümeye karşıdır (Yakup, 2018).

Sürdürülebilir kalkınma ve akıllı büyüme gibi yeni yaklaşımlar, kentleşme mekanizmasının nedenlerine, etkilerine ve kronolojisine yanıt olarak ek bir bilgi düzeyinin üretilebileceği kentsel sistemlerin kapsamlı analizini, anlaşılmasını ve modellenmesini gerektirir. Ayrıca karar verme sürecinde arazi yöneticilerinin kentsel gelişme sürecinin getirdiği sonuçları incelemeleri gerekmektedir. Kentsel büyüme modelleri bu talebi karşılamaktadır ve literatürde kentsel büyümenin modellenmesi alanında giderek artan sayıda çalışma grubu bulunmaktadır (Sakieh ve ark., 2015).

Kentsel modellemede geçmişteki başarısızlıklara rağmen, artan bilgi işlem gücü, gelişmiş konumsal veri mevcudiyeti ve karar vermeye yardımcı olacak yenilikçi planlama araçlarına duyulan ihtiyaç nedeniyle son yirmi yılda mekânsal modellemede bir rönesans olmuştur (Dietzel ve Clarke, 2006). Bunun temel sebebi; son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile birlikte, karmaşık şehir yapısının modellenmesinde geleneksel yöntemlerin yetersiz kalmasıdır.

Ülkemizdeki imar mevzuatı incelendiğinde, sosyoekonomik ve fiziki planlama süreci; bölge planları, çevre düzeni planları, nazım imar planları ve uygulama imar planları şeklinde yürütülmektedir. Yerel fiziki planlar içerisinde yer alan uygulama imar planlarının nazım imar planı esaslarına uygun olarak hazırlanması gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri gibi yeni teknolojilerden yararlanılarak elde edilen kentsel simülasyon sonuçlarının planlama aşamasında dikkate alınması ile daha gerçekçi ve doğru planlar ortaya konulabilmektedir (Tombuş, 2019).

Arazi kullanımının yönetiminde, coğrafi bilgi sistemi (CBS) teknolojisinin yanı sıra geniş bölgeyi analiz etmek için uydu görüntüleri şeklinde uzaktan algılama yöntemi (UA) kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır (Handayanto, 2019). Uzaktan algılama ile amaca yönelik olarak çeşitli çözünürlük düzeylerinde ve istenilen zamana ait veri elde edilebilmesi ile güncel veri gereksinimi karşılanabilmektedir. CBS ise güçlü analiz yetenekleri ile gerek mevcut durumun incelenmesi gerekse planlama çalışmaları açısından önemli araçlar sunmaktadır (Yazıcı ve ark., 2019).

Von Thünen Modeli, Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi Modeli, Merkez Alan Teorisi Modeli, Sektör Alan Teorisi Modeli gibi modeller ilk kentsel büyüme modelleri olarak kabul edilmektedir. Günümüzde kentsel büyüme ve arazi kullanım/örtüsü değişimlerinin modellenmesinde Hücresel Otomat (HO), Yapay Sinir Ağları (YSA), Markov Zincirleri, SLEUTH Modeli vb. çok sayıda simülasyon modeli geliştirilmiştir (Yazıcı ve ark., 2019). Kentsel büyümeyi araştırmak için kullanılan modeller arasındaki hücresel otomat (HO) modellemesi, kentsel büyümenin karmaşık arazi kullanım

dinamiklerini yakalama yeteneğini kanıtlamıştır (Ilyassova ve ark., 2021). Modelin bu başarısı, HO mantığına dayanan yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

SLEUTH, model parametrelerinin Monte Carlo (M-C) yöntemine göre belirlendiği HO tabanlı bir simülasyon tekniğidir. Dünyadaki birçok şehrin kentsel büyümesini simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Yang ve Lo, 2003; Manca ve Clarke, 2012; Sandamali ve ark., 2018; Chaudhuri ve Clarke, 2019; Kundu ve ark., 2021). Ülkemizde ise Antalya, İzmir, Tokat, Çorum ve Afyon illeri başta olmak üzere kentsel büyüme simülasyonlarında kullanılmıştır (Şevik 2006; Oğuz ve ark., 2011; Yazıcı ve ark., 2018; Tombuş, 2019; Uysal ve ark., 2020).

Bu tez çalışmasında, Konya ili Selçuklu ilçesinde SLEUTH model ile kentsel büyümenin belirlenmesi ve kentleşmenin yakın gelecekte bölgedeki tarım alanlarına olan etkisinin incelenmesi amaçlanarak 2030 ve 2050 yılları için simülasyonlar oluşturulmuştur. Bu simülasyonlar oluşturulurken SLEUTH model için gerekli veriler temel olarak Landsat uydu görüntülerinden elde edilerek kullanılmıştır. Modelleme doğruluğunu artırmak adına Landsat uydu görüntülerinin yanında kent ve yol verileri için sırasıyla yüksek mekânsal çözünürlüklü ortofoto ve Sentinel uydu görüntüsü de kullanılmıştır. Böylece elde edilen sonuçlara göre çalışma alanındaki tarımsal tahribat değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Clarke ve ark. (1997) çalışması San Francisco Körfez Bölgesi için yapılmıştır ve SLEUTH modelin metropol alanlarındaki ilk uygulamasıdır. Bu çalışmada 1850-1990 yıllarını kapsayan veriler kullanılarak gelecekteki kentsel büyümeyi tahmin edebilmek için büyüme katsayıları, büyüme kuralları, kendi kendini değiştirme özelliği gibi model temelleri tanımlanmıştır. Yapılan bu ilk çalışma, gelecekteki SLEUTH uygulamalarının temelini oluşturmuştur.

Modelin ilk uygulamaları genellikle kentsel büyümenin tahminine odaklanmıştır. Clarke (1997) deltatron yaklaşımını ve ilkelerini özetlemesinin ardından, Candau ve Clarke (2000) 1975 ve 1992 yıllarına ait girdi verilerini kullanarak 2050 yılındaki tahmini arazi kullanımı haritasını üretmişlerdir. Böylece SLEUTH'un, kentsel büyümenin yanında arazi kullanımındaki değişimleri de simüle edebilme yeteneği test edilmiştir.

Clarke ve ark. (2007) çalışmasında on yıllık zaman periyodunda (1997-2007) SLEUTH model kullanımı incelenmiştir. Model kullanımındaki kısıtlamaların büyük oranda kalktığı, ihtiyaç duyulan girdi verilerinin daha yaygın ve güvenilir olduğu açıklanmıştır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen büyüme katsayılarının çalışma alanlarının coğrafi, tarihi ve kültürel özelliklerine bağlı olarak değiştiğine vurgu yapılmıştır.

Oğuz ve ark. (2007) çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri'nin en hızlı büyüyen metropollerinden biri olan Houston bölgesinde gelecekteki kentsel büyümeyi modelleyebilmek için üç farklı senaryo tasarlanmıştır. İlk senaryoda tarım, orman ve sulak alanlarda herhangi bir kısıtlama olmaksızın kentsel büyümenin tasvir edilmesi amaçlanırken ikinci senaryoda bahsi geçen alanlarda orta düzeyde koruma sağlanması ve son olarak üçüncü senaryoda ise en yüksek koruma düzeyinin olması amaçlanmaktadır. 2030 yılı modelleme sonuçlarına göre ilk senaryoda yaklaşık 2000 km^2 orman arazisinin, 600 km^2 tarım arazisinin ve yaklaşık 400 km^2 sulak alanın kaybedileceği sonucuna varılmıştır. Buna karşın en yüksek koruma olması amaçlanan üçüncü senaryo ile kaybedilecek arazilerin yaklaşık yarısının kurtarılabileceğine vurgu yapılmıştır.

Jantz ve ark. (2010) çalışmasında SLEUTH modelin yeni bir sürümü geliştirilmiştir. SLEUTH-3r adı verilen bu yeni yaklaşımın klasik SLEUTH yaklaşıma göre beş kat daha verimli olduğuna ve %65 oranda daha az bellek kullandığına vurgu yapılmıştır.

Oğuz ve ark. (2011) çalışmasında SLEUTH kullanılarak İzmir/Bornova bölgesinin 2040 yılı için kentsel büyüme ve arazi kullanımı modeli, harici bölge katmanındaki arazi sınıfları 0-100 aralığında ağırlıklandırılarak üç farklı senaryoda ele alınmıştır. İlk senaryoda doğal/yarı doğal alanlar üzerinde koruma olmaması amaçlanırken, ikinci senaryoda kısmi koruma amaçlanmıştır. Son olarak üçüncü senaryoda ise kentsel büyüme modellenirken kaynaklara yönelik tam koruma sağlanması amaçlanmıştır. Bu durumlar göz önüne alınarak oluşturulan harici bölge katmanları belirlenerek bahsi geçen senaryolar ile 2040 yılı için kentsel büyüme ve arazi kullanımı değişimleri analiz edilmiştir.

Manca ve Clarke (2012) 1998 yılı için yapılan SLEUTH çalışmasını, 2006 yılını simüle etmek için kullanmışlardır. Simülasyondan elde edilen çıktı görüntüsü ile 2006 yılı Ikonos uydu görüntüsünden yararlanılarak yapılan doğruluk analizi sonucunda, SLEUTH'un çalışma alanının sekiz yıllık zaman periyodundaki kentsel büyüme modellemesini %98 doğrulukla tahmin ettiği sonucuna varılmıştır.

Blanchard ve ark. (2015) çalışmasında arazi değişikliği modellemesi için 30 metre mekânsal çözünürlükteki girdi verilerinin kullanılması ile 2 metre mekânsal çözünürlükteki girdi verilerinin kullanılması arasındaki avantaj ve dezavantajlar araştırılmıştır. Buna göre 2 metrelik veriler, banliyö alanlarda kent alanlarından ayrılan ormanlık alanlar gibi çeşitli arazi sınıflarının daha ince ölçekte ele alınabilmesinde avantaj sağlarken 30 metrelik veriler veri işleme, yönetim ve depolama gereksinimlerinde çeşitli avantajlar sağlamaktadır.

Tombuş (2019) doktora tezi çalışmasında güncel eğilimler ve yönetim eğilimleri adı verilen iki farklı senaryoda 2040 yılı için simülasyonlar oluşturulmuştur. Arazi kullanımı simülasyonları oluşturulurken SLEUTH kalibrasyon aşaması hem klasik hem de Genetik Algoritma olmak üzere iki farklı yöntem ile ele alınmıştır. Aynı zamanda uydu görüntülerinin sınıflandırılması işleminde hem piksel tabanlı sınıflandırma hem de nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda SLEUTH-GA yaklaşımının kalibrasyon süresini kısaltması ve model tahminindeki doğruluk açısından klasik SLEUTH yöntemine göre üstünlüğüne vurgu yapılmıştır.

Nimish (2019) çalışmasında arazi kullanımındaki değişiklikler ile arazi yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki test edilmektedir. Buna göre denetimli sınıflandırma algoritması kullanılarak kentsel alanlarda otuz yılda %203'lük büyüme yaşandığı belirlenmiştir. Ayrıca arazi yüzey sıcaklığında 7°C'lik artışa vurgu yapılarak bu ve benzeri durumların iklim ve insan sağlığı açısından tehlikeli sonuçlara yol açabileceğine değinilmektedir.

Yağcı (2020) doktora tezi çalışmasında SLEUTH ve Etmen Tabanlı Model kullanılarak Konya ilinde yapılacak olan yeni bir çevre yolunun kentsel büyüme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Oluşturulan senaryolara göre her iki yöntemin de kendine göre farklı konumsal öngörülerinin varlığının ortaya çıkması neticesinde arazi yönetiminde kentsel büyüme modellerinin kullanılması ve oluşturulacak politikalarla entegre bir biçimde çalışılması gerektiğine vurgu yapılmıştır.

Clarke ve Johnson (2020) çalışması, büyük bir veri kümesini alt kümelere ayırarak SLEUTH kalibrasyonları arasında ilişki olup olmadığını test etmek amacıyla yapılmıştır. Bu bağlamda Kaliforniya eyalet verileri 174 alt bölüme ayrılmış ve kalibrasyonların ardından 2100 yılı için büyüme modeli oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada kalibrasyonlar sonucunda elde edilen büyüme katsayılarındaki farklılıklar gözler önüne serilmektedir. Böylece Kaliforniya için, tüm alt küme verilerinin benzer kalibrasyon sonuçları vererek eyalet çapında tek tip büyüme hızı uygulanması gerektiğine dair boş hipotezin yanlışlığı kanıtlanmıştır.

El Meouche ve ark. (2020) çalışmasında SLEUTH modelden elde edilen raster yapıdaki çıktı görüntülerin vektör veri formatına dönüştürülmesinin ardından kentsel büyüme, kentsel nesnelere olan mesafe gibi faktörleri göz önüne alarak üç boyutlu bina temsillerinin oluşturulmasına ilişkin bir algoritma önerilmiştir. SLEUTH'un iki boyutlu çıktı görüntülerinde (2050 yılı için) yapılan işlemler sonucunda elde edilen üç boyutlu bina modelleri ArcScene'de görüntülenmiştir. Böylece SLEUTH model sonuçları üç boyutlu olarak ele alınarak yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

Kundu ve ark. (2021) çalışmasında 2040 yılı için Kolkata şehrinin kentsel büyümesinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Tüm girdi verileri Landsat uydu görüntülerinden elde edilmiştir ayrıca arazi sınıflandırma verileri elde edilirken "Maximum Likelihood" tekniği kullanılmıştır. Kalibrasyon sonuçlarına göre gelecekte kenar genişlemesi olduğunu gösteren "Spread" katsayısının yüksek olması dikkat çekici olmuştur. Sonuç olarak 2040 yılında çalışma alanının yaklaşık %70'ini kentsel alanların oluşturabileceği simülasyonlar neticesinde belirlenmiştir.

Saxena ve ark. (2021) çalışmasında SLEUTH-Density modeli önerilmektedir. Bu çalışmada mevcut SLEUTH'un bir fonksiyonu olarak hem kentsel büyümeyi hem de yapılaşma yoğunluğunu simüle edebilen SLEUTH-Density geliştirilmiştir. 2040 yılı için yapılan simülasyon sonuçları analiz edilmektedir. Elde edilen bu yoğunluk analizinin bilinmesine yazarlar, yeterli düzeyde hizmetlerin (otopark, ulaşım altyapısı, açık alanlar

vb.) sağlanması için sürdürülebilir kentsel gelişmenin planlaması ve sağlanması açısından faydalı olabileceği şeklinde yorum yapmışlardır.

Kumar ve Agrawal (2022) çalışmasında 2040 yılı için kentsel simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Çalışma alanının doğal ve beşerî özelliklerine göre SLEUTH kalibrasyonları sonucunda elde edilen eğim ve yol çekim katsayısının modeli doğrudan etkilediğine vurgu yapılarak son otuz yılda bölgede %3.78 kentsel büyüme oranı görülmüşken önümüzdeki yirmi yılda bu oranın %1.9 olacağı belirtilmiştir.

Dhanaraj ve ark. (2022) çalışmasında 2031 yılı için Hindistan'ın Mangaluru adındaki orta ölçekli bir şehirde kentsel büyüme dinamikleri araştırılmaktadır. Çekirdek ve son kontrol yılı olan 2000-2020 aralığında elde edilen arazi sınıflandırma haritalarındaki genel doğruluk %89-93 aralığında değişmektedir. 2020 yılından tahmin yılı olan 2031 yılına kentsel alanlarda yaklaşık %58'lik artış olmasına rağmen çalışma alanındaki eğim faktörü nedeniyle doğu kesimlerde kentsel büyüme azalarak bölgenin batı kısımları ile sınırlı kalmıştır. Aynı zamanda kıyı alanı boyunca kentsel büyümenin yoğun olması tarımsal ve sulak alanları olumsuz yönde etkilediğine vurgu yapılmıştır.

Aslam ve ark. (2023) çalışmasında 1990-2020 zaman periyodunda Pakistan'ın dört büyük şehri için kentsel büyümenin analizi gerçekleştirilmiştir. Google Earth Engine platformundaki sınıflandırma algoritmalarından olan "Smile CART" algoritması ile ilgili yıllara ait Landsat uydu görüntülerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında sınıflandırma doğrulukları araştırılırken ortalama Kappa katsayısı "0.91", genel doğruluk ise "0.93" olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak nüfusun ve yapılaşmanın artmasının gelecekte tarım alanlarının azalmasına ve temel hizmetlerde kıtlığa yol açabileceğine ek olarak sürdürülebilirlik açısından kentsel büyümenin planlanması gerektiğine vurgu yapılmaktadır.

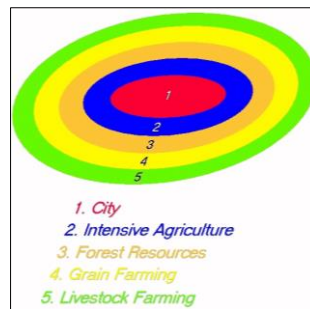
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kentsel büyümenin simüle edilebilmesi için literatürde bir dizi kavram ve yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden ilk geliştirilenler günümüz şartlarında yetersiz kalmaktadır. Çünkü son zamanlarda teknolojik gelişmeler ışığında bilgiye erişim imkânı artmış, elde edilen veriler zamansal ve mekânsal olarak karmaşık şehir yapısı için daha elverişli hale gelmiştir. Bu bağlamda kentsel büyüme modelleri; ilk kentsel büyüme modelleri ve günümüzde kentsel büyüme modelleri şeklinde ele alınacaktır. Tezin ana temasını oluşturan SLEUTH kentsel büyüme modeli ise daha detaylı bir şekilde incelenecektir.

3.1. İlk Kentsel Büyüme Modelleri

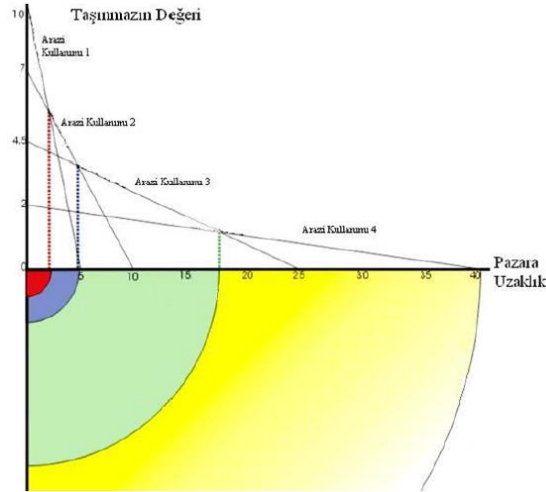
3.1.1. Von Thünen Modeli

19. yüzyılın başlarında Von Thünen, arazi kullanımının mekâna bağlı olarak nasıl değiştiğini araştırmıştır. Bu bağlamda pazar konumunu şehrin merkezi olarak kabul etmiş ve merkeze olan uzaklığın tarımsal ürünlerde farklılıklara neden olabileceğini düşünmüştür (Yazıcı ve ark., 2019). Geliştirmiş olduğu modeli, kent merkezi olarak ele aldığı pazar yerinden başlayarak iç içe geçen halkalar şeklindeki alanlar olarak ele almıştır. Şekil 3.1.'de Von Thünen Modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Von Thünen modeli (Sasaki ve Box, 2003)

Bu çalışma tespitlerinden arazi bedeli, kentsel aktiviteler, yoğunluk ve seyahat merkezden uzaklaştıkça azalmaktadır ve merkezle olan mesafeyle aralarında ters orantılı bir ilişki vardır (Başlık, 2008). Bahsi geçen durum Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Von Thünen kentsel yayılma modeli (Ayazlı, 2011)

3.1.2. Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi Modeli

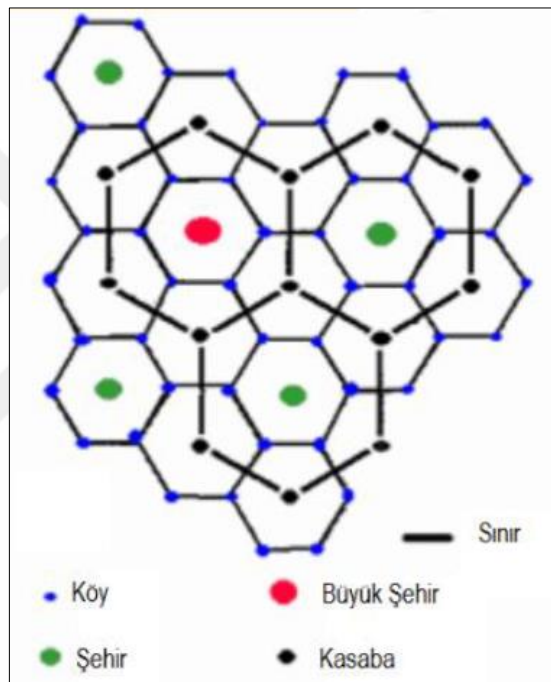
E. W. Burgess tarafından 1926 yılında önerilen Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi'nde ise kent mekânı beş bölgeden oluşmaktadır. Merkezden dışa doğru iç içe geçmiş dairelerden oluşan modele göre; kent merkezinde yer alan birinci bölgede, merkezi iş alanlarıdır. Buranın hemen bitişiğinde sanayi alanları ile yoksul insanların yaşadığı varoşların iç içe bulunduğu çok kullanımlı geçiş bölgeleri olarak adlandırılan ikinci bölge yer almaktadır. İşçilerin yaşadığı yerler üçüncü bölgede, orta gelir sınıfının yaşadığı yerler ise dördüncü bölgede yer almaktadır. Dairenin en dışında ise üst gelir sınıfının yaşadığı beşinci bölge bulunmaktadır (Ayazlı, 2011). Ek olarak topoğrafya ve ulaşımın önemli etkisi dikkate alınmamıştır ve tek merkezli şehir gerçek arazi kullanım modellerini temsil etmek için uygun değildir (Candau, 2002). Şekil 3.3.'de Burgess'ın Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Eş merkezli bölgeleme teorisi (Ayazlı, 2011)

3.1.3. Merkezi Alan Teorisi Modeli

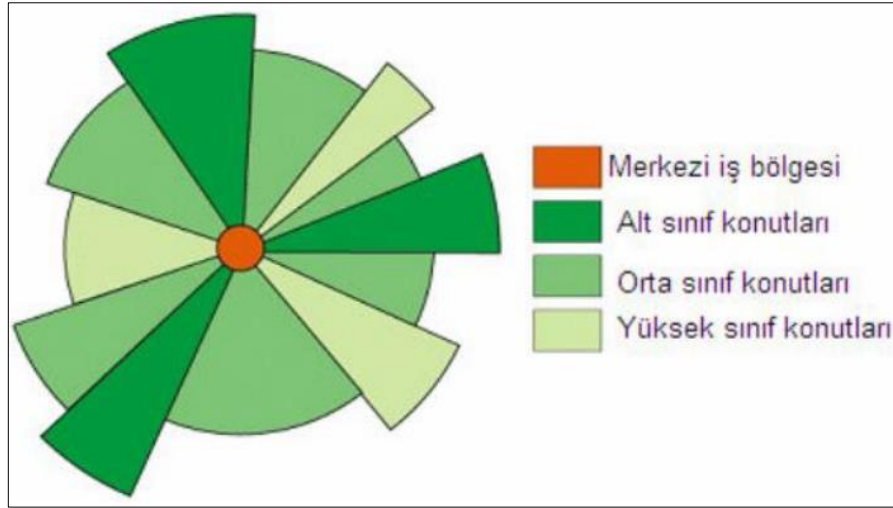
Merkezi Alan Teorisi, Güney Almanya'daki yerleşim kalıplarını incelerken coğrafyacı Walter Christaller(1933) tarafından tasarlanmıştır. Christaller yaşadığı düz arazide, belirli büyüklükteki kasabaların kabaca eşit uzaklıkta olduğunu gözlemledi. Üçgenler ve altıgenler gibi geometrik şekiller kullanarak yerleşim yerlerinin her kalıbını modellemenin mümkün olduğunu bulmuştur. Teoride merkezi bir yeri, kendisine eşit uzaklıkta birkaç küçük kasabaya sahip bir yerleşim yeri olarak tanımlar (Candau, 2002). Şekil 3.4.'de Christaller'ın Merkezi Alan Teorisi Modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Merkezi alan teorisi (Yazıcı ve ark., 2019)

3.1.4. Sektör Alan Teorisi

Sektör Teorisi, 1939 yılında Hoyt'un Burgess'in öne sürdüğü Eş Merkezli Alan Teorisini geliştirmesi sonucunda önerdiği bir teoridir. Bu modelde, ana ulaşım yollarının arazi üzerindeki eş merkez çemberlerini bozduğu, konutların ve iş merkezlerinin ana ulaşım güzergâhları boyunca ilerlediği gözlemlenmiştir. Ayrıca sosyal baskıların, topoğrafik yapının ve coğrafi unsurların dilimlerin oluşmasında etkili olduğu kabul edilmektedir (Yazıcı ve ark., 2019). Şekil 3.5.'de Sektör Alan Teorisi gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Sektör teorisi (Yazıcı ve ark., 2019)

3.2. Günümüzde Kentsel Büyüme Modelleri

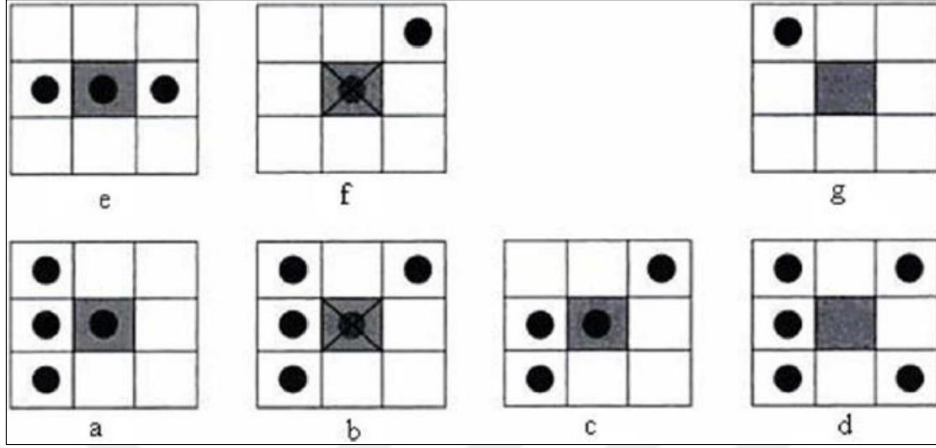
3.2.1. Hücresel Otomat

HO, ilk olarak 1950 yılında bir biyolojik sistem düşüncesiyle ortaya çıkmıştır. John von Neumann HO'a ait ilk öncü kişi olarak bilinir. Neumann başlangıçta bu yaklaşımı işlemcilerin ve verilerin aynı temelde tutulduğu insan beyni benzeri bir bilgisayar oluşturmak için kullanmayı planlamıştır. 1970 yılında John Conway “Hayat Oyunu (The Game of Life)” isimli programı ile popüler HO kavramını oluşturmuştur. Program, basit varsayımsal bir organizmanın yalnızlık ve aşırı kalabalık gibi farklı ortamlarda hayatta kalma mücadelesini taklit etmektedir (Yazıcı ve ark., 2019).

Hayat oyununun evreni, sonsuz ve iki boyutlu dik açılı ızgaraların oluşturduğu ölü veya diri hücrelerdir. Her hücre yatay, dikey veya çapraz olmak üzere bitişik olan sekiz komşusuyla doğrudan etkileşim içindedir. Model içindeki bir hücre, komşu olduğu bu sekiz hücreden bilgi alarak durumunu belirlemektedir. Herhangi bir hücre için, her zaman adımında aşağıdaki değişikliklerden biri gerçekleşmektedir (Yakup, 2018):

- Bir canlı hücrenin, iki ya da üç canlı komşusu varsa değişmeden bir sonraki nesle kalır (Şekil 3.6a ve Şekil 3.6e).
- Bir canlı hücrenin, üçten daha fazla canlı komşusu varsa “kalabalıklaşma nedeniyle”, bir canlı hücrenin, ikiden daha az komşusu varsa “yalnızlık nedeniyle” ölür (Şekil 3.6b ve Şekil 3.6f).

- Bir ölü hücrenin tam olarak üç canlı komşusu varsa canlanır (Şekil 3.6c).
- Bir ölü hücrenin, üçten daha fazla veya ikiden az canlı komşusu varsa ölü olarak kalır (Şekil 3.6d ve Şekil 3.6g).



Şekil 3.6. Conway'in hayat oyunu (Yakup, 2018)

HO, bir durumun hücelere bölünmesi ve her bir hücrenin kendisine komşu olan hücrelerin durumuna göre gelecekteki durumunun kestirilmesine olanak sağlayan bir işletim sistemidir (Ayazlı, 2011). Bu sebeple hücresel otomatın, kentsel gelişim adına simülasyon modellerinin oluşturulmasında kullanılabilirliği araştırma konusu olmuş ve hücresel otomat tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Clarke ve Johnson (2020) yaptığı çalışmada, en popüler ve başarılı arazi kullanım değişikliği modellemeleri arasında hücresel otomata dayalı olanların bulunduğuna vurgu yapılmaktadır.

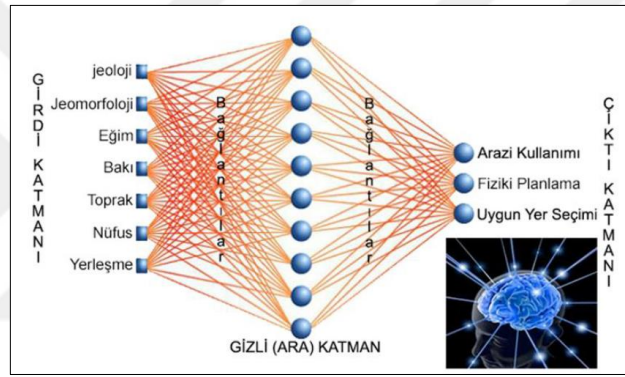
3.2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA), karmaşık ve gerçek dünya problemlerini modellemek için son zamanlarda ortaya çıkan ve birçok disiplinde yaygın olarak kabul gören hesaplamalı modelleme araçlarıdır. YSA'lar, veri işleme ve bilgi temsili için büyük ölçüde paralel hesaplamalar gerçekleştirebilen, yoğun şekilde birbirine bağlı uyarlanabilir basit işlem elemanlarından (yapay nöronlar veya düğümler olarak adlandırılır) oluşan yapılar olarak tanımlanabilir (Basheer ve Hajmeer, 2000).

Çözümü istenen probleme bağlı olarak bir sinir ağı birden fazla ara katmandan ve her katmanda değişik sayıda sinir hücresinden oluşabilir. Ağın giriş katmanında girdiler ağırlıklandırılarak uygun bir aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra ara katmandaki sinir hücrelerine iletilirler. Ara katmanda oluşan girdiler de yeniden

ağırlıklandırılıp uygun aktivasyon fonksiyonu ile varsa diğer ara katmana, yoksa çıkış katmanına iletilirler. Burada her bir katmanda farklı bir aktivasyon fonksiyonu kullanmak olasıdır (Arı, 2009).

YSA modelleme tekniği ulaşım planlama, ulaşım ve arazi kullanım etkileşimleri, arazi kullanım sınıflandırılması, arazi kullanım dönüşümleri ve kentsel büyüme gibi kentsel sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Kentle ilgili çalışmalarda YSA, genellikle doku analizinde kullanılmaktadır (Ayazlı, 2011). Şekil 3.7.'de kent ile ilgili bir çalışmada, arazi kullanımındaki değişiklikleri etkileyebilecek bütün argümanlar girdi olarak belirtilmiştir. Ardından bu bilgilerin matematiksel bir süreçte işlenerek ara katmandan veya katmanlardan geçtikten sonra arazi kullanım verileri ile ilgili sonuç ürünlerin oluştuğu çıktı katmanı ifade edilmiştir.



Şekil 3.7. Yapay sinir ağlarının coğrafi izahı (Çağlayan ve Dağlı, 2014)

3.2.3. Markov Zincirleri

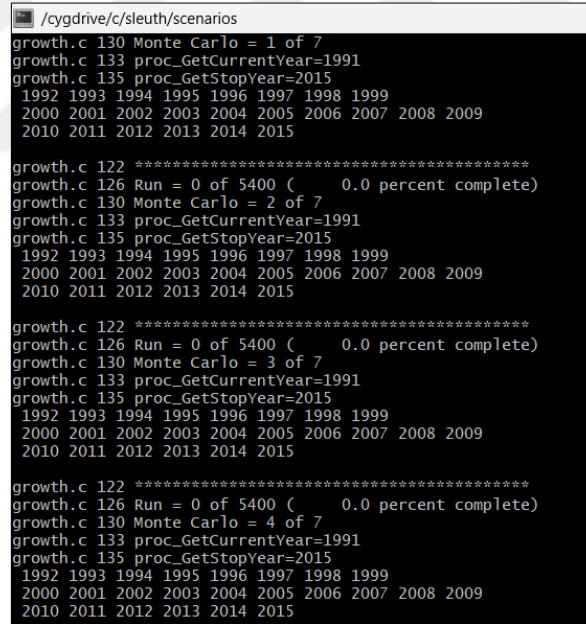
Rus matematikçi Andrei A. Markov tarafından ortaya atılan Markov zincirleri daha çok karmaşık, çok değişkenli olayların analizinde kullanılan olasılıklara dayanan matematiksel tabanlı bir modeldir. Bu değişkenlerin zamanla aldığı durumlar kendinden önceki durumla doğrudan ilişkilidir (Çağlayan ve Dağlı, 2014). Markov Zinciri modelinde arazi kullanım sınıfları arasında değişim olasılıklarını inceleyen geçiş matrisi hesaplanır ve bu matris ile arazi kullanım sınıflarının hücre sayılarında meydana gelebilecek olası değişimler belirlenir (Şahin, 2021).

Markov zincir analizi, mekânsal değişikliklerin tanımlanması zor olduğunda, arazi kullanım değişikliğini modellemek için uygun bir araçtır. İlerideki değişimin yönü ve büyüklüğünün bir göstergesi olarak hizmet eder ve bu analiz, arazi kullanım sınıfları arasındaki geçiş olasılıklarını hesaplamaya yarayan bir süreçtir. Markov zinciri uzamsal

dağılımdaki değişiklikleri modelleme ve simüle yeteneğine sahip değildir. Bununla birlikte, tahmin ve arazi kullanımı değişikliği miktarını tahmin edebilmek için kullanılan etkili ve güçlü bir yardımcıdır (Canpolat ve Dağlı, 2019).

3.3. SLEUTH Kentsel Büyüme Modeli

SLEUTH, gridlenmiş verileri alan ve gelecekteki arazi kullanım durumlarının olasılıksal simülasyonlarını yaratan olgun bir arazi kullanım değişikliği ve kentsel büyümenin hücresel otomat tabanlı simülasyon modelidir (Clarke ve Johnson, 2020). Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nde, Dr. Keith C. Clarke tarafından geliştirilen SLEUTH yazılımı, dünya genelinde pek çok projede kullanılmaktadır. Unix tabanlı çalışan program Windows işletim sisteminde kullanılmak istenirse, Cygwin isimli bir aracı yazılım kullanmak gerekmektedir (Ayazlı, 2011). Açık kaynak kodlu olarak geliştirilen SLEUTH yazılımının arayüzü, Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



```

/cygdrive/c/sleuth/scenarios
growth.c 130 Monte Carlo = 1 of 7
growth.c 133 proc_GetCurrentYear=1991
growth.c 135 proc_GetStopYear=2015
1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999
2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009
2010 2011 2012 2013 2014 2015

growth.c 122 *****
growth.c 126 Run = 0 of 5400 ( 0.0 percent complete)
growth.c 130 Monte Carlo = 2 of 7
growth.c 133 proc_GetCurrentYear=1991
growth.c 135 proc_GetStopYear=2015
1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999
2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009
2010 2011 2012 2013 2014 2015

growth.c 122 *****
growth.c 126 Run = 0 of 5400 ( 0.0 percent complete)
growth.c 130 Monte Carlo = 3 of 7
growth.c 133 proc_GetCurrentYear=1991
growth.c 135 proc_GetStopYear=2015
1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999
2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009
2010 2011 2012 2013 2014 2015

growth.c 122 *****
growth.c 126 Run = 0 of 5400 ( 0.0 percent complete)
growth.c 130 Monte Carlo = 4 of 7
growth.c 133 proc_GetCurrentYear=1991
growth.c 135 proc_GetStopYear=2015
1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999
2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009
2010 2011 2012 2013 2014 2015

```

Şekil 3.8. SLEUTH arayüzü

Model, C dilinde yazılmış bir bilgisayar programı olarak uygulanmıştır. Program bir dizi iç içe döngü olarak çalışır: dış kontrol döngüsü, kümülatif istatistiksel verileri koruyarak her büyüme ‘geçmişini’ tekrar tekrar yürütürken, iç döngü tek bir ‘yıl’ için büyüme kurallarını yürütür (Clarke ve Gaydos, 1998).

İstatistiksel yorumlama tekniklerinin kullanıldığı simülasyon yöntemleri, genellikle rastgele örnekleme temellidir. Monte Carlo (MC) simülasyon temeli en çok tercih edilen simülasyon yöntemlerinden biridir. Geçmişte çözümü çok zor olan ve zaman alan simülasyon hesapları günümüzde kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu durum kentsel büyüme ve yayılmanın belirlendiği modelleri de etkilemiş ve birçok çalışmada simülasyon ile kestirim modelleri kullanılmıştır (Ayazlı, 2011). HO temeline dayanan SLEUTH modelde de MC yöntemi benimsenmiştir.

SLEUTH model, içerisinde barındırdığı iki dahili modülden oluşmaktadır. Bu modüllerden ilki çalışma alanının kentsel büyüme simülasyonunda kullanılan Kentsel Büyüme Modeli (Urban Growth Model (UGM)), diğeri ise arazi kullanımdaki değişimleri veya arazi sınıf geçişlerini belirlemek amacıyla kullanılan Arazi Örtüsü Deltatron Modeli (Land Cover Deltatron Model (LCD))'dir. Yazılımın temelini UGM oluşturmaktadır ve tek başına kentsel büyüme simülasyonlarında kullanılabilir. Ancak LCD, tek başına çalıştırılamamaktadır. Dolayısıyla çalışma alanında, kentsel büyümenin yanında arazi örtüsündeki değişimler de simülasyona dahil edilecekse UGM ile LCD entegre bir şekilde çalışmaktadır.

SLEUTH ismi, modeli çalıştırmak için gerekli verilerin isimlerinin baş harflerinden meydana gelmektedir (Oğuz ve ark., 2010):

- Slope (eğim)
- Landuse (arazi kullanımı)
- Excluded layer (büyümeden hariç tutulan bölge)
- Urban (kent)
- Transportation (ana yollar)
- Hillshade (gölgeleme)

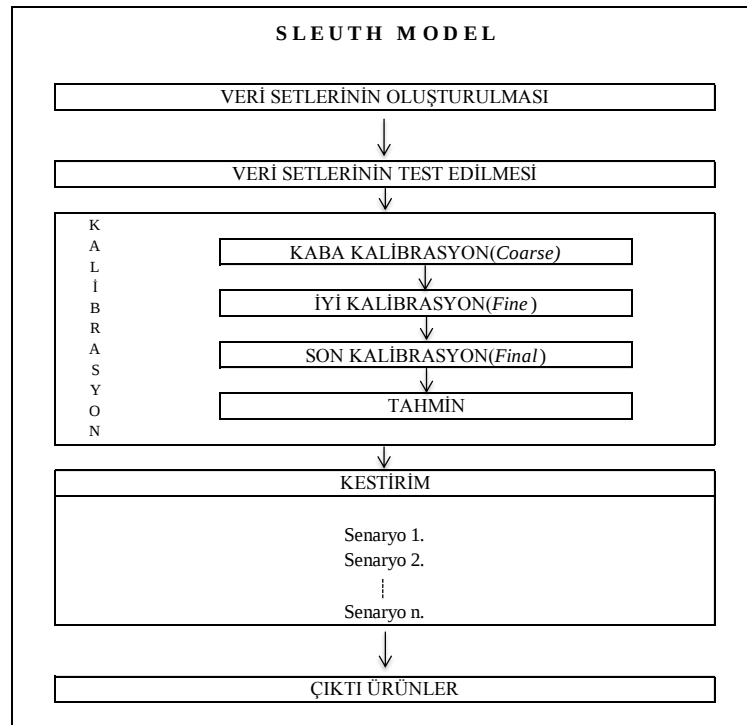
Bahsi geçen altı veri modelin girdi verileri olarak adlandırılmaktadır. Sistemin sorunsuz bir şekilde işleyebilmesi için en az dört adet kent verisi, en az ikişer adet ulaşım ve arazi kullanımı verisi, birer adet de eğim, harici bölge ve gölgeleme verisi gerekmektedir. Eğer kentsel gelişimin yanında arazi kullanımındaki değişimler de modellenmek isteniliyorsa arazi kullanım verileri gereklidir. Ancak bu veri olmadan da yalnızca kentsel alandaki değişimlerin simüle edilebileceği unutulmamalıdır.

Peiman ve Clarke (2014) yaptıkları çalışmada, girdi verilerindeki zaman aralıklarının model doğruluğuna etkisini araştırmışlardır. Buna göre, kısa zaman

periyoduna sahip girdi verilerinin (örn. 2000’den 2006’ya) uzun zaman periyodunda olanlara (örn. 1972’den 2006’ya) göre daha doğru modelleme imkânı verdiği sonucuna varmışlardır.

SLEUTH model ile simülasyonlar oluşturulurken dört adet büyüme kuralı ile ilişkilendirilen beş büyüme katsayısı (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road) kullanılmaktadır. Büyüme kuralları, büyüme katsayıları ve modelin kendi kendini değiştirme (self-modification) özelliği, bir bütün olarak “Büyüme Döngüsü (Growth Cycle)” şeklinde adlandırılmaktadır.

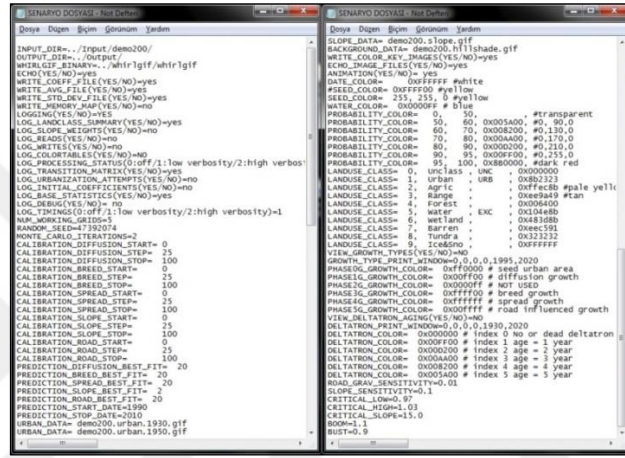
“Test”, “Kalibrasyon” ve “Kestirim” olmak üzere model üç temele dayanmaktadır. Test aşaması, girdi verilerinin simülasyona uygunluğunun test edildiği aşamadır. Bu aşama genellikle kısa sürede tamamlanmaktadır ve verilerin sonraki aşamalar için uygun olup olmadığı hakkında kullanıcı bilgilendirilmektedir. Kalibrasyon aşaması modelin en çok zaman alan bölümüdür ve dört adımda tamamlanmaktadır. Bunlar; “Kaba Kalibrasyon (Coarse)”, “İyi Kalibrasyon (Fine)”, “Son Kalibrasyon (Final)” ve “Tahmin” şeklindedir. Bu aşamada model, girdi verileri yardımıyla büyümeyi tahmin edebilmek için kritik olan parametreleri belirlemeye çalışır. Parametrelerin belirlenmesinin ardından kentsel büyüme simülasyonu için kestirim aşamasına geçilir ve ardından çıktı ürünler elde edilir. Modelin temel iş akışı Şekil 3.9.’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Modelin temel iş akışı

SLEUTH çalışmalarında kentsel gelişme bir senaryoda ele alınabileceği gibi birden fazla senaryo da oluşturulabilir. Bunun için bazı girdi verilerindeki katmanların ağırlıklarında amaca göre değişiklikler yapılmalıdır. İlgili düzenlemeler yapıldıktan sonra simülasyon başlatılabilir.

Program “grow” uygulama dosyasına verilen “test”, “calibrate” ve “predict” komutları ile çalışmakta modele ait değişkenler ve parametreler ise senaryo dosyasında yapılan değişikliklerle tanımlanmaktadır (Yakup, 2018). Örnek bir senaryo dosyası Şekil 3.10.’da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Senaryo dosyası (Gigalopolis, 2021)

Açık kaynak kodlu bir yazılım olan SLEUTH, geliştirildiği günden beri bir takım değişikliklerle test edilmiş ve uygulanmıştır. Chaudhuri ve Clarke (2013) çalışmasında SLEUTH’un çeşitlerinden bahsedilmektedir. Buna göre, zaman içerisinde ‘pSLEUTH’, ‘SLEUTH-3r’, ‘SLEUTH-GA’ olmak üzere çeşitli modeller çalışmalarda kullanılmıştır. Ayrıca yakın zamanda Chaudhuri ve Foley (2019) yaptıkları çalışmada ‘DSLEUTH’ adımı verdikleri yeni bir yaklaşımdan söz edilmektedir.

Bahsi geçen çeşitlerin ortaya çıkmasının temel sebebi, modelin geniş zaman aralığı gerektiren kalibrasyon aşamasını kısaltmaktır. Clarke ve Johnson (2020) çalışmasında, SLEUTH-GA’nın modeli 3-22 kat daha iyi hesaplama hızıyla kalibre edebildiğine vurgu yapılmaktadır.

Dünya çapında birçok şehirde kentsel büyümenin analiz edilmesinde kullanılan SLEUTH model Türkiye’de ilk kez Şevik (2006) çalışmasında, Antalya’da kullanılmıştır. Bu çalışmanın ardından SLEUTH kentsel büyüme modeli, farklı zamanlarda farklı şehirlere de uygulanmıştır.

3.3.1. Modelin Girdi Verileri

SLEUTH model, isminin baş harflerinden oluşan; eğim, arazi kullanımı, harici bölge, kent alanları, ulaşım ve gölgeli kabartma olmak üzere altı farklı girdi verisi kullanmaktadır. Simülasyon başlatılmadan önce, düşük-orta-yüksek çözünürlükte üç farklı veri seti ve her veri setinde altışar adet bulunan girdi verileri için yapılması gereken düzenlemeler bulunmaktadır.

Modeli çalıştırmak için tüm girdi veri katmanlarının veri formatı, çözünürlük ve boyut açısından standartlaştırılması gerekir (Yang ve Lo, 2003). Bu bağlamda girdi verilerinde bulunması gereken standart özellikler şunlardır:

- Tüm girdi verileri gri tonlamalı, sekiz bitlik GIF formatında olmalıdır.
- Tüm girdi verileri aynı koordinat sisteminde ve aynı projeksiyonda üretilmelidir.
- Tüm girdi verileri programın kabul ettiği isimlendirme standartlarına uygun olarak isimlendirilmelidir.
- Tüm girdi veri setleri, kendi içinde satır*sütun olarak eşit sayıda piksel sayısına(çözünürlüğe) sahip olmalıdır.
- Tüm girdi veri setlerindeki piksel boyutları test ve kaba kalibrasyon aşamasında düşük çözünürlükte (1/4), iyi kalibrasyon aşamasında orta çözünürlükte (1/2) ve son kalibrasyon aşamasında yüksek çözünürlükte (1) olmalıdır.

Topoğrafya, genel anlamda kentsel gelişim için mevcut olan en temel alan tanımını oluşturur. Geliştirme kolaylığı nedeniyle, düz alanlar üzerine inşa edilmesi en kolay olanlardır. Eğim arttıkça araziler daha az yaşanabilir hale gelmekte ve nihayetinde yapısal fizibilite nedeniyle kalkınması imkânsız hale gelmektedir (Candau, 2002). SLEUTH model uygulamasında kullanılan eğim verisi, sayısal yükseklik modellerinden elde edilebilmektedir. Modelleme sürecinde kullanılacak eğim verisinin 8 bit veri yapısında, yüzde (%) değerinde ve piksel parlaklık değerleri 0-100 aralığında olacak şekilde hazırlanması gerekmektedir (Tombuş, 2019).

SLEUTH ile yalnızca kentsel gelişim analiz edilmek isteniyorsa arazi kullanım verilerine ihtiyaç yoktur. Ancak kentsel gelişim ile birlikte arazi kullanımındaki değişikliklerin analizinde, arazi kullanım verileri gereklidir. Eğer bu veriler kullanılacaksa, UGM'nin yanında LCD de devreye girer ve simülasyonlar yürütülür. Bu verinin oluşturulabilmesi için uydu görüntülerine ihtiyaç vardır. Uydu görüntülerinin

ilgili yazılımlarda sınıflandırılması ile birlikte çalışma alanındaki arazi sınıfları belirlenir. Her arazi sınıfı farklı parlaklık değerlerindeki piksellerden oluşacağından dolayı, bu durum modele senaryo dosyasındaki ayarlamalar ile entegre edilebilmektedir. Aynı zamanda kullanıcılar, çıktı ürünlerdeki bu sınıfların RGB ve HEX kodlarını belirleyebilmektedir.

Kentsel gelişimden hariç tutulacak bölgeler için piksel parlaklık değerleri 0-100 aralığında değerler almaktadır (Tombuş, 2019). Bu katman aynı zamanda, kentleşme hızını yavaşlatmak veya değiştirmek amacıyla büyümeye karşı ‘direnciler’ oluşturulabilmesi için ağırlıklı bir katman olabilir (Dietzel ve Clarke, 2007). Harici bölge verisinin önemi, SLEUTH modelde kentsel gelişim için oluşturulacak senaryolarda ortaya çıkmaktadır. Örneğin orman alanlarında kentsel gelişimin olması istenmiyorsa bu alanlara 100 değeri atanır. Bu durum, tam koruma anlamına gelmektedir. Bir başka senaryoda ise bu alanlara 60 değeri atanabilir. Bu değer, orman alanlarının %60 olasılıkla korunacağı anlamını taşımaktadır. 0 değerinin atanması ise, kentleşmeye tamamen elverişli olduğu anlamına gelir. Model tarafından büyüme döngülerinde, kullanıcıların tercihine bırakılan bu ve benzeri durumlar göz önünde bulundurulmaktadır.

Kentsel büyüme simülasyonu modelin ana odak noktasıdır. Kentsel büyümenin doğrusal bir süreç olmadığını kabul edersek, daha dinamik bir büyüme modelinin sunulabilmesi için kentsel kapsamda dört girdi veri katmanı gereklidir (Dietzel ve Clarke, 2006). Kent alanları verisinin ana odak noktası, her bir pikselin temsil ettiği arazi parçasının kent alanı olup olmamasıdır. Bu sebeple kentsel alan olmayan pikseller 0, kentsel alanı temsil eden pikseller ise 255 değerini alacak şekilde sınıflandırılır.

Ulaşım altyapısı şehrin büyümesiyle birlikte genişler. Kalibrasyona ulaşımın dinamik etkisini dâhil etmek için, zamanla değişen birkaç yol katmanı arzu edilir (Candau, 2002). Program, yol ağırlığı değişkenini kullanır ve yol ağına daha iyi erişilebilirliğin ve bağlanabilirliğin daha fazla kentleşmeyi cezbedtiğini varsayar (Sietchiping, 2004). Buna göre ulaşım girdi verisinde yol olan pikseller 100, yol olmayanlar ise 0 değerini almaktadır. Ancak kullanıcı bu duruma iki farklı yaklaşım getirebilir. Birinci yaklaşım, yol var veya yol yok şeklindeki basite indirgenmiş ikili yaklaşımdır. İkinci yaklaşım ise, yolların kategorize edilerek 0-100 aralığında ağırlıklandırılması durumudur. Örneğin yol olmayan yerlere 0, köy yollarına 25, cadde ve sokaklara 50, ana yollara 75 ve otoyollara 100 değerinin verilmesiyle ulaşım verisi kentsel büyüme analizinde daha etkin bir biçimde kullanılabilir.

Gri tonlamalı arka plan görüntüsü, model tarafından oluşturulan mekânsal verilerle bağlantı sağlar. Konum ve ölçeğin yanı sıra topoğrafyayı tanımlamak için kullanışlıdır. Bu katman, model simülasyonu için aktif bir girdi değildir ancak model çıktı görüntüsünün görsel olarak incelenmesine ve analizine büyük ölçüde yardımcı olabilmektedir (Candau, 2002). Gölgeleme verisi, topoğrafya ile ilişkili olduğundan sayısal yükseklik modelinden üretilerek simülasyonlar sonucunda kentsel gelişmenin görsel anlamda daha etkin bir şekilde değerlendirilmesinde bir araç olarak kullanılmaktadır.

3.3.2. Modelin Büyüme Döngüsü

Büyüme döngüsü SLEUTH uygulamasının temel birimidir. Katsayıların her birini benzersiz bir değere ayarlayarak başlar. Daha sonra büyüme kurallarının her biri uygulanır (Gigalopolis, 2021). SLEUTH en erken verilerle (geçmişteki en uzak tarih) başlatılır ve büyüme döngüleri oluşturulur (Candau, 2002). Aslında simülasyon, ilk kontrol yılından bitiş tarihine kadar olan bir dizi büyüme döngüsüdür ve her simülasyonda model, farklı model parametreleri kombinasyonları aracılığıyla tanık olunan kentsel büyüme modelini yeniden üretmeye çalışır (Dezhkam ve ark., 2014).

3.3.2.1. Büyüme Katsayıları

Büyüme kurallarının uygulanması ve sistemin genel davranışı, beş adet büyüme katsayısındaki değişimler ile ilişkilidir. Kalibrasyon aşaması sonucunda elde edilen her katsayı 0-100 aralığında değerler almaktadır. Bu katsayılar:

1. Saçılım Katsayısı (Diffusion Coefficient)
2. Üreme Katsayısı (Breed Coefficient)
3. Yayılma Katsayısı (Spread Coefficient)
4. Eğim Katsayısı (Slope Resistance Factor)
5. Yol Çekim Katsayısı (Road Gravity Factor) şeklinde adlandırılmaktadır.

Saçılım katsayısı, kendiliğinden büyüme sırasında olası kentleşme için bir pikselin rastgele kaç kez seçileceğini kontrol eder (Candau, 2002). Üreme katsayısı, yeni oluşturulan bağımsız bir yerleşimin kendi büyüme döngüsüne başlama olasılığıdır (Dietzel ve Clarke, 2007). Yayılma katsayısı, yeni gelişen bir yerleşimin parçası olan

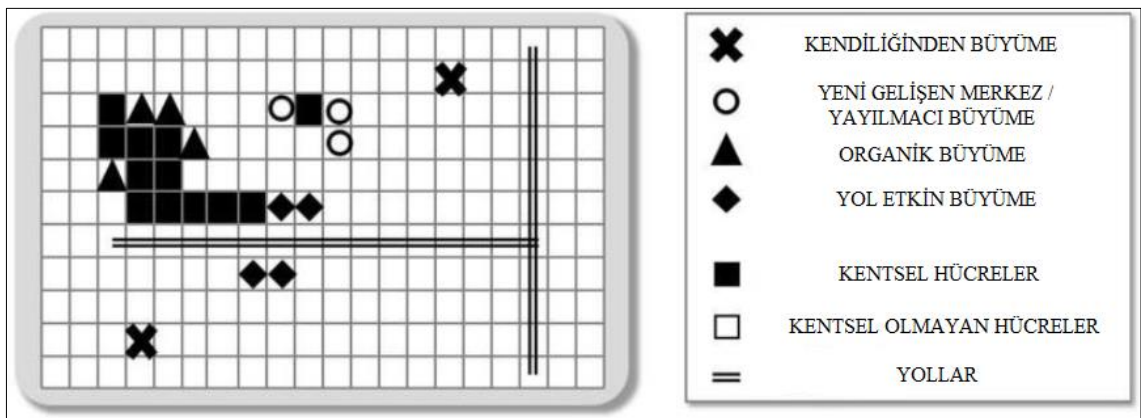
herhangi bir pikselin ek bir kent pikseli üretme olasılığını belirler. Eğim katsayısı, kentleşmenin olabilmesi için eğimin dikkate alınması faktörünü kontrol eder. Yol çekim katsayısı, kentsel alanda yeni oluşacak herhangi bir pikselin ulaşımın etkisiyle yolların etrafında meydana gelmesi durumunu kontrol eder.

3.3.2.2. Büyüme Kuralları

SLEUTH modele büyümeyi kontrol eden dört tür büyüme kuralı tanımlanmıştır. Kurallar hücre komşulukları özelinde ve birbirleriyle entegre bir biçimde çalışmaktadır. Bu kurallar:

1. Kendiliğinden/Doğal Büyüme Kuralı (Spontaneous Growth Rule)
2. Yeni Gelişen Merkez/Yayılmacı Büyüme Kuralı (New Spreading Centers/Diffuse Growth Rule)
3. Kenar/ Sınır Büyümesi Kuralı (Edge/Organic Growth)
4. Yol Etkin Büyüme Kuralı (Road Influenced Growth) şeklinde adlandırılmaktadır ve Şekil 3.11.'de gösterilmektedir.

Clarke ve ark. (1997) büyüme kurallarını şu şekilde tanımlamışlardır; rastgele seçilmiş bir hücre, şehirleşmiş bir hücreye yeterince yakın düştüğünde kendiliğinden kentsel büyüme meydana gelir. Yeni gelişen merkez büyüme kuralında ise, halihazırda kurulmuş bir kent alanının yakınında bulunmasalar bile gelişme için arzu edilecek kadar uygun konumdaki hücreleri kent alanlarına dönüştürür. Organik büyüme, şehirlerin mevcut kentsel merkezlerden dışarıya doğru gelişimini ifade eder. Yol etkin büyüme, şehirleşmiş hücreleri yol ağı boyunca gelişmeye teşvik eder.



Şekil 3.11. Büyüme kuralları (Roth ve Koscianski, 2020)

3.3.2.3. Kendi Kendini Değiştirme (Self-Modification)

Büyüme katsayıları, bir uygulama boyunca mutlaka statik kalmaz. Hızlı veya düşük büyüme oranlarına yanıt olarak, sistem genelindeki büyüme oranı eğilimlerini daha da teşvik etmek için katsayılar artırılabilir veya azaltılabilir. Kendi kendini değiştirme kuralları olarak adlandırılan ikinci bir büyüme kuralı düzeyi, alışılmadık derecede yüksek veya düşük bir büyüme oranı tarafından yönlendirilir. Büyüme oranı, her model büyüme döngüsü veya ‘yıl’ için model tarafından dört farklı büyüme türünün toplamıdır (Gigalopolis, 2021). Eğer büyüme oranı kritik eşik değerini (Critical High) aşarsa “BOOM” durumu meydana gelir ve saçılım, üreme, yayılma katsayıları birden büyük bir sabit ile çarpılır. Büyüme oranının kritik eşik değerinin (Critical Low) altında kalmasında ise “BUST” durumu meydana gelir ve katsayılar birden küçük bir sabit ile çarpılır.

3.3.3. Test Aşaması

Girdi verilerinin elde edilmesinin ardından, senaryo dosyasında çeşitli parametre ve isimlendirme ayarlarının yapılmasıyla birlikte test aşaması başlatılabilir durumdadır. Bu aşama, girdi verilerin kentsel büyüme simülasyonu için modele uygunluğunun test edildiği adımdır. Kısa zamanda tamamlanabilen bu aşama ile kullanıcılar, verilerde sorun olup olmadığını anlayabilmektedir. Eğer test aşaması başarılı bir şekilde sonuçlanırsa kalibrasyon aşamasına geçilir.

3.3.4. Kalibrasyon Aşaması

Model kalibrasyonunda, kentleşme ve arazi kullanım değişikliğinin mekânsal modellerini en iyi şekilde kopyalayan parametre setini bulmak için girdi verilerine geçiş kuralları uygulanır. Bu model için geçiş kuralları, uzayda ve iç içe geçmiş iki geçici döngüde tek biçimli olarak uygulanır. İlk döngü, girdi verilerinin ilk yılı olan ‘seed’ katmanı ve sonuncusu arasındaki geçişleri en iyi şekilde tekrarlamak için parametreleri kullanmaya çalışan en dıştaki döngüdür. İkinci döngü, bireysel girdi dönemleri arasındaki büyümeyi ve geçişleri tekrarlamaya çalışır (Dietzel ve Clarke, 2006). Bu sayede ilk girdi verisi ile son girdi verisi arasındaki kentsel büyümenin tahmini yapılmaktadır.

Kalibrasyon işlemi, kaba (coarse) kalibrasyon, iyi (fine) kalibrasyon, son (final) kalibrasyon ve tahmin olmak üzere dört adımdan oluşmaktadır. Her adımda veri

setlerindeki girdi verilerinin çözünürlükleri artırılmakta, “modellenen ve mevcut durum arasındaki ilişkiler, Pearson(r^2) istatistiği kullanılarak on üç farklı metrik değeri ile belirlenmektedir” (Tombuş, 2019).

Model kalibrasyonunun her adımında metrik değerlerin elde edilmesi “Brute Force Calibration (BFC)” tekniğiyle mümkün olmaktadır. Bu metrikler; Product, Compare, Population, Edges, Clusters, Cluster Size, Lee-Sallee, Slope, %Urban, X-Mean, Y-Mean, Rad ve F-Match şeklindedir. Çizelge 3.1’de metriklerle ait açıklamalar görülmektedir.

Elde edilen metrik değerler yardımıyla beş adet büyüme katsayısı belirlenmektedir. Bu katsayıların belirlenebilmesi için genellikle “Optimal SLEUTH Metric (OSM)” yöntemi veya “Lee-Sallee” yöntemi kullanılmaktadır. Yöntemler büyüme katsayılarının belirlenmesi işlemini farklı bakış açıları ele almaktadır. Ayrıca literatürde, katsayıların optimum seviyede belirlenebilmesi için kompleks yöntemlere dayanan çalışmalar da mevcuttur.

OSM yöntemi, kalibrasyonun her adımında hesaplanan on üç metriğin yedi tanesinin çarpımı ile her iterasyonda bir değer elde etmektedir. Elde edilen değerler yardımıyla büyüme katsayıları belirlenmektedir. Bahsi geçen yedi metrik; compare, population, edges, clusters, slope, X-mean, Y-mean şeklindedir. Dietzel ve Clarke (2007) çalışmasında, eğer kentsel büyümenin yanında arazi kullanımı da modelleneyecekse F-match metriği de yönteme dâhil edilmesi gerektiğinden bahsedilmesine ek olarak OSM yönteminin SLEUTH kalibrasyonu için güçlü sonuçlar sağlayacağı belirtilmiştir.

Lee-Sallee, simüle edilmiş ve gerçek kentsel alanların kesişim ve birleşiminin oranıdır (Dietzel ve Clarke, 2007). Hesaplanan on üç metriğin biri olan bu değer aldığı en yüksek değerler, büyüme katsayılarını belirlemede önemli bir yere sahiptir. Modelleme başarısı açısından, değer olabildiğince bire yakın olması beklenir. Yıldırım ve Ayazlı (2021) çalışmalarında, aynı girdi verilerini kullanarak iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, sadece ulaşım ağlarının etkisinin incelenmesinde Lee-Sallee yönteminin kullanılmasının daha uygun olduğu fikri hâkimdir. OSM yöntemi ile elde edilen sonuçlarda ise ekonomik etmenler, kent içi sorunlar, barınma tercihleri gibi faktörlerin de kentsel büyümeye etkilerinin modellendiği düşünülmektedir.

Her kalibrasyon aşamasında Monte Carlo iterasyonları ile işlem yapılmaktadır ve iterasyon sayıları kademeli olarak artırılmaktadır. Bu durumda iterasyonların sayısı önem kazanmaktadır. Goldstein ve ark. (2005) çalışmalarında, ne kadar çok Monte Carlo

yinelemesi yapılırsa o kadar iyi olduğu varsayımını çürüterek, SLEUTH için 10-25 Monte Carlo yinelemesinin ideal olduğu sonucuna varmışlardır.

Çizelge 3.1. Metrikler (Yakup, 2018)

<i>Metrik</i>	<i>Açıklaması</i>
<i>Product</i>	Diğer bütün metriklerin birbiri ile çarpımını ifade eder.
<i>Compare</i>	Son yıla ait modellenmiş tüm kent hücre sayısı ile son yıla ait güncel kent hücre sayısının oranıdır.
<i>Population</i>	Kontrol yılları için modellenen kentleşmenin güncel kentleşme ile kıyasının regresyon değeridir.
<i>Edges</i>	Kontrol yılları için modellenen kent sınır sayısı ile güncel kent sınır sayısının kıyası sonucunda elde edilmiş regresyon değeridir.
<i>Clusters</i>	Kontrol yılları için modellenen tüm kent kümeleri ile bilinen tüm kent kümeleri kıyasının regresyon değeridir.
<i>Cluster Size</i>	Kontrol yılları için ortalama küme ölçüsü değerinin bilinen küme ölçüsü değeri ile kıyaslanmasının regresyon değeridir.
<i>Lee-Sallee</i>	Kontrol yılları için modellenen büyüme ile bilinen büyüme arasındaki şekilsel uyumun ölçülmesidir.
<i>Slope</i>	Kontrol yılları için modellenmiş kent hücrelerinin ortalama eğiminin bilinen kent hücrelerinin ortalama eğimi ile kıyasının regresyon değeridir.
<i>%Urban</i>	Kontrol yılları için kentleşme potansiyeli taşıyan hücre yüzdesinin kentleşmiş hücreler ile kıyasının regresyon değeridir.
<i>X-Mean</i>	Kontrol yılları için modellenen kentleşme hücrelerinin ortalama X değerinin bilinen kent hücrelerinin ortalama X değeri ile kıyasının regresyon değeridir.
<i>Y-Mean</i>	Kontrol yılları için modellenen kentleşme hücrelerinin ortalama Y değerinin bilinen kent hücrelerinin ortalama Y değeri ile kıyasının regresyon değeridir.
<i>Rad</i>	Kent hücrelerini içine alan dairenin ortalama yarıçapına ait regresyon değeridir.
<i>F-match</i>	Arazi kullanımı sınıflarının uyumu ölçütüdür.

3.3.5. Kestirim Aşaması

Kalibrasyon aşamasının sonucunda elde edilen nihai büyüme katsayıları, kentsel gelişmenin modellenenebilmesi için önemlidir. Son kontrol yılına ait kent verisi üzerinden, büyüme katsayıları yardımıyla istenilen yıla ait kentsel büyüme haritaları SLEUTH'un kestirim aşamasında oluşturulmaktadır.

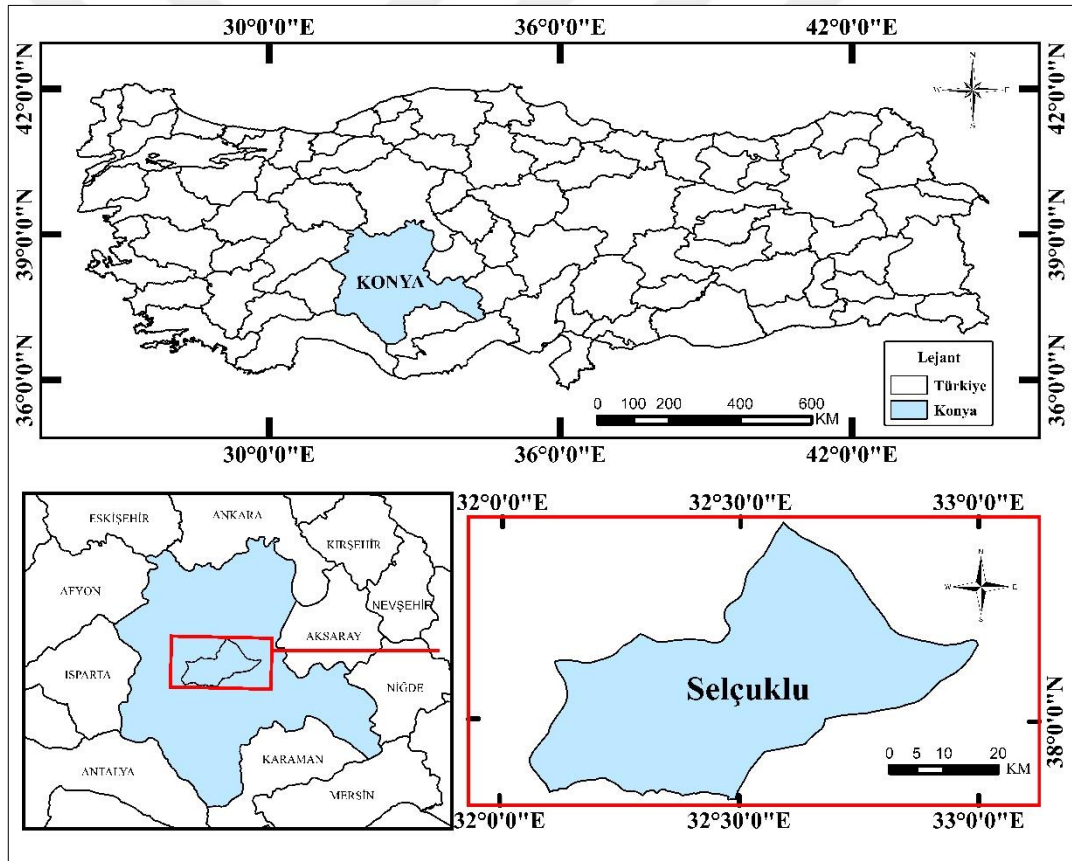
Senaryo dosyasına son kontrol yılı, büyümenin modellenmesi istenilen yıl, büyüme katsayıları, MC iterasyon sayısı vb. parametreler işlendikten sonra kestirim aşaması gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada SLEUTH, büyüme katsayılarıyla her geliştirilen yıl için büyüme döngüleri oluşturacaktır. Kentsel büyümenin modellenmesi istenilen yılı da analiz ettikten sonra büyüme döngüleri duracak, istatistiksel ve görsel çıktıları kullanıcıya sunacaktır.

SLEUTH model ile kentsel büyümenin modellenmesi, yakın veya uzak gelecek için istenilen tarihte yapılabilir. Ancak çalışma alanındaki şehirleşme, nüfus, sosyoekonomik faktörler vb. göz önüne alındığında modellenecek yılın doğruluğu çalışmanın amacı için önem kazanmaktadır. Chaudhuri ve Clarke (2014) yaptıkları çalışmada, başlangıç tarihinden 10 yıl sonrası için büyümeyi tahmin eden haritaların hala kabul edilebilir doğruluk seviyesinde olduğunu ancak 10 yılın ötesindeki gelecek tahminlerinin giderek daha belirsiz hale geldiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada şehir tarihi, referans haritaların doğruluğu gibi faktörlerin de gelecek tahminlerindeki tutarlılığa bağlı olduğuna vurgu yapılmaktadır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanı

Cumhuriyet döneminde Konya, yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en büyük ilidir. 1989 yılında Ayrancı, Ermenek ve Kâzımkarabekir ilçelerini de içeren Karaman ilinin Konya'dan ayrılmasına rağmen, il bu özelliğini korumaktadır. Konya 1984'te 3030 sayılı yasa ile "Büyükşehir" olmuş, 1989'dan beri belediye hizmetleri bu statüye göre yürütülmektedir. Konya iline bağlı 3'ü merkez ilçe olmak üzere toplam 31 ilçe bulunmaktadır (Tapur, 2010). Bahsi geçen merkez ilçelerden biri olan Selçuklu ilçesi bu çalışmaya altlık oluşturmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Lokasyon haritası

Konya ili Selçuklu ilçesi, 36° 52' Kuzey enlemi ile 32° 29' Doğu boylamı arasında yer almaktadır. İlçenin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1016 metredir. İlçenin yüzölçümü 1836.3 km²'dir (Mevka, 2019). Genel olarak ovalık bir alanda kurulmuş olan

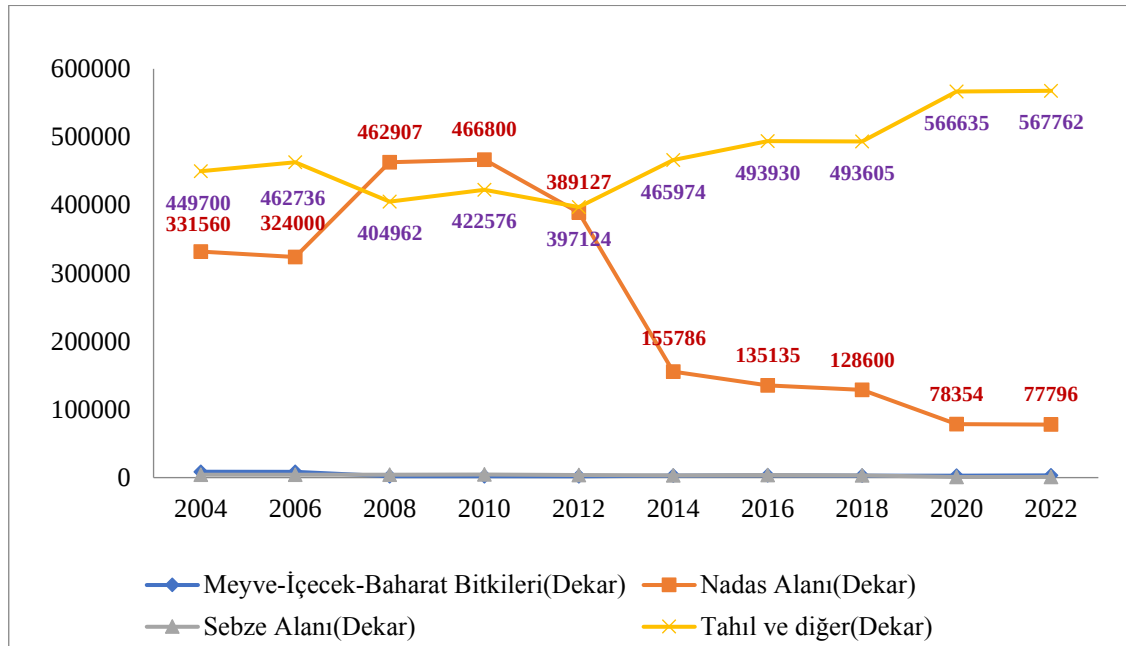
ilçenin batı tarafında kısmen dağlık alanlar bulunmaktadır. Arogoli Gölü, Sille Barajı ve Altınapa Barajı ise ilçede bulunan tatlı su kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir.

Selçuklu ilçesinin yıllara göre nüfus verilerini içeren Çizelge 4.1.'e bakıldığında bölgede hızlı nüfus artışı olduğu görülmektedir. Buna göre 1990 yılında ilçe nüfusu il nüfusunun yaklaşık yüzde on ikilik bölümünü kapsıyorken, 2022 yılına gelindiğinde bu oran yüzde otuza ulaşmıştır. Bu durum Selçuklunun otuz yıllık süre zarfında merkezi ilçe olma durumunu gözler önüne sermektedir.

Çizelge 4.1. Selçuklu nüfus verileri

SELÇUKLU		
YILLAR	NÜFUS	İLÇE PAYI (%)
1990	208469	11.91
2000	348329	15.89
2010	508102	25.23
2015	604706	28.38
2022	690667	30.08

İlçede 2022 yılı itibarıyla 1021 dekar sebze alanı bulunurken, 3276 dekar meyve-ıcecek-baharat bitkileri alanı bulunmaktadır (URL1). Şekil 4.2.'de aynı yıl verileri incelendiğinde 567762 dekar tahıl alanı varlığı söz konusudur. Bu alan son 18 yılın en yüksek seviyesinde, benzer şekilde nadas alanları ise son 18 yılın en düşük seviyesindedir.



Şekil 4.2. Selçuklu ilçesi tarım alanları

Nüfusun hızlı artış eğiliminde olduğu bir bölgede tarımsal faaliyetlerin önem kazanması kaçınılmazdır. TÜİK verilerine göre 2022 yılında Selçuklu ilçesinde hasadı en çok yapılan ürünler Çizelge 4.2.'de sıralanmıştır. Buna göre en çok arpa ve buğday hasadı yapıldığı görülmektedir. Ürünler kendi içinde yıllara göre değerlendirildiğinde ise hasadı yapılan alanlarda dolayısıyla da üretim miktarlarında dalgalı bir seyir olduğu gözlemlenmektedir. Örneğin 2005 yılında hasat edilen buğday 73820 dekar iken 2015 yılına gelindiğinde ciddi bir artış ile 174388 dekar olmuştur. Ancak aynı ürünün 2022 yılı verilerine bakıldığında 149000 dekar hasat yapıldığı ve bu alanda azalma olduğu görülmektedir. Buna benzer durumların tarımsal üretimi doğrudan etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

Bu tez çalışmasında Konya ili Selçuklu ilçesinde kentsel büyümenin tarım alanlarına olan etkisi belirlenerek tarımsal faaliyetlerdeki meydana gelebilecek değişimin ve gelecekteki tahminin Çizelge 4.2.'ye göre analizi hedeflenmiştir.

Çizelge 4.2. Tahıl ve diğer bitkisel ürün istatistikleri

	Selçuklu 2005	İlçe Payı (%)	Selçuklu 2010	İlçe Payı (%)	Selçuklu 2015	İlçe Payı (%)	Selçuklu 2022	İlçe Payı (%)
Arpa								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	295460	7.43	158000	5.37	183418	6.70	225000	5.82
Üretim Miktarı(Ton)	56243	6.41	27490	4.2	89348	9.19	66702	5.27
Verim(kg/dekar)	190		174		487		296	
Buğday (D.Buğdayı Hariç)								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	73820	1.55	163911	3.47	174388	3.59	149000	3.80
Üretim Miktarı(Ton)	10347	1.26	27526	2.68	73245	4.32	36753	2.80
Verim(kg/dekar)	140		168		420		247	
Durum Buğdayı								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	44790	1.88	51508	2.56	61008	2.62	70000	3.83
Üretim Miktarı(Ton)	6668	1.28	9459	1.94	26260	3.06	19038	3.09
Verim(kg/dekar)	149		184		430		272	
Mısır								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	30	0.03	712	0.46	2863	0.52	49000	2.63
Üretim Miktarı(Ton)	18	0.02	392	0.38	2748	0.49	44337	2.17
Verim(kg/dekar)	600		551		960		905	
Ayçiçeği(Yağlık)								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	50	0.10	2000	0.85	12092	2.63	23860	3.54
Üretim Miktarı(Ton)	8	0.10	365	0.78	5704	2.71	9898	3.89
Verim(kg/dekar)	160		183		472		415	
Şeker Pancarı								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	14690	2.00	16208	2.10	17400	2.43	14000	1.91
Üretim Miktarı(Ton)	76983	2.01	102722	2.08	104079	2.28	101363	1.69
Verim(kg/dekar)	5241		6338		5982		7240	
Nohut								
Hasat Edilen Alan(Dekar)	11000	2.23	6500	3.10	5030	2.53	3950	1.34
Üretim Miktarı(Ton)	770	1.38	618	2.14	1406	4.73	480	1.22
Verim(kg/dekar)	70		95		280		122	

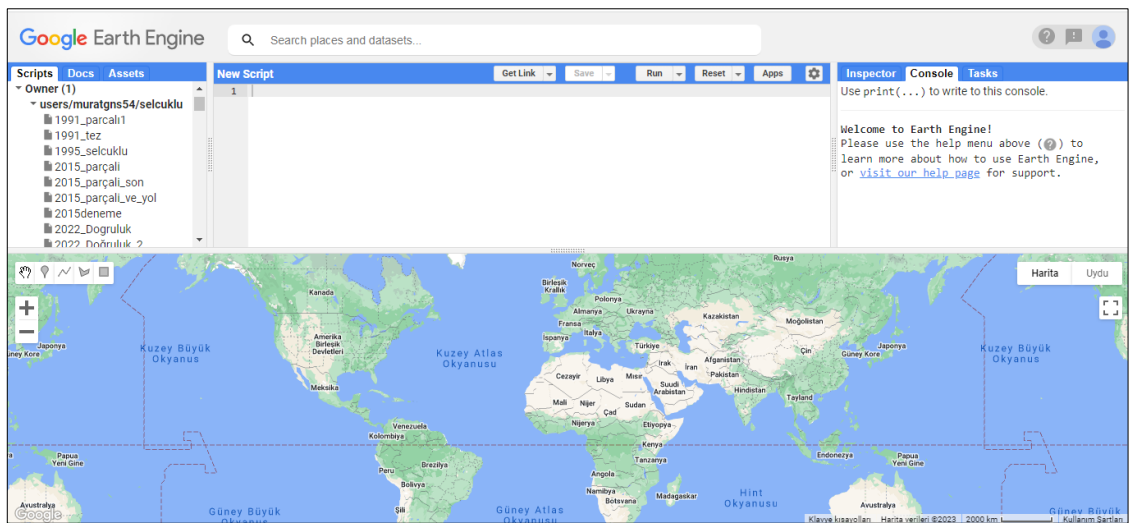
4.2. Girdi Verilerinin Hazırlanması

Tüm girdi verileri Asus Intel Core i7 6700HQ işlemci DDR4 12GB Ram teknik özelliklerine sahip olan bilgisayar ile hazırlanmıştır. Donanımsal özelliklerin önemi, hücresel otomat mantığına dayanan ve piksel tabanlı işlemler yapan SLEUTH modelin kalibrasyon aşamasında zamansal faktörler özelinde ortaya çıkmaktadır.

Kentsel büyüme ve arazi kullanımı simülasyonu oluşturulurken SLEUTH kuralları göz önüne alınarak tüm veriler aynı projeksiyonda, aynı koordinat sisteminde, aynı mekânsal çözünürlükte ve aynı isimlendirme standardında hazırlanmıştır.

Tüm girdi verileri, çalışma alanı olan Selçuklu ilçesinin bulunduğu coğrafi konum göz önüne alınarak WGS 84 datumunda, UTM 36N 6 derecelik koordinat sisteminde hazırlanmıştır.

Tüm girdi verilerinin hazırlanması için gerekli uydu görüntülerinin elde edilmesinde Şekil 4.3.'de arayüzü gösterilen ve ücretsiz erişime açık olan Google Earth Engine (GEE) platformundan yararlanılmıştır. GEE, çok petabaytlık uydu görüntüleri kataloğunu ve jeo-uzamsal veri kümelerini gezegen ölçeğinde analiz yetenekleriyle birleştirir (URL2). Dolayısıyla tez çalışmasında kullanılan farklı yıllara ait Landsat uydu görüntülerinin elde edilmesi ve işlenmesinde zamandan büyük oranda tasarruf sağlanmıştır. Aynı zamanda platform bünyesinde yer alan hazır kodlarda çalışma alanına ve çalışmanın amacına uygun olacak şekilde yapılan düzenlemeler sonucunda veriler “GeoTIFF” formatta dışa aktarılarak ArcGIS yazılımında SLEUTH model girdi verisi olacak şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.3. Google Earth Engine arayüzü

Tüm girdi verileri hazırlanırken çalışma alanı olan Selçuklu ilçesini içine alan dikdörtgen bir çerçeve çizilmiştir böylece verilerin satır*sütun bazında eşit sayıda piksel içermesi sağlanmıştır. Çalışma alanı dışında kalan ancak çerçeve içeriğine dahil olan boş alanlar ise simülasyonlara dahil edilmeyerek kentsel büyüme analizlerini etkilememiştir. Çerçeve boyutu, çalışmadaki en iyi mekânsal çözünürlük olan 30 metrede 2848*1800 piksel şeklindedir ve mekânsal çözünürlük 60 metreye düşürüldüğünde 1424*900 piksel, 120 metreye düşürüldüğünde ise 712*450 piksel olmuştur. Bahsi geçen tüm standartlar ArcGIS yazılımı ile 8 bit radyometrik çözünürlükte ve ‘.gif’ formatta hazırlanmıştır. Böylece verilerin piksel parlaklık değerleri 0-255 aralığında olacaktır.

4.2.1. Arazi Kullanımı (Landuse) Verisi

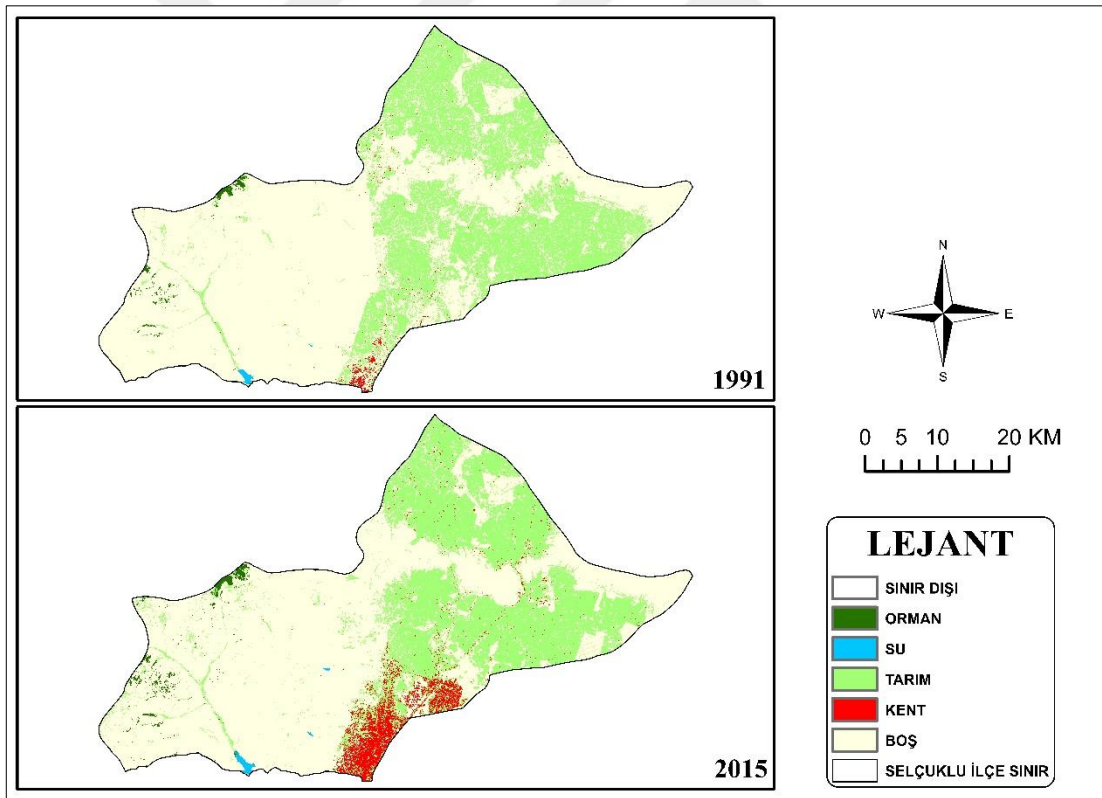
SLEUTH modelin dahili iki modülünden biri olan LCD, ilk çekirdek yılı ve son kontrol yılı olmak üzere iki farklı arazi kullanımı verisine ihtiyaç duyar. Tez çalışmasında çekirdek yıl için 1991, son kontrol yılı için ise 2015 seçilmiştir. 2015 yılının son kontrol yılı seçilmesinin ana sebebi 2015 yılından itibaren başlayacak olan tahmin simülasyonlarının 2022 verileri ile günümüz gerçek verilerinin kıyaslanıp doğruluk analizinde kullanılmak istenmesidir. Dolayısıyla 7 yıllık bir zaman periyodunda modellenen veriler ile gerçek verilerin karşılaştırılması sağlanmıştır. Çekirdek yıl için 1991 yılının seçilmesi ise temel olarak girdi verilerinin kendi aralarındaki zaman periyodunun olabildiğince minimum olmasının istenmesidir. Bu durum simülasyonlar sonucunda elde edilecek sonuç ürünlerdeki doğruluğu etkileyecektir.

Arazi kullanımı verisinin elde edilmesinde Google Earth Engine platformundan yararlanılarak ilgili yıllara ait Landsat uydu görüntülerinin kontrollü sınıflandırması yapılmıştır. Bu sınıflandırmada platform bünyesinde olan “Random Forest” algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırmada orman, su, tarım, boş ve kent olmak üzere beş farklı sınıf ele alınmıştır. GEE platformunda bulunan hazır sınıflandırma kodları tez ve çalışma alanının şartları göz önüne alınarak düzenlenmiştir. Örneğin Selçuklu ilçesinde çorak araziler ile boş tarım arazileri piksel renk değeri açısından benzer özellik göstermektedir. Dolayısıyla bölgede sınıflandırma yapılırken ilgili sınıflarda meydana gelebilecek hataları minimuma indirebilmek için 1991 yılına ait uydu görüntüsü verisi GEE platformunda iki parçaya ele alınmıştır. Bu ayırma işleminde ilk parçanın çorak alanları, ikinci parçanın ise boş tarım arazilerinin fazla olduğu bölgeleri kapsamı sağlanmıştır. Böylece çekirdek yıl olan 1991 yılı arazi kullanımı verisi için iki parça olarak yapılan

sınıflandırma son olarak birleştirilmiş ve tek bir veri elde edilmiştir. 2015 yılı sınıflandırma verisi ise arazinin yapısından dolayı tek parçada daha doğru sonuçlar verdiği görülmüş ve tek parça olarak ele alınmıştır.

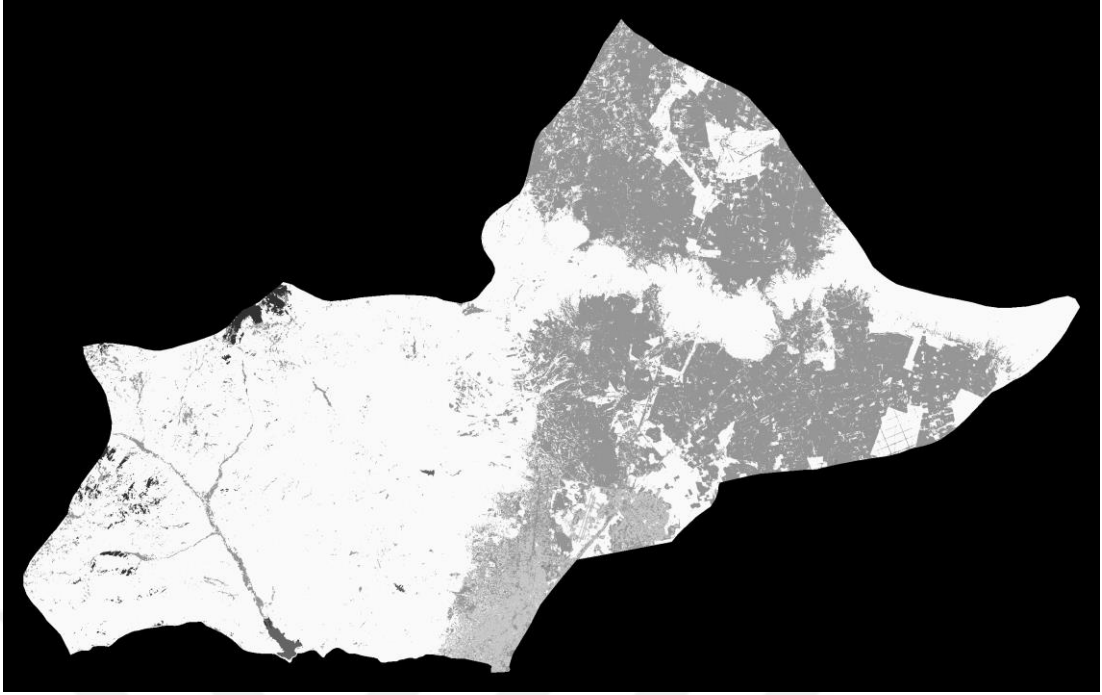
Sınıflandırma aşamasında eğitim verileri toplanırken GEE platformunda ilgili kod satırı eklenerek sınıflara toplamda 5000 adet nokta işaretlemesi yapılmıştır. Benzer şekilde sınıflandırma doğruluğu işleminde eğitim verilerinin %20'sini yani 1000 adet noktayı kapsayacak şekilde nokta işaretlemesi yine otomatik olarak platform bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı tarafından değil de platformun otomatik olarak yaptığı bu işlem hem zamandan tasarruf sağlamıştır hem de sınıflandırma doğruluğuna olumlu etki etmiştir.

GEE platformundaki ilgili kodlamalar EK-1'de gösterilmiştir. EK-2'de ise elde edilen sınıflandırmaların “Üretici Doğruluğu”, “Kullanıcı Doğruluğu” ve “Genel Doğruluk” tabloları bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Arazi kullanımı verisi

Şekil 4.4.'de arazi kullanımı verisinin renkli olmasının sebebi arazi sınıflandırmalarının daha iyi anlaşılmasını sağlamak içindir. Modelde kullanılırken Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi gri tonlamalı olacaktır.



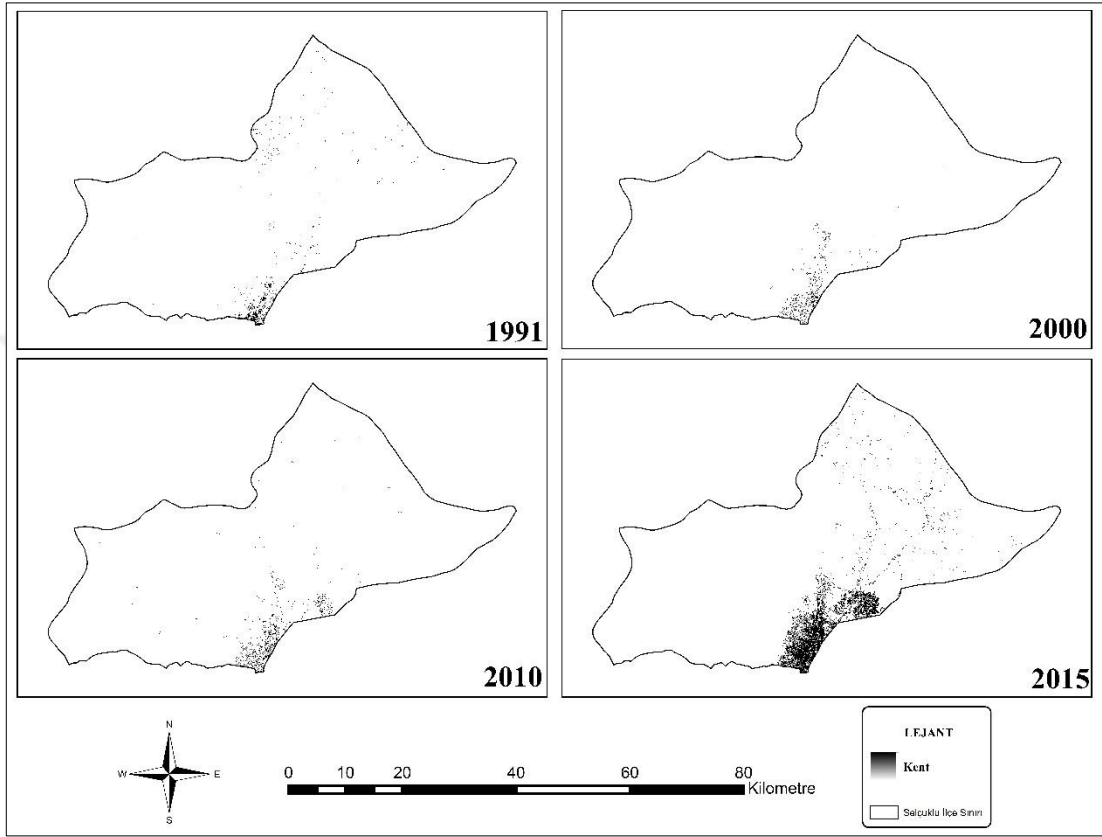
Şekil 4.5. 2015 yılına ait arazi kullanımı girdi verisi

4.2.2. Kent (Urban) Verisi

SLEUTH model ile kentsel büyüme simülasyonlarının oluşturulabilmesi için dört farklı yıla ait kent verisine ihtiyaç vardır. Bu bağlamda çekirdek yıl olan 1991 ve son kontrol yılı olan 2015 yıllarına ek olarak 2000 ve 2010 yıllarına ait kent verileri de modele dahil edilmiştir. Bu verilerin seçilmesinin sebebi çekirdek ve son kontrol yılı arasındaki 24 yıllık zaman periyodunu olabildiğince eşit aralığa bölerek, oluşturulacak simülasyonlar için kentsel büyümenin benzer zaman aralıklarında ele alınmak istenmesidir. Ayrıca geçmiş yıllara ait verilerdeki zamansal periyodun günümüze olan yakınlığı, SLEUTH simülasyonları sonucunda elde edilecek model doğruluğunu etkileyeceğinden dolayı optimum düzeyde belirlenmeye özen gösterilmelidir.

1991 ve 2015 yıllarına ait kent verisi, oluşabilecek hataların sistematik olması adına GEE platformunda hazırlanan ve beş farklı arazi sınıfını içeren arazi kullanımı verilerinden kent sınıflarının çıkartılmasıyla elde edilmiştir. 2000 yılına ait kent verisi için ise GEE platformundan Landsat uydu görüntüsü elde edilerek ArcGIS yazılımı yardımıyla sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma işlemi Landsat uydu görüntüsünün 15 metre mekânsal çözünürlükteki pankromatik bandı üzerinden gerçekleştirilerek elde edilen kent katmanının gerçeğe daha çok yaklaştırılması hedeflenmiştir. Benzer şekilde 2010 yılı için ise 40 cm mekânsal çözünürlükte ortofotodan kent alanları sayısallaştırma

işlemine tabi tutulmuştur. Model doğruluğunu artırmak adına elde edilen yüksek mekânsal çözünürlükteki bu veri son olarak yeniden örneklenerek tezde kullanılan standartlara dönüştürülmüştür. Şekil 4.6.'te dört farklı yıla ait elde edilen kent verileri gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Kent verileri

2000 ve 2010 yıllarına ait görüntüler değerlendirilirken çalışma alanı olan Selçuklu bölgesindeki bina vb. kentsel kapsamda ele alınabilecek her şey sayısallaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu bağlamda ArcGIS yazılımında değerlendirilen ve vektör veri olarak elde edilen kentsel alanların raster veriye dönüşümünün gerçekleştirilmesinin ardından bu tez çalışması için belirlenen girdi verilerinin mekânsal çözünürlük standartlarına yeniden örneklenerek üç farklı veri setinde kent verisi olarak kullanılmıştır.

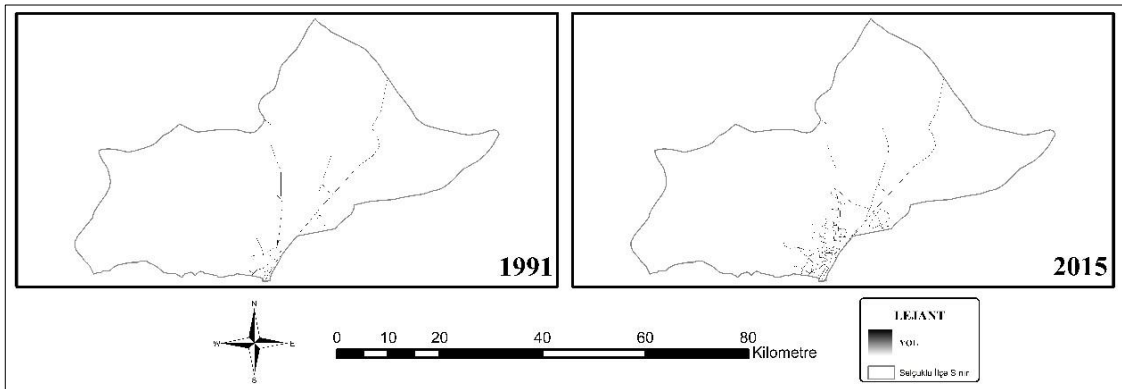
Şekil 4.7.'da örnek teşkil etmesi açısından ortofotodan elde edilen 2010 yılına ait kent girdi verisi gösterilmektedir. Yüksek mekânsal çözünürlükteki ortofotonun sayısallaştırılmasıyla bu verinin elde edilmesi işlemi yaklaşık yirmi günde tamamlanmıştır.



Şekil 4.7. 2010 kent girdi verisi

4.2.3. Yol (Transportation) Verisi

Yol verisi hazırlanırken çekirdek ve son kontrol yılı için ArcGIS yazılımında iki ayrı sayısallaştırma yapılmıştır. Sayısallaştırma işleminin yalnızca bölgedeki ana yolları kapsamı sağlanmıştır (Şekil 4.8). Bu veri elde edilirken uydu görüntülerinde ayırt edilmesi mümkün olan ana yollar vektör veri olarak elde edilmiş ve ardından raster formata dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Eğer birden fazla yol ağı kullanılacaksa her biri farklı piksel parlaklık değerine sahip olmalıdır. Böylece SLEUTH model ile simülasyonlar oluşturulurken yol ağı değişkenini kullanan birden fazla senaryonun ele alınması mümkün olur.

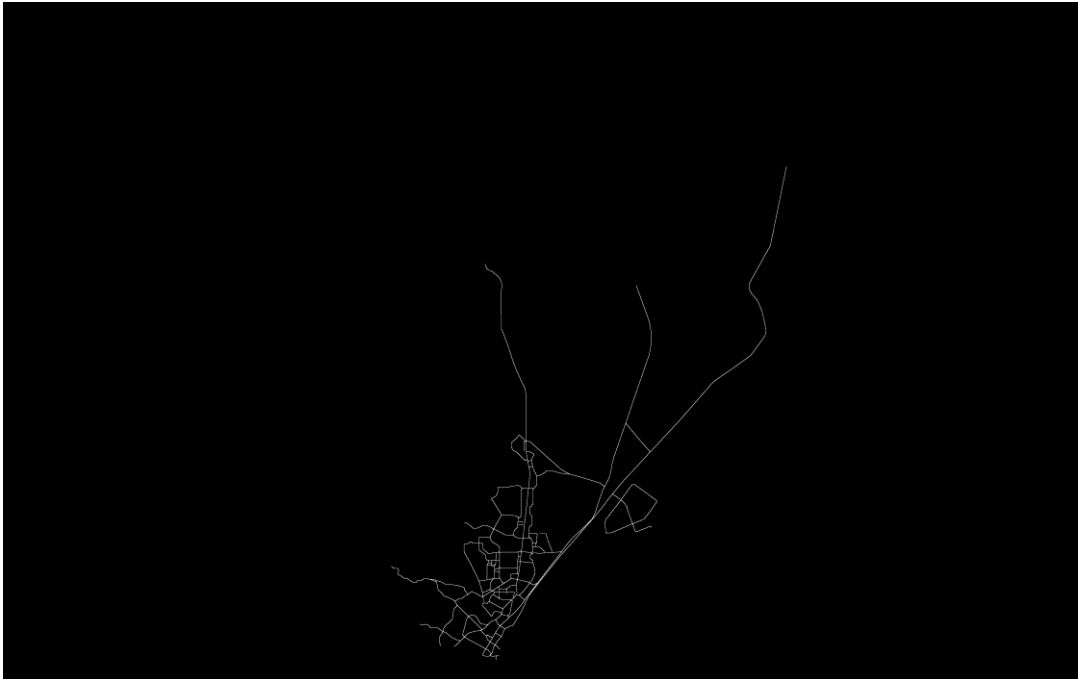


Şekil 4.8. Yol verisi

1991 yılı verisi için Landsat 5 TM uydu görüntüsü, 2015 yılı verisi için ise doğruluğu artırmak adına 10 metre mekânsal çözünürlükte Sentinel 2 MSI uydu görüntüsü kullanılmıştır. İki farklı yıla ait uydu görüntüleri Google Earth Engine platformundan ücretsiz olarak elde edilmiştir. Veriler sayısallaştırma işlemlerinin ardından mekânsal çözünürlükleri 30, 60 ve 120 metre olacak şekilde “.gif” formatta modele dahil edilmiştir.

Modelin kalibrasyon aşaması sırasında belirlemeye çalışacağı beş adet büyüme katsayısından biri olan “Yol Çekim (Road Gravity)” katsayısı, kentsel yayılmanın yol ağının etkisiyle gerçekleşme durumunu kontrol ettiğinden dolayı 2015 yılı girdi verisi için Landsat’a göre daha yüksek mekânsal çözünürlük sağlayan Sentinel uydu görüntüsü tercih edilmiştir. Veriler her ne kadar bu tez çalışması için belirlenen üç farklı mekânsal çözünürlüğe yeniden örneklenecek olsa da ham verinin mekânsal çözünürlüğündeki artış, sayısallaştırma sırasında doğruluğu etkileyerek SLEUTH modelin simülasyon sonuçlarına doğrudan olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

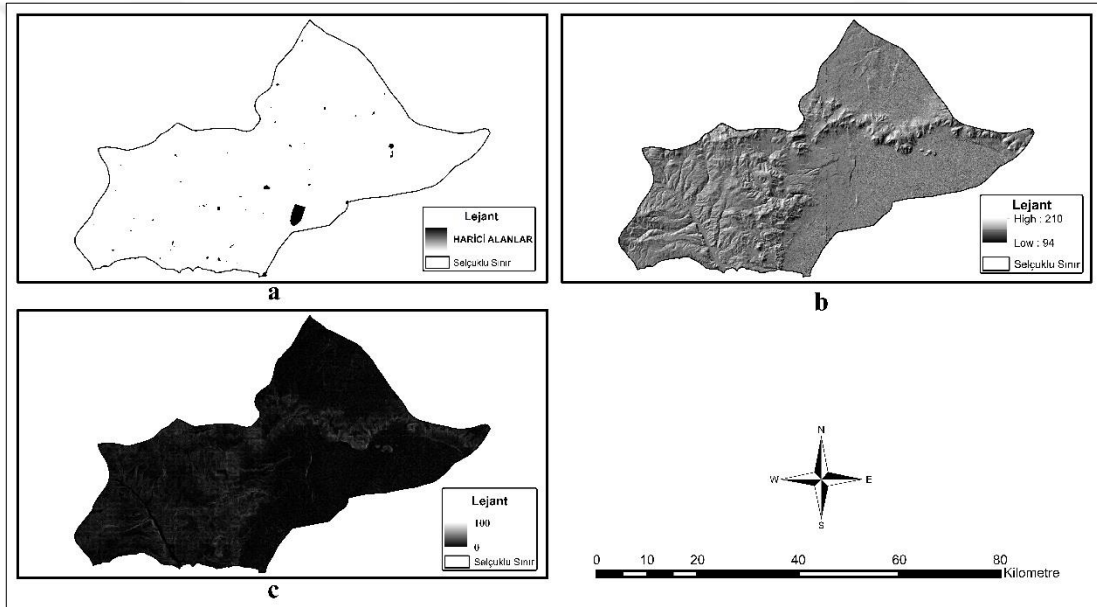
Şekil 4.9.’de örnek teşkil etmesi açısından 2015 yılına ait 30 metre mekânsal çözünürlüğe ve 8 bit radyometrik çözünürlüğe sahip yol ağı girdi verisi gösterilmektedir. Çerçeve boyutu 2848*1800 piksel olan bu veride yol ağına ait pikseller 255, yol ağına ait olmayan pikseller ise 0 piksel parlaklık değerine sahip olacak şekilde ayarlanarak modele dahil edilmiştir.



Şekil 4.9. Yol girdi verisi

4.2.4. Eğim, Harici Bölge ve Gölgeleme Verisi

Eğim ve gölgeleme verisi üretilmesi için sayısal yükseklik modeline ihtiyaç vardır. Bu bağlamda Alos Palsar DEM verisi üzerinden elde edilen veriler 30, 60 ve 120 metre olarak üretilmiştir. Eğim verisi hazırlanırken hücre değerleri bazı GIS yazılımlarında yaygın bir varsayılan olan derece değil yüzde eğiliminde olmalıdır (Gigalopolis, 2021). Üretilen eğim verisinin piksel parlaklık değerleri 0-100 aralığındadır. Şekil 4.10.'da verilerin CBS yazılımı olan ArcGIS ortamında işlenmesinin ardından elde edilen sonuç ürünler gösterilmektedir. Veriler 8 bitlik “.gif” formata dönüştürülerek modelde girdi verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.10. a) Harici bölge b) Gölgeleme c) Eğim girdi verisi

Kültürel miras, geçmişin ve bulunduğu bölgenin tarihi birikiminin izlerini taşıyan ve geleceğe aktarılması gereken varlıklardır. Bulunduğu toplumun birikimlerini yansıtır ve bu birikimler insanlarla birlikte gelişir ve yaşar. Bu aktarımın sağlıklı olabilmesi için sürdürülebilirlik ilke ve prensiplerine uygun olarak stratejiler uygulanmalıdır (Akça, 2017). Bu bağlamda kültürel mirasın korunması adına çalışma alanında bulunan arkeolojik sit alanlarında meydana gelebilecek tahribatın önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4.3.'de Konya Büyükşehir Belediyesi verilerine göre Selçuklu ilçesinde bulunan arkeolojik sit alanları gösterilmektedir. Harici bölge verisi elde edilirken bu koruma alanlarına ek olarak ilçede bulunan askeri bölgenin de kentsel büyüme

simülasyonuna dahil edilmemesi amaçlanmıştır. Böylece bahsi geçen bölgelerde tam koruma sağlanacak ve hiçbir şekilde kentleşme olmayacaktır.

Çizelge 4.3. Koruma alanları

1.Derece Arkeolojik Sit	Alaeddin Tepesi - Bağrıkurt Höyüğü - Cennet Çukuru - Eğribayat Höyüğü - Gevale Kalesi - Güvenç Höyüğü - Obanın Höyük - Peynirli Höyük - Sızma Höyük - Sille - Tatköy Yassıören - Zindankale - Beçene Höyüğü - Karayazı Örenyeri - Ulukoyak Höyük - Hanyeri Öreni - Tutup Höyük
2.Derece Arkeolojik Sit	Müşkü Tepesi Örenyeri
3.Derece Arkeolojik Sit	Alaeddin Tepesi - Eğribayat Höyüğü - Sızma Höyük- Bağrıkurt Höyüğü - Peynirli Höyük - Ulukoyak Höyük - ÇifteKümbet - Zazadin Hanı - Tutup Höyük
Kentsel Arkeolojik Sit	Eğribayat Höyüğü - Zazadin Hanı - Fatin Höyüğü

Şekil 4.11.'da arkeolojik sit alanları ve ilçedeki askeri bölgenin ArcGIS yazılımında işlenmesi sonucu elde edilen “.gif” formatta ve 2848*1800 piksel boyutundaki harici bölge girdi verisi gösterilmektedir. Harici bölge verisi 0-100 aralığında ağırlıklandırılarak modellemeye dahil edilebilmektedir. Böylece büyümeden ayrı tutulacak alanların katman ağırlığına göre işlem yapılması sağlanabilir ancak bu çalışmada arkeolojik sit alanlarında ve askeri bölgede tam koruma sağlanması amaçlanmıştır dolayısıyla tek bir senaryo ele alınmıştır.



Şekil 4.11. Harici bölge girdi verisi

Çizelge 4.4.'de SLEUTH model için üretilen girdi verilerinin isimlendirme standartları ve elde edildikleri kaynaklar gösterilmektedir. Verilerin elde edilmesinde hem ücretsiz erişime açık olması hem de GEE platformunda işleme kolaylığı nedeniyle Landsat uydu görüntüleri ağırlıklı olarak tercih edilmiştir. Ek olarak yüksek mekânsal çözünürlükteki ortofoto ve Sentinel uydu görüntüsü kullanılmasıyla da simülasyon sonucunda elde edilecek doğruluğun artırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.4. Girdi verileri

VERİ	İSİMLENDİRME	KAYNAK
<i>Kent</i>	selcuklutez.urban.1991.gif	GEE Platformundan Landsat 5 TM (path/row:177/33-34)
	selcuklutez.urban.2000.gif	Landsat 7 ETM+ Sayısallaştırma
	selcuklutez.urban.2010.gif	Ortofoto - Sayısallaştırma
	selcuklutez.urban.2015.gif	GEE Platformundan Landsat 8OLI/TIRS (path/row:177/34)
<i>Yol</i>	selcuklutez.roads.1991.gif	Landsat 5 TM - Sayısallaştırma
	selcuklutez.roads.2015.gif	Sentinel 2 MSI - Sayısallaştırma
<i>Arazi Kullanımı</i>	selcuklutez.landuse.1991.gif	GEE Platformundan Landsat 5 TM (path/row:177/33-34)
	selcuklutez.landuse.2015.gif	GEE Platformundan Landsat 8 OLI/TIRS (path/row:177/34)
<i>Eğim</i>	selcuklutez.slope.gif	Alos Palsar DEM
<i>Gölgeleme</i>	selcuklutez.hillshade.gif	Alos Palsar DEM
<i>Harici Bölge</i>	selcuklutez.excluded.gif	Belediye - Korunması Gereken Alanlar

Verilerin eksiksiz tamamlanmasının ardından senaryo dosyasına işlenerek kentsel büyüme simülasyonları başlatılabilir. Bu aşamada en az dört farklı yıla ait kent, iki farklı yıla ait yol ve arazi kullanımı verisi elde edilmelidir. Ancak senaryo dosyasında dört farklı yıla ait yol verisi kullanılması durumu için gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Bu durumda kullanılmayacak kod satırları silinmemeli ve yorum satırı olarak derlenmelidir. Aksi takdirde model aşamaları gerçekleştirilirken hatalar ile karşılaşılabilir.

4.3. Simülasyon Modellerinin Oluşturulması

4.3.1. Test Aşaması

Altı farklı girdi verisinin 30, 60 ve 120 metre çözünürlük olarak üç farklı veri setinde elde edilmesinin ardından SLEUTH modelin ilk aşaması başlatılabilir. Bu aşamada ilgili yazılımlar vasıtasıyla elde edilen girdilerin model kalibrasyonu için uygunluğu test edilmektedir. Dolayısıyla girdi verilerinin hazırlanması aşamasında hata olup olmadığı tespit edilmektedir. Projeksiyon sistemindeki hatalar, piksel boyutlarındaki farklılıklar, isimlendirme hataları veya senaryo dosyasında meydana gelebilecek kaba hatalara ek olarak yüksek mekânsal çözünürlükteki verilerin kullanılması durumunda bellek hatası gibi hatalarla da karşılaşılabilir.

SLEUTH modelin test aşaması, komut satırına “../grow.exe test scenario.selcuklutez_test” yazılmasıyla başlatılarak başarıyla tamamlanmıştır.

4.3.2. Kalibrasyon Aşaması

Test aşamasının başarıyla tamamlanmasının ardından modelin kalibrasyon aşaması başlatılabilir. Burada amaç büyüme katsayılarını belirlemek olduğu için, mekânsal çözünürlükteki artışın yanı sıra her aşamada katsayı aralıkları daraltılarak kentsel büyüme simülasyonu için optimum katsayı değerleri elde edilmektedir. Burada önemli olan başka bir faktör ise Monte Carlo iterasyonlarıdır. Kalibrasyonun her aşamasında MC iterasyon sayılarını kademeli olarak artırmak zamansal etkenler özelinde dezavantaj sağlasa bile katsayıları en uygun değere yakınlaştırması açısından olasılıksal olarak simülasyona etki edecektir.

4.3.2.1. Kaba (Coarse) Kalibrasyon

Kaba kalibrasyon işleminde, tam çözünürlüğün $1/4$ oranında daha düşük mekânsal çözünürlüğe sahip girdi veri setinin kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla kaba kalibrasyon aşamasında daha düşük çözünürlük ve daha yüksek piksel boyutlarında işlem yapıldığı için diğer kalibrasyon aşamalarından daha kısa sürede katsayılar belirlenmektedir.

Çizelge 4.5. Kaba kalibrasyon aralık değerleri

Katsayılar	Aralıklar		
	START	STEP	STOP
Diffusion	0	25	100
Breed	0	25	100
Spread	0	25	100
Slope	0	25	100
Road Gravity	0	25	100
Monte Carlo İterasyon Sayısı	5		
Çözünürlük	120 metre (712*450 Piksel)		

Çizelge 4.5.’de kaba kalibrasyon için katsayı aralık değerlerinin senaryo dosyasına işlenmesi görülmektedir. Bu aşamada her bir büyüme katsayısı; 0-100 aralığında 25 birimlik artışlarla (0-25-50-75-100) toplamda beş adımda belirlenmeye çalışılmaktadır. Sistem beş büyüme katsayısını belirleyebilmek için toplamda $3125(5^5)$ işlem yapacaktır.

Komut satırına “../grow.exe calibrate selcuklutez_calibrate” yazılmasıyla kalibrasyon işleminin ilk aşaması başlatılmıştır.

Çizelge 4.6. Kaba kalibrasyon sonuç değerleri

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	ClusterSize
108	0.01240	0.85846	0.67216	0.84197	0.81858	0.54851
77	0.01372	0.92967	0.67640	0.89620	0.81805	0.58852
78	0.01372	0.92967	0.67640	0.89620	0.81805	0.58852
105	0.01230	0.85410	0.67389	0.83256	0.87684	0.55475
75	0.01122	0.95589	0.66587	0.92030	0.85003	0.52682
Leesale	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch
0.15418	0.95013	0.74539	0.90896	0.94688	0.65977	0.91705
0.15749	0.79674	0.75222	0.92180	0.95578	0.66164	0.91875
0.15749	0.79674	0.75222	0.92180	0.95578	0.66164	0.91875
0.15280	0.88551	0.74634	0.91774	0.93796	0.66114	0.91797
0.15787	0.68744	0.74611	0.92164	0.95514	0.65286	0.91884
Diff	Brd	Sprd	Slp	RG	OSM	
1	1	100	25	75	0.298240	
1	1	75	1	50	0.297321	
1	1	75	1	75	0.297321	
1	1	100	25	1	0.294008	
1	1	75	1	1	0.276863	

Çizelge 4.6.’da kaba kalibrasyon sonuç değerleri gösterilmektedir. Normal şartlarda bu aşamada 3125 işlem yapıldığı için sonuç değerleri de aynı sayıda satırdan oluşmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında arazi kullanımı da modellendiğinden dolayı,

sekiz metriğin çarpımı olan OSM değerlerinin en yüksek beş değerine göre büyüme katsayılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürde OSM değerlerinin ilk üç veya ilk on değeri esas alınarak yapılmış çalışmalar da mevcuttur.

Yapılan çalışmada on üç adet metrik ve beş adet büyüme katsayısı 5 saat 14 dakikada belirlenmiştir. Katsayıların elde edilmesinin ardından iyi kalibrasyon için senaryo dosyasına işlenecek katsayı aralıkları belirlenerek iyi kalibrasyon aşamasına geçilmiştir.

4.3.2.2. İyi (Fine) Kalibrasyon

Burada bir önceki kalibrasyon aşamasına göre daha yüksek mekânsal çözünürlükte ve daha kısa katsayı aralıklarında işlem yapılarak katsayıları en uygun değere yaklaştırmak amaçlanmaktadır. Örneğin 0-100 birim aralığında değer alması beklenen “Spread” katsayısı, kaba kalibrasyon sonucunda 75-100 birim aralığında değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre iyi kalibrasyon aşamasında ilgili katsayının başlangıç ve bitiş değerleri 75-100 olarak ayarlanmalı ve bu aralığın beş veya altı adımda tamamlanmasını sağlamak için uygun “Step” değerleri belirlenmelidir.

Kaba kalibrasyon sonuçlarına göre belirlenen katsayı aralıklarının senaryo dosyasına işlenmesinin ardından 60 metrelik verilerle iyi kalibrasyon başlatılmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. İyi kalibrasyon aralık değerleri

Katsayılar	Aralıklar		
	START	STEP	STOP
Diffusion	0	5	20
Breed	0	5	20
Spread	75	5	100
Slope	0	5	25
Road Gravity	0	20	100
Monte Carlo İterasyon Sayısı	6		
Çözünürlük	60 metre (1424*900 Piksel)		

Çizelge 4.8.’de iyi kalibrasyon sonuç değerleri gösterilmektedir. Yapılan çalışmada on üç adet metrik ve beş adet büyüme katsayısı 20 saat 45 dakikada belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. İyi kalibrasyon sonuç değerleri

<i>Run</i>	<i>Product</i>	<i>Compare</i>	<i>Pop</i>	<i>Edges</i>	<i>Clusters</i>	<i>ClusterSize</i>
436	0.01606	0.87579	0.68885	0.82983	0.99043	0.58852
655	0.01552	0.82264	0.70682	0.81444	0.97791	0.58741
441	0.01495	0.86806	0.68954	0.76031	0.96352	0.58795
661	0.01487	0.84829	0.69308	0.79540	0.96892	0.59939
313	0.01359	0.87200	0.66575	0.79512	0.99832	0.57925
<i>Leesale</i>	<i>Slope</i>	<i>%Urban</i>	<i>Xmean</i>	<i>Ymean</i>	<i>Rad</i>	<i>Fmatch</i>
0.14295	0.96742	0.75392	0.92103	0.92954	0.67260	0.91688
0.14101	0.98364	0.76441	0.91447	0.93514	0.68661	0.91620
0.14273	0.99962	0.75335	0.93376	0.93638	0.67217	0.91792
0.14172	0.97724	0.75476	0.91229	0.92771	0.67481	0.91694
0.14361	0.97155	0.73482	0.90397	0.91674	0.65255	0.91863
<i>Diff</i>	<i>Brd</i>	<i>Sprd</i>	<i>Slp</i>	<i>RG</i>	<i>OSM</i>	
1	10	75	1	80	0.376536	
1	15	75	5	20	0.356902	
1	10	75	5	60	0.351793	
1	15	75	10	20	0.343628	
1	5	85	20	20	0.340829	

4.3.2.3. Son (Final) Kalibrasyon

İyi kalibrasyon sonuçlarına göre Çizelge 4.9.'da görülen katsayı aralıkları senaryo dosyasına işlenmesinin ardından 30 metrelik verilerle son kalibrasyon başlatılmıştır.

Çizelge 4.9. Son kalibrasyon aralık değerleri

Katsayılar	Aralıklar		
	START	STEP	STOP
Diffusion	0	5	20
Breed	5	2	15
Spread	75	2	85
Slope	0	5	20
Road Gravity	20	15	80
Monte Carlo İterasyon Sayısı	7		
Çözünürlük	30 metre (2848*1800 Piksel)		

Çizelge 4.10.'da son kalibrasyon sonuç değerleri gösterilmektedir. Yapılan çalışmada metrikler ve büyüme katsayıları 3 gün 6 saat 47 dakikada belirlenmiştir. Yüksek mekânsal çözünürlükte uydu görüntülerinin kullanılması durumunda donanımsal ihtiyaçların da doğrusal olarak artacağı göz önünde bulundurulmadır aksi takdirde son kalibrasyon aşamasının sonuçlanması haftalar alabilir.

Çizelge 4.10. Son kalibrasyon sonuç değerleri

<i>Run</i>	<i>Product</i>	<i>Compare</i>	<i>Pop</i>	<i>Edges</i>	<i>Clusters</i>	<i>ClusterSize</i>
1221	0.01031	0.7329	0.71839	0.74135	0.99264	0.56752
1222	0.00964	0.73173	0.71633	0.73282	0.99537	0.55149
1216	0.00992	0.72540	0.71737	0.73565	0.99643	0.56752
1220	0.00991	0.73892	0.71668	0.73544	0.99513	0.56752
1245	0.00914	0.71476	0.71673	0.73682	0.99648	0.53813
<i>Leesale</i>	<i>Slope</i>	<i>%Urban</i>	<i>Xmean</i>	<i>Ymean</i>	<i>Rad</i>	<i>Fmatch</i>
0.12875	0.99995	0.7648	0.84751	0.87863	0.69884	0.91527
0.12911	0.97322	0.76287	0.84969	0.88086	0.69677	0.91480
0.12884	0.98275	0.76341	0.84535	0.87940	0.69771	0.91396
0.12905	0.97448	0.76372	0.83838	0.87716	0.69747	0.91484
0.12839	0.99044	0.76212	0.83503	0.87574	0.69675	0.91465
<i>Diff</i>	<i>Brd</i>	<i>Sprd</i>	<i>Slp</i>	<i>RG</i>	<i>OSM</i>	
5	9	75	20	35	0.2640575	
5	9	75	20	50	0.2547713	
5	9	75	15	35	0.2547018	
5	9	75	20	20	0.2540900	
5	9	77	20	20	0.2491760	

4.3.2.4. Tahmin

Son kalibrasyonda elde edilen katsayı aralıkları ve tam mekânsal çözünürlüğe sahip girdi veri seti tahmin aşamasında kullanılmaktadır (Çizelge 4.11). SLEUTH'un self-modification özelliği burada devreye girmekte ve son kalibrasyondan elde edilen katsayı değerlerinde değişimlere yol açmaktadır. Çizelge 4.12.'de tahmin aşaması sonuç değerleri gösterilmektedir. Buna göre örneğin "Breed" katsayısı son kalibrasyon sonucunda "9" değerini almasına rağmen self-modification özelliği ile nihai "11" olarak belirlenmiştir. Buna karşı "Road Gravity" katsayısında herhangi bir değişim olmamıştır.

Çizelge 4.11. Tahmin aşaması aralık değerleri

Katsayılar	Aralıklar		
	START	STEP	STOP
Diffusion	5	1	5
Breed	9	1	9
Spread	75	1	75
Slope	20	1	20
Road Gravity	35	1	35
Monte Carlo İterasyon Sayısı	100		
Çözünürlük	30 metre (2848*1800 Piksel)		

Çizelge 4.12. Tahmin aşaması sonuç değerleri

Year	Xmean	Ymean	Diffus.	Breed	Spread	Slp	RG	Grw_rate
2000	1382.86	1345.05	5.41	9.75	81.21	19.60	35.04	9.74
2010	1422.77	1210.59	5.98	10.77	89.71	18.50	35.15	6.83
2015	1437.41	1155.15	6.29	11.31	94.29	17.61	35.24	6.20

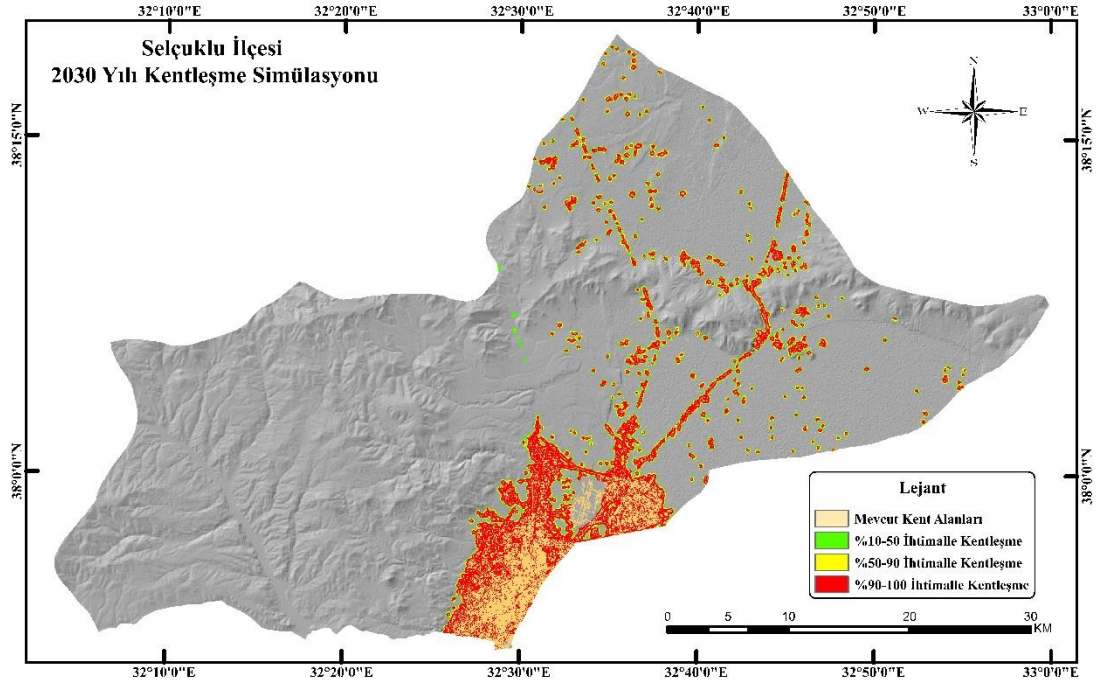
Kısa sürede tamamlanan tahmin aşamasının sonucunda elde edilen nihai büyüme katsayıları çizelge 4.13.'de gösterilmektedir. Bu katsayılar kentsel büyüme ve arazi sınıflarının modellenmesi analizinde kullanılacaktır.

Çizelge 4.13. Büyüme katsayıları

Diff.	Brd	Sprd	Slp	RG
6	11	94	18	35

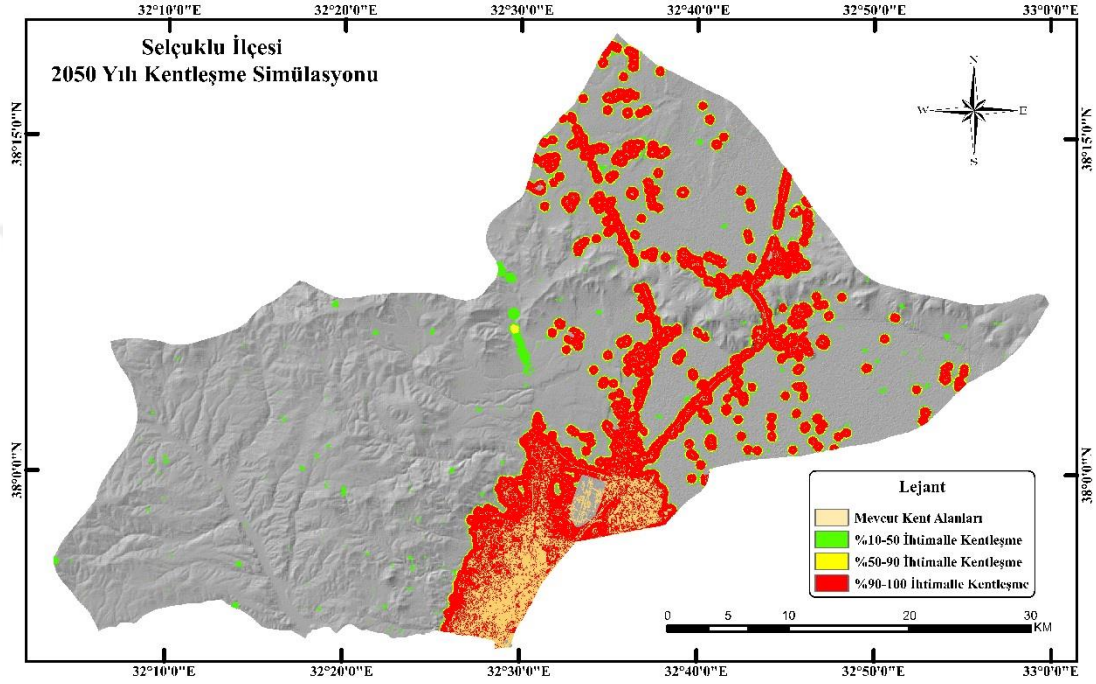
4.3.3. Kestirim Aşaması ve Çıktılar

Komut satırına “../grow.exe predict scenario.selcuklutez_predict” yazılmasıyla kestirim aşaması başlatılmıştır. Burada 2030 ve 2050 yılları için simülasyon modelleri oluşturulması amaçlandığından dolayı bu durum senaryo dosyasında işlenmiştir. Böylece son kontrol yılı olan 2015’den başlayarak belirlenen büyüme katsayıları ile her yıl için simülasyon modelleri oluşturulacak ve istenilen tahmin yılı da modellendikten sonra simülasyon durarak sonuç ürünler çıktı klasörüne aktarılacaktır.



Şekil 4.12. 2030 yılı kentleşme simülasyonu

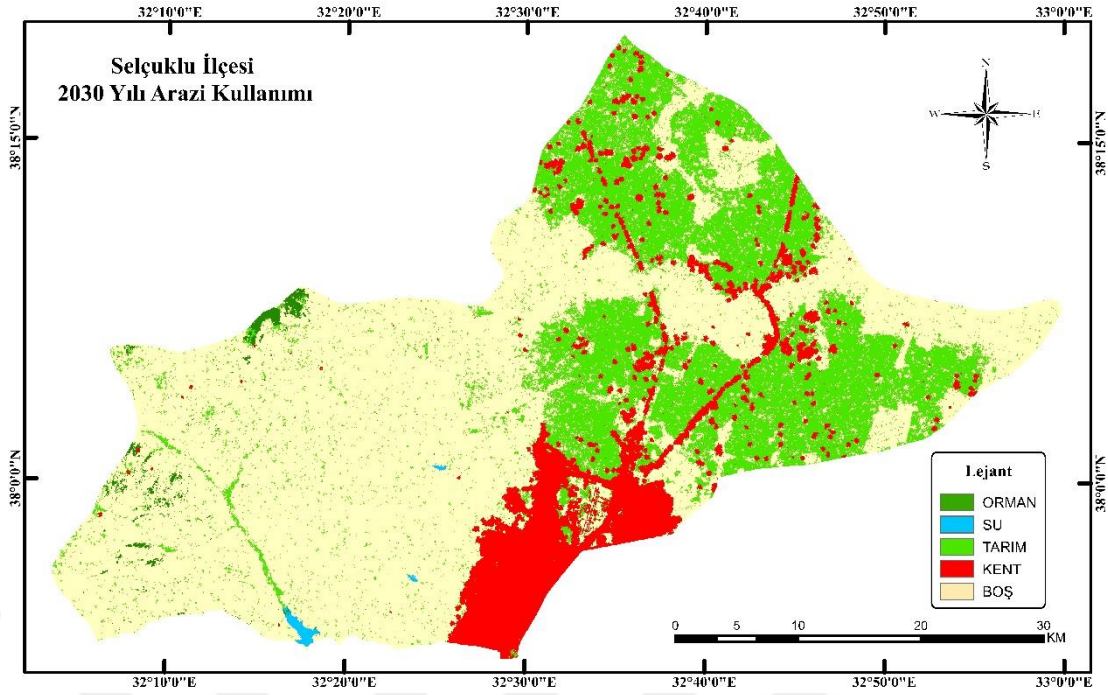
SLEUTH kestirim aşaması sonucunda kentleşme ve arazi kullanımı olmak üzere iki farklı görsel çıktı elde edilmiştir. Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de kentleşme simülasyonu sonucu görülmektedir. Kalibrasyon sonucunda belirlenen ve büyüme katsayılarından olan yayılma ve yol çekim katsayısının diğer katsayılara göre daha yüksek değer almasının sonucu çıktı ürünlere yansımıştır. Buna göre kent alanlarına ait pikseller daha çok yol ağı etrafında gelişerek kentsel büyümeyi gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.13. 2050 yılı kentleşme simülasyonu

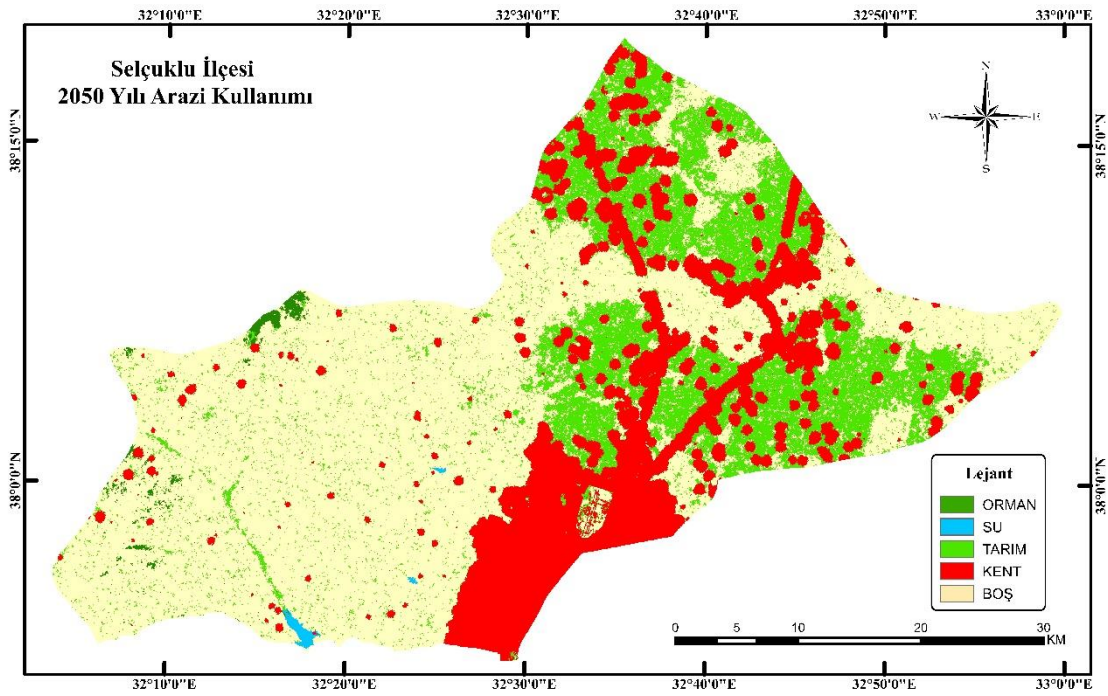
Son kontrol yılı olan 2015 yılından başlayarak 2050 yılına kadar büyüme katsayıları kullanılarak her yıl için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen bu çıktı ürünler, kentsel yayılmayı olasılıksal olarak ele almaktadır. Burada %10-50, %50-90 ve %90-100 ihtimalle gerçekleşecek olan kentleşme durumu görülmektedir. Bu olasılıksal dağılımlar SLEUTH modelin senaryo dosyasında düzenlenmiştir. Eğer istenirse bu aralıklar %10 artış olacak şekilde düzenlenebilmektedir. Ancak hem görsel çıktıda meydana gelebilecek karmaşadan dolayı hem de kentsel yayılma durumunun daha genel biçimde ele alınması istendiği için üç farklı olasılık aralığında değerlendirilmiştir.

Girdi verilerinin hazırlanması aşamasında büyümeden hariç tutulan alanlardan biri olan askeri bölge sınırlarında %90-100 ihtimalle kentleşmenin gerçekleşmesi durumunda bile alan içinde asla kentleşme görülmemiş olması harici bölge katmanına olan güveni artırmıştır.



Şekil 4.14. 2030 yılı arazi kullanımı haritası

Kestirim aşaması sonucunda elde edilen arazi kullanımı haritaları Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de gösterilmiştir. SLEUTH burada arazi sınıflandırması girdi verileri üzerinden, belirlenen büyüme katsayıları yardımıyla piksel komşuluklarını baz alarak arazi sınıf geçişlerini simülasyonlar sonucunda modellemiştir.



Şekil 4.15. 2050 yılı arazi kullanımı haritası

Arazi kullanımı haritaları ArcGIS yazılımında piksel bazında değerlendirilerek Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi modellenen iki farklı yıl için arazi sınıflarının değişim analizi yapılmıştır. Çıktı ürünlerde her bir pikselin 30*30 metre olması baz alınarak tüm arazi sınıflarına karşılık gelen alanlardaki değişim hektar (ha) cinsinden ele alınmıştır. Arazi kullanımı girdi verilerinde olduğu gibi beş ayrı sınıf değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Buna göre bir sınıf ait olduğu sınıfa atanabileceği gibi farklı sınıflara da dönüşebilir. Böylece farklı sınıflara dönüşen alanlar tahrip olmaktadır şeklinde yorum yapılabilir. Bu bağlamda 2015 yılında 62042.94 hektar tarım arazisi mevcutken 2030 ve 2050 yılı modelleme sonuçlarına göre bu alanlar en çok kentsel alanlara dönüşmüştür. Kent alanlarına dönüşen tarım arazilerinde 2030 yılında 9445.95 hektar ile %15.22’lik bir değişimden söz edilebilir. 2050 yılına gelindiğinde ise 21862.44 hektarlık değişim mevcut tarım alanlarının %35.24’lük bölümüne karşılık gelmektedir. Benzer şekilde mevcut boş araziler 2030 yılında en çok tarımsal faaliyetlere aktarılacağı öngörülürken, 2030-2050 yılları arasındaki yirmi yıllık zaman periyodunda tarımsal faaliyetlere aktarılacak alanların kentsel alanlara dönüşeceklerin gerisinde kalacağı model tarafından belirlenmiştir. Bu durum Selçuklu ilçesinde bitkisel ürünlerin üretilmesini etkileyen faktörlerden biri olacaktır.

Çizelge 4.14. 2030 yılı için tahribat analizi

		2030						
	(Hektar)	BOŞ	KENT	ORMAN	SU	TARIM	DiĞER	TOPLAM
2015	BOŞ	112772.70	4756.32	59.67	10.08	4811.22		122409.99
	KENT		6858.63					6858.63
	ORMAN	163.17	7.11	1139.04	2.34	12.87		1324.53
	SU	6.21	1.98	0.18	348.57	0.18		357.12
	TARIM	5795.55	9445.95	10.44	1.08	46789.92		62042.94
	DiĞER						268382.79	268382.79
	TOPLAM	118737.63	21069.99	1209.33	362.07	51614.19	268382.79	461376

Çizelge 4.15. 2050 yılı için tahribat analizi

		2050						
	(Hektar)	BOŞ	KENT	ORMAN	SU	TARIM	DİĞER	TOPLAM
2015	BOŞ	103641.93	12217.14	117.18	21.33	6412.41		122409.99
	KENT		6858.63					6858.63
	ORMAN	342.00	59.94	892.53	7.56	22.50		1324.53
	SU	9.45	9.45	0.09	337.77	0.36		357.12
	TARIM	8293.50	21862.44	25.83	0.99	31860.18		62042.94
	DİĞER						268382.79	268382.79
	TOPLAM	112286.88	41007.60	1035.63	367.65	38295.45	268382.79	461376

4.4. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi için iki farklı değerlendirme söz konusudur. Bunlardan ilki, girdi verileri elde edilirken Google Earth Engine platformunda “Random Forest” algoritmasıyla elde edilen kontrollü sınıflandırmaların doğruluğunun analizidir. Bunun için EK-2’de her sınıflandırma için hata matrisleri düzenlenerek üretici ve kullanıcı doğrulukları hesaplanmıştır. Aynı zamanda her sınıflandırmanın Kappa değerleri Çizelge 4.16.’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. Sınıflandırmaların kappa değerleri

Sınıflandırmalar	1991/1	1991/2	2015	2022
<i>Kappa</i>	0.93	0.96	0.94	0.96

Model doğruluğunun araştırılması için ise 2022 yılı uygun görülmüştür. Böylece son kontrol yılı olan 2015’den itibaren 7 yıllık bir zaman periyodunda doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.17.’de 2022 yılı için GEE platformunda gerçekleştirilen arazi sınıflandırması ile aynı yıla ait SLEUTH model tahminlerinin alan bazında karşılaştırılması görülmektedir. Çizelge incelendiğinde sınıflandırma sonucunda 59594.88 hektar tarım arazisi olduğu ve bu arazilerin %74’ lük oran ile 43978.32 hektarlık kısmının ait olduğu arazi sınıfına SLEUTH tarafından modellendiği görülmektedir. Bununla beraber diğer arazi sınıflarından da tarım arazisi sınıfına dönüşenlerle birlikte SLEUTH model, 2022 yılı için toplamda 56468.26 hektarlık tarımsal alanın olacağını modellemiştir. Bu da 2022 yılı sınıflandırma sonucunun yaklaşık %95’ine karşılık gelmektedir. Bu doğruluk analizine GEE platformunda yapılan sınıflandırmanın gerçeğe yakınlığı, girdi verilerinin zamansal ve mekânsal çözünürlükleri gibi faktörlerin etki edebileceği unutulmamalıdır.

Çizelge 4.17. 2022 yılı için model doğruluğu

		2022 Yılı SLEUTH Model Tahmini					
2022 Yılı GEE Sınıflandırması	(Hektar)	BOŞ	KENT	ORMAN	SU	TARIM	TOPLAM
	BOŞ	107357.16	2030.28	652.63	6.49	10919.32	120965.88
	KENT	1414.02	8410.84		0.72	1561.52	11387.10
	ORMAN	67.32	0.54	590.93	0.27	7.03	666.09
	SU	12.80	11.52	9.99	342.88	2.07	379.26
	TARIM	11919.26	3668.31	18.09	10.90	43978.32	59594.88
	TOPLAM	120770.56	14121.49	1271.64	361.26	56468.26	192993.21

5. SONUÇLAR

Dünya genelinde sürekli artan kent nüfusu, kent alanlarının büyümesinin yanında sosyal ve çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Kentlerdeki bu gelişim sürecinde, ortaya çıkabilecek sorunların önüne geçilebilmesi için gelecek planlamalarının yapılması önem kazanmaktadır. Karar vericiler tarafından gelecekteki kentleşme sürecinin analiz edilmesiyle birlikte, plansız kentsel büyümenin yol açtığı sorunların minimum düzeye indirilmesinin yanında doğadaki tahribatın da önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

19. yüzyılın başlarında tarımsal etkenler özelinde başlayan kentsel gelişmelerin analiz edilmesi ve planlanması süreci, 20. yüzyılın sonlarına doğru kompakt yapıdaki kentlerin gelişiminin modellenmesiyle devam etmiştir. Teknolojideki gelişmeler ışığında gelecek planlamalarının daha sağlam temellere dayandırılmasıyla birlikte, günümüzde karar vericiler ve kent planlamacıları tarafından kentsel büyüme modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada SLEUTH kentsel büyüme modeli kullanılarak Selçuklu bölgesinde 2030 ve 2050 yılları için simülasyonlar oluşturularak tarımsal alanların tahrip olması analizi yapılmıştır.

Uzaktan algılama teknolojisiyle elde edilen geçmiş yıllara ait uydu görüntülerinin yapılan düzenlemelerle kullanılması süreci, SLEUTH'un modelleme temelini oluşturmaktadır. Modelin kentsel büyümeye ek olarak arazi kullanımındaki değişimleri de analiz edebilme kabiliyeti, gelecek planlamasında hücresel otomat tabanlı simülasyon modellerinin kullanımını gün geçtikçe artırmaktadır. SLEUTH modelde kentleşme sürecini çeşitli senaryolar ile ele almak mümkündür. Böylece gelecek planlamalarına interaktif çözüm getirilebilmektedir. Aynı zamanda SLEUTH'un açık kaynak kodlu olarak geliştirilmesi, kullanıcıların yazılımda ufak çaplı değişimler yapmasının önünü açarak sorunlara çözüm odaklı yaklaşmasına sebep olmaktadır.

Bu tez çalışmasında girdi verilerinin elde edilmesinde 30 metre mekânsal çözünürlükteki Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri GEE platformu vasıtasıyla elde edilmiştir. Bunun temel sebebi platformun üstün analiz yeteneği sayesinde çalışmanın amacına uygun olarak yapılan kodlamalarla verilerin düzenlenebilmesidir.

Model için kullanılacak girdi verilerin yüksek mekânsal çözünürlüğü, simülasyon sonucunda elde edilecek çıktı ürünlerdeki doğruluğu etkileyecektir. Ancak hem bazı yüksek çözünürlükteki uydu görüntülerinin ücrete tabii olması sebebiyle maliyet artacak

hem de modelin kalibrasyon aşamasında yüksek işleme gücü gereksiniminden dolayı simülasyonlar daha uzun sürede tamamlanacaktır.

2015-2030 simülasyon sonucuna göre 15253.02 ha tarım arazisi farklı sınıflara dönüşerek tahrip olacaktır. Buna karşı 4824.27 ha arazi ise farklı sınıflardan tarım arazilerine dönüşecektir. Dolayısıyla 2030 yılında toplamda 51614.19 ha tarım arazisi olacağı ve 2015 yılına göre 10428.75 ha tarımsal alanın yok olacağı sonucuna varılmıştır. 2015-2050 simülasyon sonucuna göre ise 30182.76 ha tarım arazisi farklı sınıflara dönüşerek tahrip olacaktır. Buna karşı 6435.27 ha arazi ise farklı sınıflardan tarım arazilerine dönüşecektir. Dolayısıyla 2050 yılında toplamda 38295.45 ha tarım arazisi olacağı ve 2015 yılına göre 23747.49 ha tarımsal alanın yok olacağı sonucuna varılmıştır.

Her ne kadar gün geçtikçe kent nüfuslarında artış olsa da hiçbir artışın doğrusal olmadığı, bazı yıllarda nüfus artış hızı yüksek seyrederken bazı yıllarda durağan olabileceği hatta çalışma yapılan bölgenin göç verebileceği gibi etkenler unutulmamalıdır. SLEUTH nüfusu hesaba katmaz. Geçmiş yıllara ait girdi verilerinden elde edilen büyüme katsayılarıyla gelecekte istenilen yıl için büyüme modelleri oluşturur. Geçmiş ve gelecek arasındaki zamansal periyodun yüksek olması, modelleme doğruluğunda belirsizliklere yol açabilir. Bu durum SLEUTH ile kentsel gelişmelerin analizinde dikkat edilmesi gereken bir faktördür.

KAYNAKLAR

- Akça, S., 2017, *Kent Araştırmaları Dergisi (Journal of Urban Studies)*, 22(8), 577-596.
- Arı, H. A. (2009), “İstatistiksel Bir Dalga Modeli Kurulumu ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aslam, R.W., Shu, H., Yaseen, A., 2023, Monitoring The Population Change And Urban Growth Of Four Major Pakistan Cities Through Spatial Analysis Of Open Source Data, *Annals of GIS*, 1-13.
- Ateş, M., Önder, E. D., 2019, ‘Akıllı Şehir’ Kavramı ve Dönüşen Anlamı Bağlamında Eleştiriler, *Megaron*, 14(1), 41-50.
- Ayazlı, İ. E. (2011), “Ulaşım Ağlarının Etkisiyle Kentsel Yayılmanın Simülasyon Modeli: 3. Boğaz Köprüsü Örneği”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Basheer, I. A., Hajmeer, M., 2000, Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3-31.
- Başlık, S. (2008), “Dinamik Kentsel Büyüme Modeli Lojistik Regresyon ve Cellular Automata (İstanbul ve Lizbon Örnekleri)”, Doktora Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Blanchhard, S.D., Pontius, R.G., Urban, K.M., 2015, Implications Of Using 2m Versus 30m Spatial Resolution Data For Suburban Residential Land Change Modeling, *Journal of Environmental Informatics*, 25(1), 1.
- Çağlayan, A., Dağlı, D., 2014, Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri ve Entegre Kullanımları. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi, *TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu*, 23-24 Ekim, Bildiriler Kitabı, 233-243, Ankara, Türkiye.
- Candau, J. T. (2002), “Temporal calibration sensitivity of the SLEUTH urban growth model”, Doctoral dissertation, *University of California, Santa Barbara*.
- Candau, J., Clarke, K. C., 2000, Probabilistic Land Cover Transition Modeling Using Deltatrons, *2000 URISA Annual Conference*, Orlando.
- Canpolat, A.F., Dağlı, D., 2019, Change in land use in Elazığ province (2006-2018) and the simulation of 2030. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 702-723.
- Chaudhuri, G., Clarke, K., 2013, The SLEUTH land use change model: A review. *Environmental Resources Research*, 1(1), 88-105.
- Chaudhuri, G., Clarke, K. C., 2014, Temporal accuracy in urban growth forecasting: A study using the SLEUTH model. *Transactions in GIS*, 18(2), 302-320.

- Chaudhuri, G., Clarke, K. C., 2019, Modeling an Indian megalopolis-A case study on adapting SLEUTH urban growth model, *Computers, Environment and Urban Systems*, v77, 101358, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101358>.
- Chaudhuri, G., Foley, S., 2019, "DSLEUTH: A Distributed Version of SLEUTH Urban Growth Model", *2019 Spring Simulation Conference (SpringSim)* (pp. 1-11). IEEE.
- Clarke, K. C., 1997, "Land Transition Modeling With Deltatrons," Web Paper at: <https://people.geog.ucsb.edu/~kclarke/Papers/deltatron.html>
Erişim Tarihi:07.01.2022.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., Gaydos, L., 1997, A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B*, 24, 247–261.
- Clarke, K. C., Gaydos, L. J., 1998, Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International journal of geographical information science*, 12(7), 699-714.
- Clarke, K. C., Gazulis, N., Dietzel, C., Goldstein, N. C., 2007, A Decade of SLEUTHing: Lessons Learned From Applications of a Cellular Automaton Land Use Change Model. *Classics in IJGIS: Twenty Years of the International Journal of Geographical Information Science and Systems*, 413-427.
- Clarke, K. C., Johnson, J. M., 2020, Calibrating SLEUTH with big data: Projecting California's land use to 2100. *Computers, Environment and Urban Systems*, 83, 101525.
- Deniz, M., Hiç, Ö., 2022, *Journal of Biga Economics and Administrative Sciences Faculty*, 3(1), 12-22.
- Dezhkam, S., Amiri, B. J., Darvishsefat, A. A., Sakieh, Y., 2014, Simulating the urban growth dimensions and scenario prediction through sleuth model: a case study of Rasht County, Guilan, Iran. *GeoJournal*, 79(5), 591-604.
- Dhanaraj, K., Jain, G.V., Angadi, D.P., 2022, Land-Use Change Dynamics And Urban Growth Simulations In a Medium-Sized City Of Mangaluru, India Through CA-Based Sleuth Urban Growth Model. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-759867/v1>
- Dietzel, C., Clarke, K. C., 2006, The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(1), 78-101.
- Dietzel, C., Clarke, K. C., 2007, Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, 11(1), 29-45.

- El Meouche, R., Eslahi, M., Ruas, A., Sammuneh, M. A., 2020, From Pixels to 3D Representations of Buildings: A 3D Geo-visualization of Perspective Urban Respecting Some Urbanization Constraints. In *GISTAM* (pp. 199-207).
- Gigalopolis, (2021), Project Gigalopolis Web Sayfası. USGS, Santa Barbara. (www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/). Erişim Tarihi: 11.12.2021.
- Goldstein, N., Dietzel, C., Clarke, K., 2005, Don't Stop 'Til You Get Enough-Sensitivity Testing of Monte Carlo Iterations for Model Calibration Proceedings of the 8th International Conference on GeoComputation University of Michigan.
- Handayanto, R. T., 2019, Driving Factors Selection and Change Direction of a Land Use/Cover. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 8. 243-248. DOI: 10.30534/ijatcse/2019/4381.52019.
- Ilyassova, A., Kantakumar, L. N., Boyd, D., 2021, Urban growth analysis and simulations using cellular automata and geo-informatics: Comparison between Almaty and Astana in Kazakhstan. *Geocarto International*, 36(5), 520-539.
- Jantz, C.A., Goetz, S.J., Donato, D., Claggett, P., 2010, Designing And Implementing a Regional Urban Modeling System Using The Sleuth Cellular Urban Model, *Computers, Environment And Urban Systems*, 34(1), 1-16.
- Kumar, V., Agrawal, S., 2022, Urban Modelling And Forecasting Of Landuse Using Sleuth Model, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-20.
- Kundu, K., Halder, P., Mandal, J.K., 2021, Urban Growth Prediction Of Kolkata City Using Sleuth Model, *In Proceedings of International Conference on Innovations in Software Architecture and Computational Systems:ISACS 2021*, 139-149.
- Manca, G., Clarke, K. C., 2012, Waiting to Know the Future: A SLEUTH Model Forecast of Urban Growth with Real Data. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 47(4), 250-258.
- Mevka, 2019, Selçuklu İlçe Raporu, *Mevlâna Kalkınma Ajansı*, Konya, 5-30.
- Nimish, G., Chandan, M.C., Bharath, H.A., 2019, Relationship Between Urban Land Use Dynamics And Land Surface Temperature: Current And Future Scenario Modeling, *Conference Proceedings of 5th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands*, December 2-4,2019.
- Oğuz, H., Klein, A.G., Srinivasan, R., 2007, Using The Sleuth Urban Growth Model To Simulate The Impacts Of Future Policy Scenarios On Urban Land Use In The Houston-Galveston-Brazoria CMSA, *Research Journal of Social Sciences*, 2(1),72-82.
- Oğuz, H., Kesgin, B., Nurlu, E., Doygun, H., 2010, Narlıdere-Balçova/İzmir Örneğinde SLEUTH Model Yardımıyla Kentleşme Senaryolarının Geliştirilmesi. I. Ulusal Planlamada Sayısal Modeller Sempozyumu. *Bildiriler Kitabı*: 473-485.

- Oğuz, H., Atak, B. K., Doygun, H., Nurlu, E., 2011, Modeling Urban Growth and Land Use/Land Cover Change in Bornova District of İzmir Metropolitan Area From 2009 to 2040, *International Symposium on Environmental Protection and Planning: Geographic Information Systems(GIS) and Remote Sensing(RS) Applications Proceedings Book*, 28-29 June 2011, Gediz University, İzmir.
- Peiman, R., Clarke, K., 2014, The impact of data time span on forecast accuracy through calibrating the SLEUTH urban growth model. *International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR)*, 5(3), 21-35.
- Ren, Y., Li, H., Shen, L., Zhang, Y., Chen, Y., Wang, J., 2018, What is the efficiency of fast urbanization? A China study. *Sustainability*, 10(9), 3180.
- Roth, E. C. W., Koscianski, A., 2020, Improving Forecasts of Land Use with regionalized maps in the SLEUTH model. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (25), 153-174.
- Sandamali, S. P. I., Kantakumar, L. N., Sivanantharajah, S., 2018, Remote sensing data and SLEUTH urban growth model: As decision support tools for urban planning, *Chinese Geographical Sciences*, 28(2), 274.
- Sasaki, Y., Box P., 2003, Agent-Based Verification of von Thünen's Location Theory, Utah. (<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/9.html>). Erişim Tarihi: 16 Aralık 2021.
- Sakieh, Y., Amiri, B. J., Danekar, A., Feghhi, J., Dezhkam, S., 2015, Simulating urban expansion and scenario prediction using a cellular automata urban growth model, SLEUTH, through a case study of Karaj City, Iran. *Journal of Housing and the Built Environment*, 30(4), 591-611.
- Saxena, A., Jat, M. K., Clarke, K. C., 2021, Development of SLEUTH-Density For The Simulation of Built-up Land Density. *Computers, Environment and Urban Systems*, 86, 101586.
- Sietchiping, R. (2004), "A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth", Doctoral dissertation, *School of Anthropology, Geography and Environmental Studies The University of Melbourne*, Australia.
- Şahin, E., 2021, Kentsel Büyüme Simülasyon Modelleri. *International Geoinformatics Student Symposium (IGSS)*, Vol. 1, No. 1, pp. 13-18.
- Şevik, Ö. (2006), "Application of SLEUTH model in Antalya", Master's thesis, *Middle East Technical University*, Ankara.
- Tapur, T., 2010, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 1(21), 115-133.
- Tombuş, F. E. (2019), "Çorum İli ve Yakın Çevresinin Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Arazi Kullanımının Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

- UN, (2018), World Urbanization Prospects 2018, Son erişim: 14.12.2021.
- Uysal, C., Uysal, M. M., Uysal, M., 2020, CBS Temelli Hücresel Özişleme Yaklaşımı ile Kentsel Büyüme Simülasyonu: Afyonkarahisar Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 2(1), 26-36.
- Uzun, A., 2009, Dünyadaki Tarımsal Gelişmeler ve Türkiye’deki Tarımsal Politikaların Değerlendirilmesi, *1. Uluslararası Balkanlarda Tarih ve Kültür Kongresi*, Kosova, 359-374.
- Yakup, A. E. (2018), “Mülkiyet Yapısının Kentsel Büyümeye Etkisinin Simülasyon İle Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- Yağcı, C., 2020, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanarak Kentsel Büyümenin Geleceğe Yönelik Modellenmesi: Konya İli Örneği, Doktora Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Yang, X., Lo, C. P., 2003, Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area, *International Journal of Geographical Information Science*, 17:5, 463-488, DOI: 10.1080/1365881031000086965
- Yazıcı, A.D., Öztürk, D., Ayazlı, E.İ., 2018, Tokat İlinde Kentsel Büyümenin Sleuth Modeli İle Simülasyonu, *Nature Sciences (NWSANS)*, 13(4):71-79,
- Yazıcı, A. D., Öztürk, D., Ayazlı, İ. E., 2019, Kentsel Büyümenin Modellenmesi ve Simülasyon Modelleri. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 44-47.
- Yıldırım, Y., Ayazlı, İ. E., 2021, İstanbul İçin Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli Oluşturulması. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 2(2), 59-66.
- URL1, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Son Erişim: 04.06.2023)
- URL2, <https://earthengine.google.com/> (Son Erişim: 28.07.2023)

EKLER

EK-1 Google Earth Engine Kodlamaları

Ek-1.1. 1991/1 kod dosyası

```

var landsat1 = ee.Image(ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C02/T1_TOA")
  .filterBounds(nokta)
  .filterDate("1991-07-12","1991-07-14")
  .sort("CLOUD_COVER")
  .map(addNdvi)
  .first()
  .clip(parca_1);
function addNdvi (img){
var ndvi = img.normalizedDifference (['B4','B3']).rename('NDVI');
return img.addBands(ndvi);}
//-----
var mergedFc = orman.merge(su).merge(ekilitarim).merge(bos).merge(kent);
var FCimage = ee.Image().byte().paint(mergedFc,"LC").rename("LC");
var stratified_Samples=FCimage.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region:parca_1,
  scale:30,
  classValues:[1,2,3,4,5],
  classPoints:[100,100,200,2100,20],
  geometries:true });
print('Stratified Samples',stratified_Samples);
print(stratified_Samples.reduceColumns(ee.Reducer.frequencyHistogram(),
['LC']).get('histogram'),('Number of Points'));
Map.addLayer(stratified_Samples,{},'Stratified Samples',false);
var Stratified_Training = landsat1.sampleRegions({
  collection:stratified_Samples,
  properties:['LC'],
  geometries:true,
  scale:30});
print('Stratified_Training',Stratified_Training);
print(Stratified_Training.size());
var RFclassifier= ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({
  features:Stratified_Training,
  classProperty: 'LC',
  inputProperties: ['B1','B2','B3','B4','B5','B6','B7','QA_PIXEL','QA_RADSAT','NDVI']});
var classified_Reference = landsat1.classify(RFclassifier);
Map.addLayer(classified_Reference,
{min:1,max:5,palette:['047a18','263fff','00ff00','ffff99','000000']},
'classified Image',false);
//-----
var valNames = vOrman.merge(vSu).merge(vEkilitarim).merge(vBos).merge(vKent);
var FCimagee = ee.Image().byte().paint(valNames,"LC").rename("LC");
var stratified_Samplless=FCimagee.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region:parca_1,
  scale:30,
  classValues:[1,2,3,4,5],
  classPoints:[20,20,40,420,20],
  geometries:true});
print('Stratified Samplless',stratified_Samplless);
print(stratified_Samplless.reduceColumns(ee.Reducer.frequencyHistogram(),
['LC']).get('histogram'),('Number of Points'));
var validation = classified_Reference.sampleRegions({collection: stratified_Samplless,
properties:['LC'], scale:30});
print('validation',validation);
print(validation.size());
var testAccuracy = validation.errorMatrix('LC','classification');
print('validation error matrix:', testAccuracy);
print('validation overall accuracy:', testAccuracy.accuracy());

```

Ek-1.2. 1991/2 kod dosyası

```

var landsat2 = ee.Image(ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1_TOA')
.filterBounds(nokta2)
.filterDate('1991-07-12','1991-07-14')
.sort('CLOUD_COVER')
.map(addNdvi)
.first()
.clip(parca_2));
var landsat3 = ee.Image(ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1_TOA')
.filterBounds(nokta3)
.filterDate('1991-07-12','1991-07-14')
.sort('CLOUD_COVER')
.map(addNdvi)
.first()
.clip(parca_2));
var combined_img = ee.ImageCollection([landsat2, landsat3]).mosaic();
Map.addLayer(combined_img, {bands:['B3','B2','B1'],min:0.0893, max:0.4317}, 'combined_img');
function addNdvi (img){
var ndvi = img.normalizedDifference ([('B4','B3')).rename('NDVI');
return img.addBands(ndvi);}
//-----
var mergedFc2 = ekilitarim2.merge(koyutarim2).merge(aciktarim2)
.merge(beyaztarim2).merge(bos2).merge(kent2).merge(bosss2);
var FCimage2 = ee.Image().byte().paint(mergedFc2,"LC").rename("LC");
var stratified_Samples2=FCimage2.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region:parca_2,
  scale:30,
  classValues:[6,7,8,9,10,11,12],
  classPoints:[300,550,400,1020,2500,220,10],
  geometries:true});
Map.addLayer(stratified_Samples2,{},'Stratified Samples2',false);
var Stratified_Training2 = combined_img.sampleRegions({collection:stratified_Samples2,
properties:['LC'], geometries:true, scale:30});
//-----
var RFclassifier2= ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({
  features:Stratified_Training2,
  classProperty: 'LC',
  inputProperties: ['B1','B2','B3','B4','B5','B6','B7','QA_PIXEL','QA_RADSAT','NDVI']});
var classified_Reference2 = combined_img.classify(RFclassifier2);
Map.addLayer(classified_Reference2,
{min:6,max:12,palette:['00ff00','00ff00','00ff00','00ff00','ffff99','000000','ffff99']},
'classified Image2',false);
var valNames = vEkilitarim2.merge(vKoyutarim2).merge(vAciktarim2).merge(vBeyaztarim2)
.merge(vBos2).merge(vKent2).merge(vBosss2);
var FCimage2 = ee.Image().byte().paint(valNames,"LC").rename("LC");
var stratified_Samples2=FCimage2.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region:parca_2,
  scale:30,
  classValues:[6,7,8,9,10,11,12],
  classPoints:[60,110,80,204,500,44,2],
  geometries:true});
var validation2 = classified_Reference2.sampleRegions({collection: stratified_Samples2,
properties:['LC'],scale:30});
var testAccuracy2 = validation2.errorMatrix('LC','classification');
print('validation error matrix:', testAccuracy2);
print('validation overall accuracy:', testAccuracy2.accuracy());
var siniflandirma = ee.ImageCollection([classified_Reference, classified_Reference2]).mosaic();
Map.addLayer(siniflandirma, {min:1,max:12,palette:['047a18','263fff','00ff00','ffff99','000000',
'00ff00','00ff00','00ff00','00ff00','ffff99','000000','ffff99'],'classified Image_son',false);
Export.image.toDrive({
  image:classified_Reference,
  description:'classification',
  scale:30,
  region:selcuklu,
  crs:'EPSG:32636',
  fileFormat:'GeoTIFF'});

```

Ek-1.3. 2015 yılı kod dosyası

```

var landsat = ee.Image(ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
.filterBounds(nokta)
.filterDate('2015-07-14','2015-07-16')
.sort('CLOUD_COVER')
.map(addNdvi)
.first()
.clip(selcuklu));
Map.addLayer(landsat,{bands:['SR_B4','SR_B3','SR_B2'],min:8277, max:21678 },'landsat');
function addNdvi (img){
var ndvi = img.normalizedDifference (['SR_B5','SR_B4']).rename('NDVT');
return img.addBands(ndvi);}
//-----
var mergedFc = orman.merge(kent).merge(bos).merge(su).merge(ekilitarim).merge(koyutarim)
.merge(aciktarim).merge(beyaztarim).merge(boss);
var FCimage = ee.Image().byte().paint(mergedFc,"LC").rename("LC");
var stratified_Samples=FCimage.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region:selcuklu,
  scale:30,
  classValues:[1,2,3,4,5,6,7,8,9],
  classPoints:[50,400,2100,50,400,500,500,500,500],
  geometries:true});
Map.addLayer(stratified_Samples,{},'Stratified Samples',false);
var Stratified_Training = landsat.sampleRegions({
  collection:stratified_Samples,
  properties:['LC'],
  geometries:true,
  scale:30});
//-----
var RFclassifier= ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({
features:Stratified_Training,
classProperty: 'LC',
inputProperties: ['SR_B1','SR_B2','SR_B3','SR_B4','SR_B5','SR_B6','SR_B7','ST_B10',
ST_ATRAN','NDVT']});
var classified_Reference = landsat.classify(RFclassifier);
Map.addLayer(classified_Reference,
{min:1,max:9,palette:['047a18','000000','ffff99','263fff','00ff00','00ff00','00ff00','00ff00','ffff99']},
'classified Image',false);
var valNames = vOrman.merge(vKent).merge(vBos).merge(vSu).merge(vEkilitarim).merge(vKoyutarim)
.merge(vAciktarim).merge(vBeyaztarim).merge(vBoss);
var FCimagee = ee.Image().byte().paint(valNames,"LC").rename("LC");
var stratified_Samplless=FCimagee.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region:selcuklu,
  scale:30,
  classValues:[1,2,3,4,5,6,7,8,9],
  classPoints:[10,80,420,10,80,100,100,100,100],
  geometries:true});
var validation = classified_Reference.sampleRegions({
  collection: stratified_Samplless,
  properties:['LC'],
  scale:30});
print('validation',validation);
print(validation.size());
var testAccuracy = validation.errorMatrix('LC','classification');
print('validation error matrix:', testAccuracy);
print('validation overall accuracy:', testAccuracy.accuracy());
Export.image.toDrive({
  image:classified_Reference,
  description:'2015',
  scale:30,
  region:selcuklu,
  crs:'EPSG:32636',
  fileFormat:'GeoTIFF'
});

```

Ek-1.4. 2022 yılı kod dosyası

```

var landsat = ee.Image(ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
.filterBounds(nokta)
.filterDate('2022-07-01','2022-07-03')
.sort('CLOUD_COVER')
.map(addNdvi)
.first()
.clip(selcuklu));

Map.addLayer(landsat,{bands:['SR_B4','SR_B3','SR_B2'], min:8277, max:21678},'landsat');
function addNdvi (img){
  var ndvi = img.normalizedDifference(['SR_B5','SR_B4']).rename('NDVI');
  return img.addBands(ndvi);
}
Map.addLayer(landsat,{bands:['NDVI']},'NDVI');
//-----
var mergedFc = orman.merge(kent).merge(bos).merge(su).merge(ekililarim).merge(koyutarim)
.merge(aciktarm).merge(beyaztarim);
var FCimage = ee.Image().byte().paint(mergedFc,"LC").rename("LC");
var stratified_Samples = FCimage.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand:'LC',
  region: selcuklu,
  scale:30,
  classValues:[1,2,3,4,5,6,7,8],
  classPoints:[50,250,2300,50,500,650,600,600]
  geometries:true});
Map.addLayer(stratified_Samples,{},'Stratified Samples',false);
var Stratified_Training = landsat.sampleRegions({
  collection:stratified_Samples,
  properties:['LC'],
  geometries:true,
  scale:30});
//-----
var RFclassifier=ee.Classifier.smileRandomForest(30).train({
  features:Stratified_Training,
  classProperty: 'LC',
  inputProperties:['SR_B1','SR_B2','SR_B3','SR_B4','SR_B5','SR_B6','SR_B7','ST_B10','ST_ATRAN','NDVI'] });
var classified_Reference= landsat.classify(RFclassifier);
Map.addLayer(classified_Reference,
{min:1, max:8, palette:['047a18','000000','ffff99','263fff','00ff00','00ff00','00ff00','00ff00']},
'classified Image', false);
var valNames= vOrman.merge(vKent).merge(vBos).merge(vSu).merge(vEkililarim).merge(vKoyutarim)
.merge(vAciktarm).merge(vBeyaztarim);
var FCimagee= ee.Image().byte().paint(valNames,"LC").rename("LC");
var stratified_Samplless = FCimagee.stratifiedSample({
  numPoints:10000,
  classBand: 'LC',
  region:selcuklu,
  scale:30,
  classValues:[1,2,3,4,5,6,7,8],
  classPoints:[10,50,460,10,100,130,120,120],
  geometries:true });
var validation = classified_Reference.sampleRegions({
  collection: stratified_Samplless,
  properties: ['LC'],
  scale:30 });
print('validation',validation);
print(validation.size());
var testAccuracy = validation.errorMatrix('LC','classification');
print('validation error matrix:', testAccuracy);
print('validation overall accuracy:', testAccuracy.accuracy());
Export.image.toDrive({
  image:classified_Reference,
  description:'2022_dogruluk',
  scale:30,
  region:selcuklu,
  crs:'EPSG:32636',
  fileFormat:'GeoTIFF'
});

```

EK-2 Sınıflandırma Doğrulukları

Ek-2.1. 1991/1 sınıflandırma doğruluğu

1991 / 1		Referans Veriler						KD
		Orman	Su	Tarım	Boş	Kent	Toplam	
Sınıflandırılmış Veriler	Orman	19	0	1	0	0	20	%95
	Su	0	20	0	0	0	20	%100
	Tarım	0	0	37	3	0	40	%92
	Boş	0	0	0	420	0	420	%100
	Kent	0	0	0	7	7	14	%50
	Toplam	19	20	38	430	7	514	
ÜD		%100	%100	%97	%98	%100	GD: %98	

Ek-2.2. 1991/2 sınıflandırma doğruluğu

1991 / 2		Referans Veriler								KD
		Tarım 1	Tarım 2	Tarım 3	Tarım 4	Boş 1	Kent	Boş 2	Toplam	
Sınıflandırılmış Veriler	Tarım 1	60	0	0	0	0	0	0	60	%100
	Tarım 2	0	103	0	3	4	0	0	110	%94
	Tarım 3	0	0	80	0	0	0	0	80	%100
	Tarım 4	0	0	0	204	0	0	0	204	%100
	Boş 1	0	3	3	2	492	0	0	500	%98
	Kent	0	2	0	0	7	35	0	44	%80
	Boş 2	0	0	0	0	0	0	2	2	%100
	Toplam	60	108	83	209	503	35	2	1000	
ÜD		%100	%95	%96	%98	%98	%100	%100	GD: %98	

Ek-2.3. 2015 sınıflandırma doğruluğu

2015		Referans Veriler										KD
		Orman	Kent	Boş 1	Su	Tarım 1	Tarım 2	Tarım 3	Tarım 4	Boş 2	Toplam	
Sınıflandırılmış Veriler	Orman	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	%100
	Kent	0	71	2	0	0	7	0	0	0	80	%89
	Boş 1	0	0	411	0	0	2	4	0	3	420	%98
	Su	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	%100
	Tarım 1	0	0	0	0	80	0	0	0	0	80	%100
	Tarım 2	0	2	3	0	0	86	6	0	3	100	%86
	Tarım 3	0	0	7	0	0	4	86	1	2	100	%86
	Tarım 4	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100	%100
	Boş 2	0	0	0	0	0	0	0	1	99	100	%99
	Toplam	10	73	423	10	80	99	96	102	107	1000	
ÜD		%100	%97	%97	%100	%100	%87	%90	%98	%92	GD: %95	

Ek-2.4. 2022 sınıflandırma doğruluğu

2022		Referans Veriler									KD
		Orman	Kent	Boş	Su	Tarım 1	Tarım 2	Tarım 3	Tarım 4	Toplam	
Sınıflandırılmış Veriler	Orman	10	0	0	0	0	0	0	0	10	%100
	Kent	0	50	0	0	0	0	0	0	50	%100
	Boş	0	0	443	0	0	4	8	5	460	%96
	Su	0	0	0	9	1	0	0	0	10	%90
	Tarım 1	0	0	0	0	100	0	0	0	100	%100
	Tarım 2	0	0	1	0	0	129	0	0	130	%99
	Tarım 3	0	0	9	0	0	0	111	0	120	%92
	Tarım 4	0	0	0	0	0	0	2	118	120	%98
	Toplam	10	50	453	9	101	133	121	123	1000	
ÜD		%100	%100	%98	%100	%99	%97	%92	%96	GD: %97	