

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

COĞRAFYA, TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

GELECEK ARAZİ KULLANIM MODELLERİNİN
YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİ İÇERİSİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ: NİLÜFER ÇAYI
HAVZASI ÖRNEĞİ (BURSA)

GÜLAN GÜNGÖR
2501171395

TEZ DANIŞMANI
DOÇ.DR. CİHAN BAYRAKDAR

İSTANBUL – 2021

ÖZ
GELECEK ARAZİ KULLANIM MODELLERİNİN YAĞIŞ-AKIŞ İLİŞKİSİ
İÇERİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ: NİLÜFER ÇAYI HAVZASI
ÖRNEĞİ (BURSA)
GÜLAN GÜNGÖR

Bu çalışma değişen arazi kullanımına bağlı olarak Nilüfer Çayı havzasında değişen hidroloji parametreleri olan pik akış, ortalama akış ve yüzeysel akış değerleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında Terrset programıyla temel altlık arazi kullanımları için: 1989 ve 1999 yıllarına ait Landsat-5 uydu görüntülerinin ön işlem ve ardından piksel tabanlı ve obje tabanlı sınıflama metotlarının birlikte kullanılması sonucu elde edilmiştir. Ardından model doğruluğu sağlamak amacıyla 2009 yılı ve 2019 yılı arazi kullanım projeksiyonları üretilerek referans görüntüler ile kıyaslanmıştır. Hata matrisleri belirlenmiştir. Tüm yıllar için doğruluk oranı %85.78'in altına düşmemiştir. Model güvenilirliği sağlandıktan sonra SWAT modelinde kullanılacak dönemlere uygun olacak şekilde gelecek arazi kullanım projeksiyonları üretilmiştir. Referans yılı olan 1971-2000 dönemi için 2009 arazi kullanımı, 2020-2049 yakın gelecek dönemi için ise 2029 arazi kullanımı, 2070-2099 uzak gelecek için ise 2070 arazi kullanımı kullanılmıştır. Ardından referans arazi kullanımı kullanılarak üretilen 2020-2049 yakın gelecek ile 2029 arazi kullanımı kullanılarak elde edilen 2020-2049 yakın geleceğe ait pik akış, ortalama akış ve yüzeysel akış değerleri kıyaslanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, göze çarpan özellik tüm akış değerlerinde arazi kullanımının değişimi ile birlikte artış elde edilmesidir. Bu artış en fazla pik akış değerlerine yaşanmıştır. Bu iki farklı arazi kullanımının alt havzalar üzerinde ki yansıma değerleri de karşılaştırılmıştır. Orman ve yarı doğal alanların büyük yer kapladığı bazı alt havzalarda değişen arazi kullanımına bağlı olarak ortalama akış değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. 2009 arazi kullanımı kullanılarak üretilen 2070-2099 uzak gelecek, 2029 arazi kullanımı kullanılarak üretilen 2070-2099 uzak gelecek ve son olarak 2070 arazi kullanımı kullanılarak üretilen 2070-2099 uzak gelecek dönemlerine ait havza hidrolojisi parametreleri olan pik akış, ortalama akış ve yüzeysel akış değerleri de karşılaştırılmıştır. Tüm çıktılarda değer artışı yaşandığı elde edilmiştir. Bu değerler arasında ki fark en fazla pik akış

değerlerinde gözlenmiştir. Sonuç olarak değişen arazi kullanımının bağlı olarak havza hidroloji parametreleri incelenmiştir. Hidroloji çalışmalarında sabit tutulan arazi kullanım parametresine bağlı olarak oluşabilecek yanlışların gösterildiği bir çalışma olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arazi kullanımı Değişim Modeli, Terrset, SWAT, Yağış-Akış, Pik Akış



ABSTRACT

EVALUATION OF FUTURE LAND USE MODELS WITHIN RAINFALL- RUNOFF RELATION: THE CASE OF THE NILUFER RIVER BASIN (BURSA)

GÜLAN GÜNGÖR

In this study, variable hydrological parameters such as peak, mean and surface flows of Nilufer Stream Basin were evaluated due to the changing land use. In the first phase of the study, basic land use map was produced with pre-processing, pixel-based and object based classification methods on Landsat-5 satellite images from 1989 and 1999. Then, in order to obtain model accuracy, the 2009 and 2019 land use projections were produced and compared with reference images. The error matrices were determined. The accuracy rate didn't fall below 85.78 % for all years. After ensuring the model reliability, future land use projections were produced in accordance with the SWAT model. Then the peak, mean and surface flow values of the near future 2020-2049 which produced from reference land use map and near future 2020-2049 which produced from the 2029 land use map were compared. When the results are compared, the striking feature is the increase in all flow values with the change of land use. The most increase was seen at the peak flow values. The reflection values on sub-basins of the two maps were also compared. It observed that the mean flow values have decreased in some sub-basins where the forest and semi-natural areas that cover huge areas due to the changing land use. The peak flow, mean flow and surface flow values, which are the basin hydrology parameters of the distant future, were compared with 2070-2099 produced from the 2009 reference land use map, 2070-2099 produced from the 2029 land use map and 2070-2099 produced from the 2070 land use map. It was observed that there was an increase in value for all results. The difference between these values was observed at the highest peak flow values. As a result, basin hydrology parameters were analyzed that depend on changing land use. It has been a study in which the errors that may occur depending on the land use parameter kept constant in hydrology studies are shown.

Key words: Land Use Change Models, Terrset, SWAT, Rainfall-Runoff, Peak Flow

ÖNSÖZ

“Gelecek Arazi Kullanım Modellerinin Yağış-Akış İlişkisi İçerisinde Değerlendirilmesi: Nilüfer Çayı Havzası Örneği (Bursa)” adlı bu tez çalışması yağış-akış modellerine değişen arazi kullanım senaryolarının eklenmesiyle akış ve yüzeysel akıştaki değişimin izlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Beşeri faaliyetlerin yeryüzü üzerindeki etkisi küresel değişim olaylarında önemli rol oynar. Değişim insan ve doğal sistemler arasında olup dinamik ve karmaşık bir sistemdir. Havza Bursa kent merkezini içine alırken, yoğun nüfus ve tarımsal faaliyetlerde sürdürülmektedir. Ele alınan 1989- 2019 yılları arası dönemdeki hızlı arazi kullanım değişim ve dönüşüm süreçleri havzayı ideal bir alan kılmıştır. Nilüfer Çayı havzasında arazi kullanım değişiminin dün, bugün ve geleceği tespit edilmiştir. Arazi kullanım sınıflarının dağılışı, kayıpları ve kazançları tespit edilerek gelecek arazi kullanım sınıfları çeşitli algoritmalarla elde edilmiştir. Bu değişime bağlı olarak 3 yağış-akış model senaryosu hazırlanmış ve arazi kullanımı değiştikçe akış değişimi bu değişimin havzadaki taşkın potansiyeli açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında her koşulda destek olan, görüş ve önerileriyle katkı sağlayan kıymetli danışmanım Doç. Dr. Cihan BAYRAKDAR’ a teşekkürü bir borç bilirim. Tez konumun şekillenmesinde, planlanmasında değerli görüş ve önerileriyle bana destek olan Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR ve Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKBAŞ’ a çok teşekkür ederim. Arkadaşlığı ve bilimsel anlamdaki destekleri ile yanımda olan Arş. Gör. Sultan BOLAT’ a ve Akdeniz Üniversitesi Doktora öğrencisi Barış DURMUŞ’ a teşekkür ederim. Bu süreçte hep destek olan sevgili arkadaşlarım ve her zaman yanımda olan canım aileme en içten şükranlarımı sunarım.

Tez sürecimde beni “2210-A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı” ile destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) ayrıca teşekkür ederim.

Gülan GÜNGÖR

İstanbul, 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	II
ABSTRACT	IV
ÖNSÖZ.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
1.2. Problemin Tanımlanması	5
1.3. Literatür Taraması	6
1.4. Çalışma Alanı ve Genel Fiziki Coğrafya Özellikleri	9
1.5. Çalışma Alanının Genel Beşeri Coğrafya Özellikleri	15

VERİ VE YÖNTEM

2.1. Verilerin Toplanması.....	17
2.2. Yöntem	20
2.2.1. Görüntü Sınıflama Metotları	20
2.2.2. Sınıflama Doğruluğu	23
2.2.3. Arazi Kullanımı / Örtüsü Simülasyon Modelleri	26
2.2.4. SWAT Yağış-Akış Modeli.....	30

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Arazi Kullanımı/ Örtüsü Haritalarının Oluşturulması	33
--	----

3.2. Değişim Analizi.....	53
3.3. Arazi Kullanımı Modeli ve Yağış Akış İlişkisi.....	71
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	86
KAYNAKÇA	91



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Havza Lokasyonu	10
Şekil 1.2: Jeolojik Birimler.....	12
Şekil 1.3: Çalışma alanının toprak grupları dağılışı haritası.....	13
Şekil 1.4: Bursa meteoroloji istasyonu aylık toplam yağış miktarı ortalaması ve ortalama sıcaklığı gösteren grafik	14
Şekil 1.5: Havzadaki nüfus miktarı 1965-2020 yılları arası	16
Şekil 2.1 : Segmantasyon tipleri	22
Şekil 2.2: En çok benzerlik yöntemi.....	23
Şekil 2.3: YSA modeli.....	29
Şekil 2.4: Hidrolojik döngünün şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.1: 1989 yılı arazi kullanımı (Landsat 5'den üretilmiştir)	34
Şekil 3.2: 1999 yılı arazi kullanımı (Landsat 5'den üretilmiştir)	36
Şekil 3.3: 2009 yılı arazi kullanımı (Landsat 5'den üretilmiştir)	38
Şekil 3.4: 2009 yılı arazi kullanımı projeksiyonu.....	40
Şekil 3.5: 2019 yılı arazi kullanımı projeksiyonu.....	43
Şekil 3.6: Geçiş potansiyeli haritaları a) orman ve yarı doğal alanlardan yapay bölgelere, b) tarımsal alanlardan yapay bölgelere, c) orman ve yarı doğal alanlardan bitki örtüsü az ya da olmayan alanlara, d) orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara geçiş.....	47
Şekil 3.7: Arazi değişim modellemesinin mekânsal dağılımı için kullanılan değişkenlerin haritaları dem, bakı, yollara olan mesafe ve akarsuya olan mesafe	48
Şekil 3.8: Arazi değişim modellemesinin mekânsal dağılımı için kullanılan değişkenlerin haritaları eğim, akarsu, 2009 yılı arazi kullanımının ampirik olasılığı ve yol.....	49
Şekil 3.9: a) 2029 yılı arazi kullanımı projeksiyonu, b) 2049 yılı arazi kullanımı projeksiyonu.....	51
Şekil 3.10: a) 2070 yılı arazi kullanımı projeksiyonu, b) 2099 yılı arazi kullanımı projeksiyonu.....	52
Şekil 3.11: 1989-1999 Değişimi	61
Şekil 3.12: 1999-2009 Değişimi	62

Şekil 3.13: 1989-2009 Değişimi	64
Şekil 3.14: 1971- 2009 yılları arası pik akış ve düşük akış	72
Şekil 3.15: 1971- 2009 yılları arası ortalama akış	73
Şekil 3.16: 1971-2009 yılları arasındaki yüzeysel akış	74
Şekil 3.17: Senaryo 1 ve 2'nin 2020-2049 YG döneminin pik akışların karşılaştırması	75
Şekil 3.18: Senaryo 1 ve 2'nin 2020-2049 YG döneminin ortalama akışların karşılaştırması	76
Şekil 3.19: Senaryo 1 ve 2'nin 2020-2049 YG döneminin yüzeysel akışın karşılaştırması	76
Şekil 3.20: Senaryo 1, 2 ve 3' ün 2070-2099 UG döneminin pik akışların karşılaştırması	77
Şekil 3.21: Senaryo 1, 2 ve 3' ün 2070-2099 UG döneminin ortalama akışların karşılaştırması	78
Şekil 3.22: Senaryo 1, 2 ve 3' ün 2070-2099 UG döneminin yüzeysel akış karşılaştırması.	78
Şekil 3.23: 3 senaryodaki UG pik akış değerlerinin oranı.....	79
Şekil 3.24: Nilüfer Çayı alt havzaları	80
Şekil 3.25: Senaryo 1'de ki YG dönemi alt havzaların pik akışları	80
Şekil 3.26: Senaryo 1'de ki UG dönemi alt havzaların pik akışları	81
Şekil 3.27: Senaryo 2'de ki YG dönemi alt havzaların pik akışları	81
Şekil 3.28: Senaryo 2'de ki UG dönemi alt havzaların pik akışları	82
Şekil 3.29: Senaryo 3'de ki UG dönemi alt havzaların pik akışları.....	83
Şekil 3.30: Senaryo 1 ve 2'ye göre YG dönemi alt havzaların pik akışların karşılaştırılması	84
Şekil 3.31: Senaryo 1, 2 ve 3'e göre UG dönemi alt havzaların pik akışların karşılaştırılması.....	86

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Landsat bant aralıkları	17
Tablo 2.2: CORINE arazi örtüsü sınıfları	19
Tablo 2.3: SWAT kalibrasyonu için kullanılan parametreler	31
Tablo 3.1: 1989 yılı doğruluk analizi	35
Tablo 3.2: 1999 yılı doğruluk analizi	37
Tablo 3.3: 2009 yılı doğruluk analizi	39
Tablo 3.4: 2009 yılı üretilen projeksiyonun doğruluk analizi	41
Tablo 3.5: 2009 yılı arazi kullanımı ve 2009 yılı projeksiyonu karşılaştırılması.	42
Tablo 3.6: 2019 yılı doğruluk analizi	44
Tablo 3.7: Değişim matrisi (1989-1999).....	54
Tablo 3.8: Değişim matrisi (1999-2009).....	55
Tablo 3.9: Değişim matrisi (1989-2009).....	56
Tablo 3.10: 1989-1999 yılları arası net değişimi (ha).....	57
Tablo 3.11: 1989-1999 yılları kazançlar ve kayıpları (Alan %)	57
Tablo 3.12: 1999-2009 arası net değişim (ha).....	58
Tablo 3.13: 1999-2009 kazançlar ve kayıplar (Alan%)	59
Tablo 3.14: 1989-2009 arası net değişim (ha).....	59
Tablo 3.15: 1989-2009 kazançlar ve kayıplar (Alan%)	60
Tablo 3.16: 1989-2009 arası arazi kullanım sınıflarının hektar ve yüzde olarak değişimi	69
Tablo 3.17: 1989-2049 arası kazanç ve kayıp tablosu (Alan %)	70

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 1: 1990'lı yıllar Uludağ kayak merkezi	66
Fotoğraf 2: Uludağ 2017 görüntüsü.....	67
Fotoğraf 3: 1984 yılı Bursa ovası ve Uludağ etekleri.....	67
Fotoğraf 4: Güncel Bursa ovası ve kent görünümü	68

KISALTMALAR LİSTESİ

OIES	: Global Change Institute of the Office of Interdisciplinary Earth Studies
CISMHE	: The Centre for Inter-disciplinary Studies of Mountain and Hill Environment
USGS	: United States Geological Survey
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
YSA	: Yapay Sinir Ağları
LVQ	: Linear Vector Quantization
SOM	: Self-Organizing Maps
ARS	: Agricultural Research Service
MLP	: Multi Layer Perceptron
LCM	: Land Use Change
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool

GİRİŞ

İnsanın dünya yüzeyi üzerinde yaptığı değişikliklerinin hızı, büyüklüğü ve mekânsal erişimi, eşi benzeri görülmemiş şekildedir. Biyosfer üzerindeki değişimlerin esas kaynağı, doğal güçlerden ziyade beşerî faaliyetlerdir (Meyer ve Turner, 1992; Githui vd., 2009). Küresel çevresel değişimi izlemek, modellemek, yönetmek ve bunlara yanıt vermek önem arz etmektedir. İnsan kaynaklı çevresel dönüşümün alanını daha yönetilebilir çalışma alanlarına bölme ihtiyacı, ABD Küresel Değişim Komitesi'ni küresel çevresel değişimin iki ana insan kaynağı olan endüstriyel metabolizma ve arazi dönüşümü arasında ayırım yapmaya yönlendirmiştir (Meyer ve Turner, 1994). Arazi dönüşümü konusu daha uzun vadeli bir perspektif içerisinde değerlendirilmektedir. Bu dönüşüm çok daha geniş bir tarihe sahip olup antik çağa kadar uzanmaktadır. Dünyanın beşerî faaliyetler ile değiştirilmesi, esas olarak toprak ve tarımsal temelin merkezinde yer alan biyotik kaynaklar üzerindeki etkileri içermektedir. Arazi kullanımındaki değişimler: Sanayi Devrimi'nin başlaması, dünya ekonomisinin küreselleşmesi ve nüfusun ve teknolojik kapasitenin artması ile hızlanmış ve çeşitlenmiştir (Baker, 1989). Canlı türleri yok edilmiş, evcilleştirilip kıtalar arasında nakledilmiştir, ormanlar tahrip edilmiş, tarıma açılmış, otlaklar ve ekili alanlar şehirleşme baskısına maruz kalmış ve sulak alanlar kurumuştur (Meyer ve Turner, 1994; Gao vd., 2018; Astutı, 2017). Bu etkiler neticesinde Arazi Kullanımı Değişimi (Land Use Change) kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavramın anlaşılması ve ortak bir terminoloji oluşturmak açısından öncelikle en çok karıştırılan iki kavram olan arazi kullanımı ve arazi örtüsü kavramlarının anlaşılması gerekmektedir. Arazi örtüsü, Dünya yüzeyinin biyofiziksel özelliklerini ifade etmekte olup doğrudan hava fotoğrafları veya uydu görüntüleri kullanılarak dünya yüzeyinden izlenebilirken, arazi kullanımı ise; yer yüzeyi üzerindeki tüm beşerî müdahaleleri ifade etmektedir. Arazi kullanımları; yerleşme, ekili alanlar, mera, rekreasyon vb. sınıflara ayrılabilir (Briassoulis , 2019). Herhangi bir yerdeki arazi kullanımı değişikliği, farklı bir kullanıma geçişi veya mevcut kullanımın yoğunlaştırılmasını içerebilir (Meyer ve Turner, 1992; Lambin, vd., 2000; Di Gregorio ve Jansen, 1998). Arazi kullanımı değişikliği, arazi örtüsü değişikliğine neden olabilmektedir. Öte yandan arazi kullanımı değişmeden kalsa bile arazi örtüsü değişebilmektedir (Wang vd.,2020).

Arazi örtüsü değişimini yönlendiren arazi kullanımı değişikliği, arazi kullanımının yönünü ve yoğunluğunu şekillendiren beşerî faaliyetler olan sosyal, ekonomik, politik ve kültürel özellikleri tarafından şekillendirilmektedir. Bu etkileşim tek yönlü olmayıp çevresel değişikliklerin arazi örtüleri, arazi kullanımları ve beşerî faaliyetler üzerinde etkileri olabilmektedir (Mishra vd., 2014). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiminin analizinde, gerçek küresel durumları tespit etmek için öncelikle değişim kavramını açıklığa kavuşturmak gerekmektedir. En genel anlamda belirli bir arazi kullanımı veya arazi örtüsü türünün alansal boyutundaki (artış veya azalış) değişiklikler anlamına gelmektedir. Bu seviyede bile değişimin tespiti ve ölçülmesinin mekânsal ölçeğe bağlı olup mekânsal ölçek ne kadar büyükse, arazi kullanımı ve arazi örtüsünün alansal boyutunda tespit edilebilen ve kaydedilebilen değişiklikler de o kadar detaylı olabilmektedir (Meyer ve Turner, 1994; Anand, vd., 2018)

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleri, su kalitesi, arazi ve hava kaynakları, ekosistem süreçleri ve işlevi, sera gazı oranları ve yüzey albedo etkileri üzerinde iklim sisteminin kendisi de dahil olmak üzere, çok çeşitli çevresel ve peyzaj nitelikleri üzerinde etkilere sahiptir (Wang vd., 2020). Son zamanlarda yaşanan bazı çevresel değişim ve sorunların nedenini anlamak, sonuçlarını değerlendirebilmek ve tahmin etmek için arazi kullanım değişiminin takip edilmesi ve gelecek modellemelerin yapılması bu bağlamda stratejinin oluşturulması önem arz etmektedir (Can vd., 2015). Arazi kullanımı politikası ve planlaması, doğrudan fiziksel müdahalelerle sınırlı olmayıp genellikle ekonomik, sosyal, çevresel ve diğer politika ve planlama alanlarındaki eylemler yoluyla dolaylı olarak uygulanmaktadır (Gibson vd.,2018). Arazi kullanım değişim modelleri, arazi kullanım dinamiklerinin nedenleri ve sonuçlarının analizinin yapılmasına olanak sağlamakta ve arazi kullanım planlaması ve politikasını desteklemektedir (Heistermann vd., 2006).

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin hidrolojik döngü ve su kalitesi üzerinde dört ana doğrudan etkisi olabilir: Bunlar sel, kuraklık, akarsu ve yeraltı suyu rejimlerinde değişiklikler ve su kalitesini etkileyebilir. Bu doğrudan etkilerin yanı sıra iklim üzerinde dolaylı etkiler ve buna bağlı olarak değişen iklimin sular üzerindeki etkileri de bulunmaktadır. Nüfus ve ekonominin büyümesiyle bağlantılı olarak diğer arazi türlerinin kullanımlara dönüştürülmesi olan kentleşme, özellikle yakın insanlık

tarihinde önemli bir arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliğidir. Kentleşme sürecinin, yüzey akışının ve diğer hidrolojik özelliklerin doğasını etkileme, kirleticileri nehirlerle taşıma ve erozyon oranlarını kontrol etme açısından önemli bir hidrolojik etkisi vardır. Bu etkiler sebebiyle özellikle havza hidrolojisinde arazi kullanımı ve değişimin etkilerinin tespiti, değerlendirilmesi ve taşkın potansiyelinin tahmin edilmesinde önemlidir (Özdemir ve Elebaşı, 2014; Weng, 2001). Bu çalışmanın da ana amacını değişen bu arazi kullanımı ve bunun SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli ile yağış-akış senaryolarına yansımalarıdır. Bir havza için yağış-akış senaryosu hazırlarken arazi kullanımının eklenmesi ve bunun modellenen her dönem için güncellenerek değiştirilmesi ve sonuçlara yansımaları ortaya konmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; Nilüfer Çayı havzasında arazi kullanım değişimi ve bunun yağış akış ilişkisi içerisinde havzanın geçmiş, bugün ve gelecek bakış açısıyla değerlendirilmesi ve öngörüler yapılması hedeflenmiştir. Bursa şehir merkezi ve çevresindeki verimli tarım alanları Nilüfer Çayı havzası içerisinde yer almaktadır. Tarım alanları, şehir yapısı, su yapısı ve doğal alanlarıyla bütünleşik ve korumaya değer bir saha olup sahanın sürdürülebilirliği ve işletilmesi açısından birtakım tehlikeler altındadır. En önemlisi verimli tarım alanlarındaki aşırı nüfuslanma ve buna bağlı olarak tarımsal alan kaybı ve kirlenmesi söz konusudur. Bununla birlikte havza içerisinde yer alan Nilüfer Çayı'nda, 5-6 yıllık periyotlar şeklinde taşkınlar meydana gelmekte, hem tarımsal alanlarda hem de şehir yapılarında zararlara sebep olmaktadır. Özellikle sahada yapılan bir çalışmaya göre (Akbaş, 2018)' de Nilüfer Çayı havzasında yağış ve akış miktarının artması öngörülmüştür. Yapılan bu tez çalışması ile SWAT modelinin bir alt parametresi olan arazi kullanımı verisi değiştirilip, gelecek arazi kullanımı modele eklenerek değişim değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çalışmanın önerilerinden biri ise statik olan arazi kullanımının dinamik olarak (zaman boyutu eklenip) incelenmesidir. Arazi kullanımındaki değişiklikler ve bunların mekânsal etkileri, bir akarsu havzasının hidrolojik karakteristiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Çünkü havzadaki farklı arazi kullanım sınıfları veya bitki örtüsünün dağılımı, yüzey akışının artmasına veya azalmasına neden olabilir. Bu çalışma ile hem havzanın geçmiş, bugün ve gelecek perspektifinde arazi kullanımı değerlendirilip hem de yağış-akış ilişkisi ortaya konmuştur. Havzadaki akım miktarının artışıyla birlikte özellikle taşkın potansiyeli olan Nilüfer Çayı'nda beklenen taşkınların olması demektir. Giderek artan nüfus artışı havza suretinin değişmesine neden olmaktadır. Sahada var olan kaynakların devamı için koruma ve kullanım dengesinin sağlanması sahanın geleceği için önem taşımaktadır. Bu hedefle sahanın özelliklerinin belirlenmesi, geçmiş özellikleri dikkate alınarak şimdiki ve gelecek arazi kullanım modeli tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda havzadaki arazi kullanım değişiminin hızı ve değişimin yönü ortaya konmuştur. Tüm bu hedefler doğrultusunda havzanın gelecek arazi kullanım modelleri ve yağış-akış modelleri

birlikte değerlendirilerek havzadaki bilinmeyenler hakkında fikir vermesi amaçlanmıştır.

1.2. Problemin Tanımlanması

İklim ve arazi örtüsü arasındaki geri bildirimi anlamak, yerel ölçekte iklim değişikliğini ve uyum önlemlerini planlamak için önemlidir. Arazi kullanımının hızla değişmesi ve gelecek için bir belirsizlik teşkil etmesi sebebiyle, öngörüler yapmak ve fikir edinilmek istenen bir konudur. Bu bağlamda değişen arazi kullanımının yağış-akış üzerindeki etkisi de önem arz etmektedir. Havzalardaki sel ve taşkın süreçleri, yağış ve arazi kullanım/örtüsü özelliklerinin bir kombinasyonu tarafından yönlendirilir (Gao vd., 2018). Özellikle arazi kullanımında bitki örtüsü ile kaplı alanların geçirimsiz şehir yapılarına dönüşümü yüzeysel akışı en çok etkileyen faktörlerdendir bunun tespiti ve oranın belirlenmesi oldukça önemlidir.

Arazi kullanım değişimi bu değişimin yönünün tespiti ve değişim yaşanırken bunun iklim değişikliği ve değişkenliği ile olan uyumu oldukça önemli ve özellikle yoğun nüfuslanmanın olduğu alanlarda iyi değerlendirilmelidir. Bugün Türkiye'nin 4. en kalabalık şehri olan Bursa kent merkezinin havza içinde yer alması ve bu havzada daha önce arazi kullanım değişimi ve buna bağlı olarak üretilen hidroloji modellerinin değerlendirilmesiyle ilgili özel bir çalışma yapılmamıştır. Akbaş vd., (2020)'de bölge genelinde daha önce yapılan bir çalışma olup sadece genel olarak şu konudan bahsedilmiştir: Nilüfer Çayı havzasında beklenen yağış artışı, gelecekte muhtemel taşkınlara sebep olacağının işaretidir. Bu problem gelecek arazi kullanım değişiminin bilinmemesi, yaşanabilecek yağış artışı ve akışın etkisiyle meydana gelecek afetlere karşı savunmasız olma halidir. Bu çalışmada oluşabilecek bu problemlere karşı olarak, arazi kullanım değişimi eklenerek gelecek yağış-akış modellerinin doğru değerlendirilmesi yapılmıştır. Ve havzanın bilinmeyen gelecek arazi kullanımı ve bu bağlamdaki değişen akış değerleri belirlenerek havza için sürdürülebilir bir plan yapılabilir.

Yağış-akış senaryolarında statik olan arazi kullanımının değişmesi sonuçları da doğrudan değiştirmektedir. Arazi kullanımı zamansal boyutu ve bu değişimi

eklendiğinde yüzeysel akış, pik akış ve ortalama akış değerleride tamamen değişmektedir. Bu değişimin sel-taşkın üzerinde ki etkisi de elbette kaçınılmazdır.

1.3. Literatür Taraması

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleri, birkaç on yıl önce ‘iklimsel süreçlerin dünya yüzeyindeki çevresel değişimi üzerine’ bir araştırma konusu olarak öne çıkmıştır (Aggarwal vd., 2002; Gaovd., 2018; Anand vd., 2018; Shang vd., 2019; Akbaş vd., 2020; Can vd.,2015). Uzaya ilk gönderilen uzaktan algılama uydusu olan Landsat-1’in 1972’de piyasaya sürülmesiyle, arazi kullanımı ve arazi örtüsü çalışmalarında farklı kullanıcılar için farklı ölçeklerde kullanılmaya başlanmıştır (Lambin vd., 2000). 1980’lerin başlarında, karasal ekosistemlerdeki arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliğinin karbon döngüsü yoluyla küresel iklim üzerindeki önemi anlaşılmıştır. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin iklim değişikliği, hidroloji, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli etkileri vardır (Gibson vd., 2018). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü; peyzaj ekolojisi, iklim değişikliği, yer bilimi ve ekoloji alanlarında geniş çapta incelenen olgu haline gelmiştir. Bu nedenle, doğrudan veya dolaylı olarak arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliği iklimi, jeolojiyi ve çevresel süreçleri etkilemiştir (Aggarwal vd., 2002).

Meyer ve Turner (1992)’de yaptıkları çalışmada, arazi kullanımı ve örtü üzerindeki değişikliklerin çeşitli mikroklimatik değişikliklere neden olduğunu belirtmişlerdir. Arazi kullanımında meydana gelen ormansızlaşmayı küresel yüzey sıcaklığındaki artış ile ilişkilendirilmiştir. Bu da şehir çevresinde meydana gelen, kentsel ısı adası olarak adlandırılan güçlü bir fenomene neden olmaktadır. Çalışmaları ayrıca, tarımdan yerleşim alanlarına geçişteki arazi örtüsü değişikliklerine bağlı olarak su kirliliğinin meydana geldiğini göstermiştir. Orman türlerindeki kayıpların biyoçeşitlilik üzerinde çoklu etkilere sahip olduğu da bildirilmiştir.

Xiaomei ve Rongqing (1999)’da yaptıkları çalışmada, arazi örtüsü haritalarının hazırlanması ve doğal kaynakların yönetimi için bölgedeki arazi kullanımına ait değişimler ile ilgili bilgilerin gerekliliğini belirtmiştir. Bu nedenle tarihsel ve zamansal verileri kullanarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla bir alanın

belirli bir zaman dilimi boyunca arazi kullanımı ve arazi örtüsü üzerindeki değişimleri tespit edip ve değerlendirilebilmektedir.

Pikounis vd., (2003) Tesali'deki Pinios Nehri'nin Ali Efenti havzasındaki belirli arazi kullanım değişikliklerinin hidrolojik etkilerini SWAT modeli ortaya koymuştur. Modelin kalibrasyon yeterliliği, uzun hidrometrik veri serilerinin bulunduğu havzanın çıkışında simüle edilen ve gözlemlenen deşarj zaman serileri karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Model, arazi kullanım değişikliklerinin etkilerini incelemek için, hidrolojik döngünün ana bileşenlerini simüle etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada arazi kullanım değişikliğinin üç senaryosu incelenmiştir. Bunlardan ilki, tarım arazisinin genişletilmesi; ikincisi Trikala alt havzasının tamamen ormansızlaştırılması ve son olarak Trikala alt havzasındaki kentsel alanların genişletilmesidir. Her üç senaryo da yağışlı aylarda akımda bir artışa ve kurak dönemlerde bir azalma gözlemlenmiştir. Ormansızlaşma senaryosu, toplam aylık akımda en büyük değişikliğe neden olan senaryo olmuştur.

Pandit vd., (2006) Himalayalardaki arazi kullanım değişikliği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler ve bu bölgedeki yerel biyoçeşitliliği üzerinde ciddi sorunlara yol açmasına, geniş kapsamlı ormansızlaşmanın neden olduğunu belirtmişlerdir.

Githui vd., (2009) SWAT modeli ile arazi örtüsü değişikliklerinin, Kenya'daki Nzoia Nehri havzasının akışları üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Model, ölçülen günlük debiye göre kalibre edilmiş ve arazi örtüsü değişiklikleri uydu görüntülerinin sınıflandırılmasıyla incelenmiştir. Arazi örtüsü değişim senaryoları, yani en kötü ve en iyi durum senaryoları oluşturulmuştur. Tarihsel arazi örtüsü değişikliği sonuçları, 1973 ile 2001 yılları arasında tarım alanlarının %39.6'dan %64.3'e yükseldiğini, orman örtüsünün ise %12.3'ten %7.0'a düştüğünü göstermiştir. 1970–1975 ve 1980–1985 arasındaki karşılaştırmada arazi kullanımı değişikliklerinin yüzey akışında iki zaman periyodu arasında %55 ila %68 arasında değişen bir farka neden olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan arazi kullanım senaryoları, dikkate alınan arazi kullanımındaki değişiklikler nedeniyle yüzey akışındaki değişikliklerin büyüklüğünü göstermiştir. 1980-1985 yüzeysel akışla karşılaştırıldığında, arazi

kullanım değişim senaryoları, yüzeysel akışta en iyi ve en kötü senaryolarda sırasıyla yaklaşık % -16 ve %30'luk değişiklikler yarattı.

Taubenböck vd., (2009) arazi kullanımı ve arazi değişimi ile kentleşme üzerine bir çalışma gerçekleştirdiler. Burada belirlenen 12 şehirdeki mekânsal büyüme modelleri arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları değerlendirirken, mekânsal-zamansal büyüme modelini ölçtüler ve gelişmeye başlamış mega şehirlerin var olan mega şehirlerle mekânsal büyüme modeliyle paralellik gösterdiğini buldular.

Can vd., (2015)'nin çalışmasında SWAT modeli ile Doğu Çin'deki Poyang Gölü Havzasındaki Fuhe havzasındaki hidrolojik süreçler üzerindeki farklı arazi kullanım senaryolarının etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Toplam 12 model parametresi, 1982-1988 için gözlemlenen aylık akım verileriyle kalibre edilmiş ve temel koşullar için 1991-1998 için doğrulanmıştır. Temel arazi kullanım altlığı olarak 1990-2000 ve 2009 yılları kullanılmış ve arazi kullanım değişikliğinin havzanın hidrolojisi üzerindeki etkilerine odaklanılarak modelle 3 farklı arazi kullanım senaryosu simüle edilmiştir. Varsayımsal senaryo simülasyonlarının sonuçları; orman arazisi, tarım arazisi ve otlak alanları arttıkça ve çeltik tarlası ve kentsel alanlar azaldığında, yeraltı suyu deşarjı ve evapotranspirasyon artarken yüzey akışının azaldığını ortaya koymuştur

Astutı (2017)'nin çalışmasında 1995-2015 yılları için arazi kullanım değişikliğinin yüzeysel akışı oluşturmada ve su ekosistemlerindeki su kalitesinin değişkenliğine olan etkisini ortaya konmuştur. Arazi kullanımı/arazi örtüsünün tarımsal genişleme, nüfus artışı, altyapı, erişilebilirlik, ekonomik, sosyal ve kültürel faktörlerle birlikte doğrudan ve dolaylı olarak değiştii ortaya konmuştur. SWAT tabanlı değerlendirme sonuçları, son 21 yıldaki arazi kullanımı/arazi örtüsü değişikliğinin yüzeysel akışında, su veriminde ve yer altı suyunda hafif bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Bunlar arasında yüzeysel akışın %8'lik bir artışla en çok etkilenen değişken olduğu belirlenmiştir. Ormanların hem yerleşim hem de kuru tarım alanına dönüşümü, yüzeysel akışının üretilmesinde daha büyük bir etki yaratmış ve ardından kuru tarım alanı kente dönüştürülmüştür. Sonuç olarak, yüzeyse akış ile arazi

kullanımı/arazi örtüsünün değişiminin hidrolojik olarak nasıl tepki vereceği belirlenmiştir.

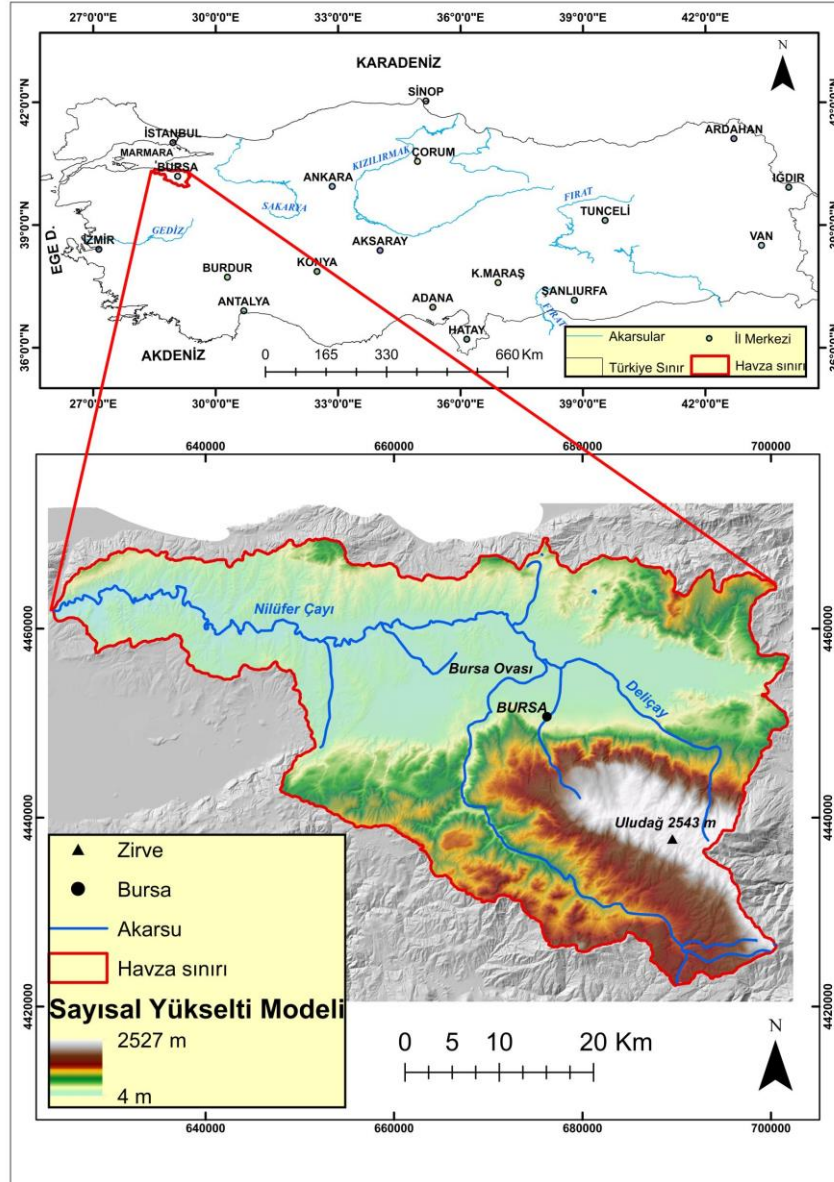
Shang vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada, iklim ve arazi kullanım değişikliğinin yüzeysel akış üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Heihe Nehri Havzasındaki su kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanılması için nicel bir analize dönüştürülerek bir referans temel oluşturulmuştur. Heihe Nehri'nin üst kesimlerindeki Yingluoxia istasyonundaki son 60 yılda akış değişim eğilimi analiz edilmiş ve akışı simüle etmek için SWAT modeli ile birleştirilmiştir. Yüzeysel akışı simüle etmek için farklı iklim ve arazi kullanım değişikliği senaryoları birleştirilmiştir. Heihe Nehir Havzası'ndaki tarihsel gelişme eğilimine ve mevcut sorunlara göre 2020 ve 2030 arazi kullanım senaryoları simüle edilmiştir. 2000 yılındaki güncel arazi kullanımı ayarı temel bir senaryo olarak dikkate alınarak, gelecekteki arazi kullanım değişikliklerinin yüzeysel akışa etkisi analiz edilmiştir. Farklı senaryolarda arazi kullanımının yüzeysel akış üzerinde farklı etkileri ortaya koyulmuş, orman ve otlak alanlarının artması yüzeysel akışların artmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

1.4. Çalışma Alanı ve Genel Fiziki Coğrafya Özellikleri

Nilüfer Çayı havzası, içine Bursa kent merkezini ve Uludağ'ın büyük bölümünü içine alan kabaca kuzeybatı-güneydoğu uzantılı bir havzadır (Şekil 1.1). Nilüfer Çayı, Bursa ilinin en önemli akarsularından biridir ve toplam oluşturduğu havza yüzölçümü 1985 km² ile Bursa kentinin karakteristiklerinden biri konumundadır (Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018). Yıllık ortalama debisi 16,77m³/s'dir. Uludağ'ın güney yamaçlarından doğan Nilüfer Çayı, kuzeybatı yönünde akarken topladığı yan kollar ile taşıdığı su potansiyelini arttırarak, Doğancı Köyü mevkiinde soldan katılan Sultaniye kolunu da alarak kullanılabilir bir potansiyele ulaşmaktadır. Akarsuyun Doğancı Köyü mevkiinde sahip olduğu 450 km² su toplama havza büyüklüğü, kendisine yıllık 233.000.000 m³'lük bir su verimi kazandırmaktadır (Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018). Nilüfer Çayı, Uluabat Gölünü drene eden Susurluk Çayı ile birleşerek Karacabey Boğazı civarında Marmara Denizi'ne dökülür. 103 km bir uzunluğa sahip olmakla birlikte, üzerinde Doğancı ve Nilüfer barajı vardır.

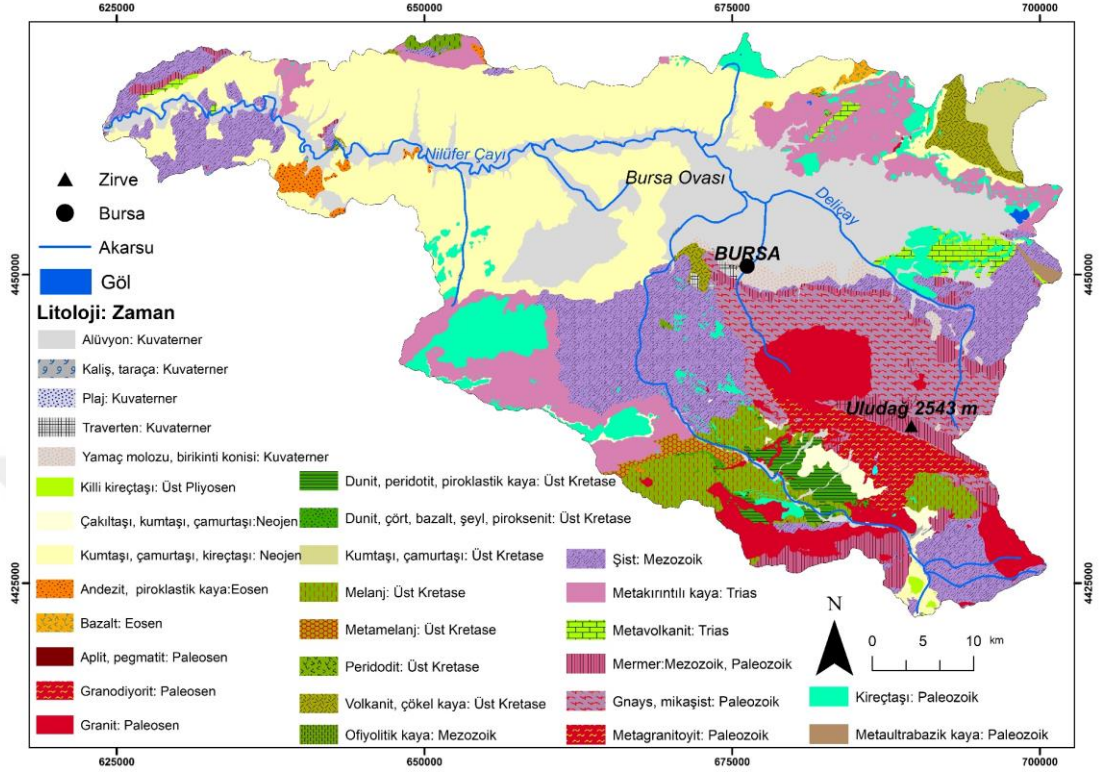
Çalışma sahasının içerisinde yer aldığı Güney Marmara Bölümü jeomorfolojik gelişimini şöyle özetleyebiliriz: Bölgenin Geç Eosen'den itibaren kara haline gelmeye başladığını göstermektedir ve Geç Miyosen-Pliyosen'de bölge yükselim alanları ve havzalardan oluşan günümüzdeki topoğrafik yapısını kazanmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Yükselim alanları, aşınım süreçleri ile şekillenirken havza tabanı, özellikle Nilüfer Çayı ve onun kollarının taşıdığı malzeme ile çökeller depolanmıştır (Ardel, 1943; Şengör ve Yılmaz, 1981). Havza içinde yer alan Bursa kent merkezi, tektonik yapıların etkisi ile şekillenen Bursa-Gönen çöküntü alanının batı ucuna kurulmuştur .

Şekil 1.1: Havza Lokasyonu



Havza içine büyük bölümü dahil olan Uludağ'ın yükseltisi 2543 m olup kuzeybatı-güneydoğu doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 40 km, genişliği ise ortalama 20 km'dir. Masif, batı ve güneyde Nilüfer Çayı, kuzeyde ve doğuda Bursa ve İnegöl ovaları ile doğal olarak sınırlanmıştır (Ketin, 1947; Köpük, 2003). Farklı derecelerde başkalaşım geçirmiş metamorfik serilerle, bunların içerisine sokulmuş granodiyorit plütonları, masifin temel yapısını teşkil eder. Bunların üzerine kuzeyde Permien yaşlı kırıntılı sedimentlerle, fosilli kireçtaşları; doğu ve güneyde ise genç Neojen örtüsü gelir. Metamorfik seriler, A ve B serisi olmak üzere ikiye ayrılır. A serisi, yüksek derecelerde değişikliğe uğramış, çekirdek durumundaki çeşitli gnayslardan, amfibolit ve şistli mermerlerden; B serisi ise, mikaşist, fillit, yarı mermer ve kristalize kireçtaşlarından meydana gelmiştir (Ketin, 1947; Öger, 2012). Uludağ metamorfik serileri granodiyorit batoliti tarafından kesilmiştir. Masifin yaşı, metamorfik kompleks üzerindeki Permien yaşlı fosilleri kapsayan çökeller nedeniyle genel olarak Paleozoyik ve Prekambriyendir (Ketin, 1947). Uludağ Masifi, Oligosen yaşında sağ yönlü doğrultu atımlı bir fayın derindeki sünek kesimlerini temsil eder. Bursa şehrinin kurulmuş olduğu yer ise Kuaterner' e ait eski alüvyonlardan oluşur (Ketin, 1947; Ardel, 1944; Öger, 2012). Bu çökeller, yaşlı ve genç olmak üzere oldukça geniş bir alanda yayılım gösterirler. Bursa ovasının batı ve kuzeybatısında, Nilüfer Çayı vadisi boyunca görülen kumtaşı, kiltası, konglomera ve çamur taşı yüzeylenmeleri görülmektedir (Şekil 1.2). Sahayı oluşturan jeolojik birimler sel-taşkın üzerinde etkili olan faktörlerden biridir. Birimlerin geçirgenlik seviyeleri, zeminin kaya veya taneli yapıda olup olmaması, aşınmaya karşı vermiş oldukları direnç seviyesi değiştiğinden bu özelliklerin sel-taşkın üzerinde ki etkisi de değişmektedir. Zeminin infiltrasyon kapasitesinin şartlarını belirleyen bu etmenlere bağlı olarak yağışın ne kadarının sızmaya uğrayacağını ve ne kadar yüzeysel akışa geçeceği birimlerin ne olduğu ve özellikleriyle ilişkilidir. Şehir merkezinin üstüne kurulduğu Kuaterner yaşlı alüvyon zemin bu açıdan geçirimsizliğin en yüksek olduğu ancak şehirleşme nedeniyle zeminin betona dönüştüğü alanlardır (Şekil 1.2). Bu açıdan yağışın direk yüzeysel akışa geçtiği ve sızmanın düşük olduğu sahalardır.

Şekil 1.2: Jeolojik Birimler



Kaynak: MTA, 1/25 000 ölçekli jeoloji paftaları kullanılarak elde edilmiştir.

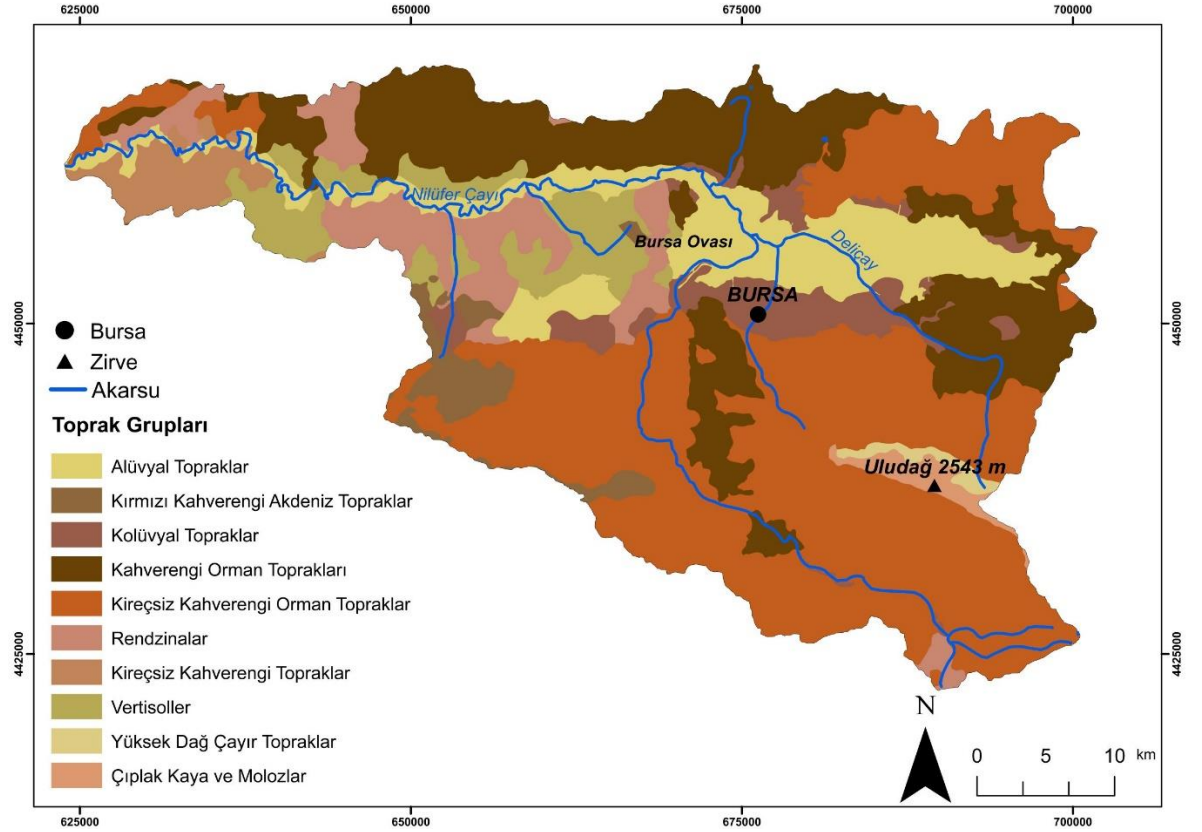
Nilüfer Çayı havzası toprak özellikleri bakımından ise oldukça zengindir. Bu havza içerisinde zonal, azonal ve intrazonal toprak türlerinin varlığını görmek mümkündür. 1/25 000 ölçekli ulusal toprak veri tabanından alınan verilerden yola çıkılarak. Çalışma sahasında Kırmızı Kahverengi Akdeniz toprakları, Kolüvyal topraklar, Rendzinalar, Kireçsiz Kahverengi topraklar, Vertisoller, Yüksek Dağ Çayır toprakları, Çıplak Kaya ve Molozlar gibi topraklar daha küçük ölçekli alanlarda gözlenmiştir. Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları, Kahverengi Orman toprakları ve Alüvyal topraklar alansal olarak oldukça geniş yer kaplamaktadır (Şekil 1.3) (<https://www.tarimorman.gov.tr/>, 2018).

Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları, genel olarak, havzanın güney kesiminde ve kuzeybatısında yer alan dağlık sahalar üzerinde gelişme göstermiştir. Bu toprakların morfolojilerine bakacak olursak A, B ve C horizonlarına sahip oldukları görülmektedir. A horizonu iyi oluşmuş gözenekli yapı gösterirken, B horizonundaki organik madde, genellikle asit karakterde olup, ana kayadan ayrı veya çok az bir karışım gösterir (Köpük, 2003).

Kahverengi Orman toprakları, havzanın genel olarak kuzeyinde ve doğu ucunda yayılış alanı göstermektedir. Bu topraklar genellikle dalgalı ve hafif eğimli sahalarda yer alırlar. Kahverengi Orman toprakları, introzonal toprak grubuna dahil olup, yüksek kireç oranına sahip olup ana kaya üzerinde gelişirler (Şekil 1.3).

Alüvyal topraklar, Nilüfer çayı yatağı ve yakın çevresiyle Bursa şehir merkezinin önemli bir kısmında yayılış alanı göstermektedir (Şekil 1.3). Azonal toprak grubuna dahil olan yalnızca C horizonuna sahip olan topraklardır. Kuvaterner dönemine ait bu topraklar kum, silt ve kilden oluşmakla birlikte, içerisinde daha iri unsurlarda barındırabilmektedir (Köpük, 2003).

Şekil 1.3: Çalışma alanının toprak grupları dağılışı haritası

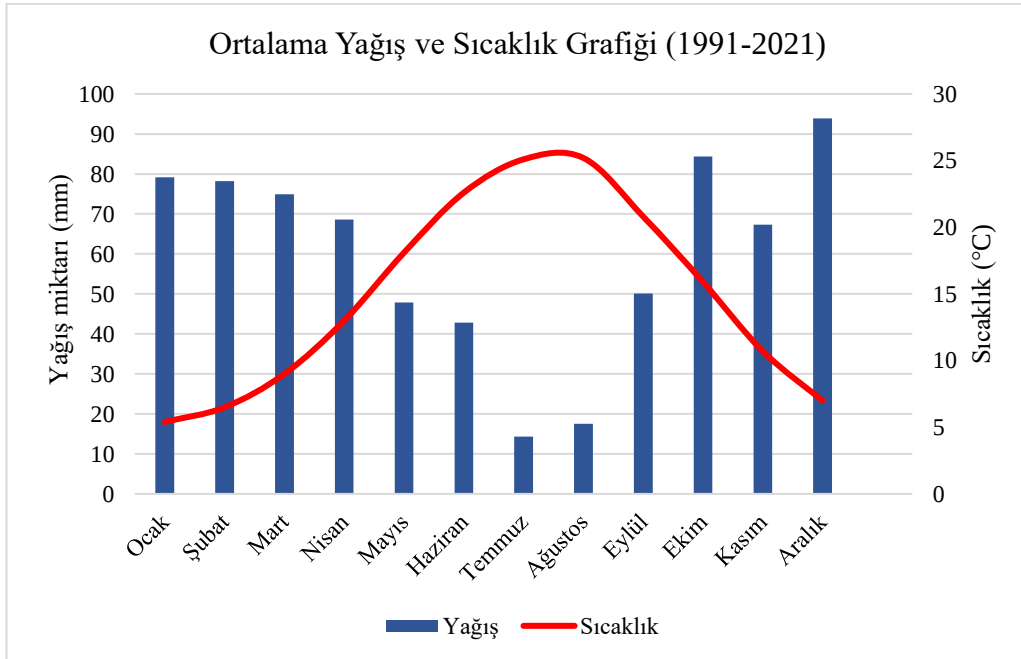


Kaynak: tarimormman.gov.tr/, (2018).

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara bölgesinin Güney Marmara Bölümü'nde yer almaktadır. Türkiye, Akdeniz makroklima alanı içindedir ve bunun sebebi subtropikal kıyıların batı kıyısında olmasıdır. Bu iklim tipinin en belirgin özelliği yaz kuraklığı bakımından Marmara geçiş ikliminde, yağış özelliği açısından Akdeniz yağış rejimi içinde yer alır (Türkeş ve Deniz , 2011). Bursa

meteoroloji istasyonu kullanılarak Nilüfer Çayı havzasında yapılan 1991-2021 arası 30 yıllık sıcaklık ve yağış ölçümlerinde ortalama sıcaklık 14.6 °C iken, ortalama yıllık yağış 709.5 mm'dir. Ortalama sıcaklık değerlerini ay bazında değerlendirdiğimizde ise Kasım ayı itibari ile sıcaklıklar düşmekte ve Aralık ayında 7.3 °C, Ocak ayında 5.4 °C ve Şubat ayında 6.2 °C ile ortalama en düşük sıcaklıkların yaşandığı aylar olarak karşımıza çıkar. Ortalama sıcaklıklarda Nisan ayı itibari ile yükselmeler yaşanmakta ve Mayıs 17.7 °C, Haziran 22.0 °C, Temmuz 24.5 °C, Ağustos 24.3 °C, Eylül 20.3 °C ile ortalama yüksek sıcaklıkların yaşandıkları aylardır. Yağışlı gün sayısı değerlendirildiğinde ise ortalama yıllık 120.5 gündür. En yağışlı günler ortalama 13.41 gün ile Aralık ayında başlayıp ortalama 14.47 gün ile Mart ayına kadar devam etmektedir. Yaz aylarının başlaması ile ortalama yağışlı gün sayısı Temmuz ve Ağustos ayında 3 gün seviyelerine kadar düşmüştür. ile En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos, en yağışlı aylar ise Aralık, Ocak ve Şubat ayıdır (<https://www.mgm.gov.tr>, 2021) (Şekil 1.4).

Şekil 1.4: Bursa meteoroloji istasyonu aylık toplam yağış miktarı ortalaması ve ortalama sıcaklığı gösteren grafik



Kaynak: mgm.gov.tr,(2021).

Bölgede özellikle yıllık yağış tutarı Uludağ'ın kuzey yamaçlarındaki yükselti artışı ve kuzeyin açık olmasından dolayı güney bölgeye göre daha fazla artar. Bursa'nın yıllık toplam yağış olasılığı değerlendirildiğinde ise yağışın 510 mm ile 607 mm arasında gerçekleşme olasılığı % 25'dir. 607 mm ile 761 mm arasında gerçekleşme olasılığının % 50'dir. 761 mm ile 881 mm arasında gerçekleşme olasılığı % 25'dir ve yağışın büyük bölümünün 607 mm ile 761 mm arasında gerçekleştiği görülür. Aylık ortalama yağış değerlendirildiğinde ise yağış toplamı Aralık ayında maksimuma ulaşır. Ağustos ayında ise bu değer minimuma iner. Nisan ayı ise genel bir artışın yaşandığı aydır. Yağış rejmi değerlendirildiğinde ise yaz yağışlarında görülmektedir (Öztürk, 2010).

Rubner iklim sınıflandırmasına göre yağış temel alınarak yapılan sınıflamada Bursa kısmen nemli iklim tipindedir. Köppen'in en sıcak ay ve en soğuk ay ortalamalarını baz alınarak yaptığı iklim sınıflandırmasına göre, Bursa orta iklimler kuşağı içerisinde Csa harfleriyle temsil edilen Ak deniz iklim tipine dahil edilir. De Martonne'nun yağış ve sıcaklık parametrelerini çalıştırarak geliştirdiği sınıflandırmada ise Bursa subtropikal iklimler içerisinde Akdeniz iklimiyle benzerlik gösteren iklim sınıfındadır. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre ise , Bursa'nın iklimi C2B'2s2b'3 şeklinde belirlenen yarı nemli su eksikliğinin yaz mevsiminde arttığı ve denizel etkilere açık orta sıcaklıktaki iklim tipidir (Öztürk, 2010).

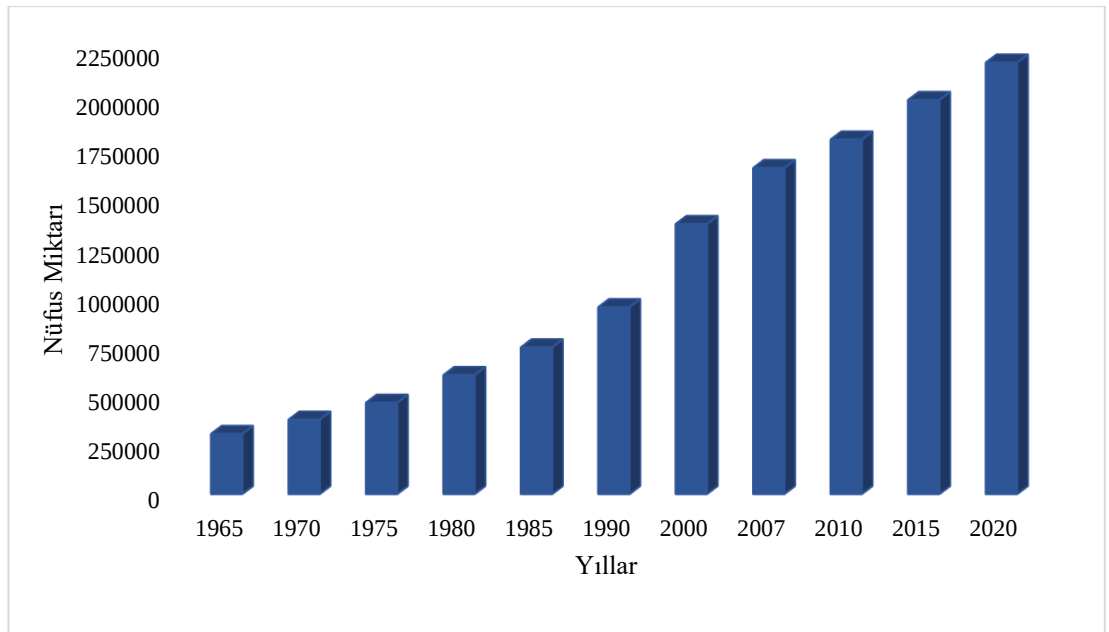
1.5. Çalışma Alanının Genel Beşeri Coğrafya Özellikleri

Nilüfer Çayı havzasının genel beşeri coğrafya özelliklerine baktığımızda, özellikle hızlı nüfus artışı ve tarımsal faaliyetlerdeki çeşitlilik dikkat çekmektedir. Havza içerisinde iklim koşulları, topografya ve toprak şartları elverişli olduğu için sulamalı sebze, meyve ziraatı ve yüksek kesimlerde büyükbaş hayvancılık faaliyetleri yaygındır. Ova tabanında özellikle sulamalı tarım faaliyetleri yürütülürken, yüksek kesimlerde bu faaliyetler yürütülemeyip onun yerine yükseltinin elverişli olduğu alanlarda zeytincilik, tahıl tarımı, meyve yetiştiriciliği ve hayvancılık ön plandadır (Ertürk, 2008). Sulamalı tarımın yürütüldüğü Bursa ovasının doğu kenarı özellikle aşırı nüfuslanma baskısı altındadır. Havza ve çevresi, ülkede meyve yetiştiriciliğinde önde gelen alanlardandır ve bu sebeple özellikle ekili-dikili alanlar içerisinde meyvecilik dikkat çeker. Meyveliklerin en geniş dağılımı ovalar olmakla birlikte

yamaçlarda da yetiştirilmekte ve 1000 metre yükseltiye kadar erişmektedirler. Bunun aksine zeytinlikler ise 500 metreye kadar yayılış alanına sahiptir. En fazla yetiştirilen meyveler şeftali, zeytin, armut, incir, elma, ahududu, kiraz ve çilektir (Ertürk, 2008). İkinci en büyük tarımsal faaliyet ise tarla bitkileri yetiştiriciliğidir. Bu bitkiler genellikle yamaç ve tepelik sahalarda yetiştirilmektedir. Tahıl türleri, yem bitkileri (mısır, yonca, fiğ), yağlı tohumlar (ayçiçeği ve susam), endüstri bitkileri ve yumrulu bitkiler çalışma alanı ve çevresinde üretilmektedir (Ertürk, 2008).

Nüfus özellikleri açısından, 2000 yılına kadar Bursa merkeze ait veriler elde edilirken bu tarihten sonra Nilüfer, Yıldırım, Gürsu, Kestel ve Osmangazi ilçe verileri dahil edilmiştir (Şekil 1.5). Havzadaki nüfus miktarı sürekli artış halindedir. 1965 yılında 306.753 iken, bu miktar 1975 yılında 465.657, 1985 yılında 748.358, 2000 yılında 1.373.474 ile 1965-2000 periyodunda yaklaşık 4 katı artış yaşamıştır. Bu artış hızla devam edip 2010 yılında 1.801.276, 2020 yılında ise 2.191.317 miktar ile ciddi bir artış yaşamıştır (<https://data.tuik.gov.tr/>, 2020). Yapılan çalışmalar sonucunda bu nüfuslanan alanların çoğunluğunun, havzadaki verimli tarım alanları üzerinde olduğu dikkat çekmektedir.

Şekil 1.5: Havzadaki nüfus miktarı 1965-2020 yılları arası



Kaynak: <https://data.tuik.gov.tr/>, (2020).

İKİNCİ BÖLÜM

2. VERİ VE YÖNTEM

2.1. Verilerin Toplanması

Bu tez çalışmasında, arazi kullanım değişimini tespit etmek ve gelecek arazi kullanım modellerini belirlemek amacıyla; 28.07.1989, 24.07.1999 ve 19.07.2009 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu tarihlerin seçilmesinin sebebi, bulutluluk oranının düşük olması ve arazi kullanımını net bir şekilde çıkarmanın kolay olmasıdır. 10 yıl periyodundaki bu yıllarda, aynı ay içerisinde birbirine en yakın tarihli görüntüler seçilmiştir. Bunun sebebi ise zaman periyodunda doğruluk oranını arttırmaktır. Landsat 5 uydu görüntülerinin kullanılması sebebi ise ücretsiz ulaşılabilir olmasıdır. Bu görüntüler Amerikan Jeoloji Servisi'ne (USGS) ait internet sayfasından geometrik ve radyometrik olarak düzeltilmiş şekilde elde edilmiştir. 30 metre yersel çözünürlüğe sahip multispektral 1-7 spektral aralıktaki bantlar, görüntü sınıflandırma işleminde kullanılmıştır (Tablo 2.1) ve çalışmanın amacına bağlı olarak uygun bant kombinasyonları olan 3,2,1 bant kombinasyonları yapılmıştır (<https://earthexplorer.usgs.gov>, 2019).

Tablo 2.1: Landsat bant aralıkları

Bantlar	Dalga Boyu (μm)	Çözünürlük
Bant 1- Mavi	0.45–0.52 μm	30
Bant 2- Yeşil	0.52–0.60 μm	30
Bant 3- Kırmızı	0.63–0.69 μm	30
Bant 4- Yakın infrared	0.76–0.90 μm	30
Bant 5- Kısa Dalga infrared	1.55–1.75 μm	30
Bant 6- Termal infrared	10.40–12.50 μm	120
Bant 7- Orta-infrared	2.08–2.35 μm	30

Kaynak: <https://earthexplorer.usgs.gov>, (2019).

Arazi kullanım sınıfları belirlenirken CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu) sınıflaması (Tablo 2.2) esas alınmıştır ve burada 6 ana sınıf belirlenmiştir. Bunlar yapay bölgeler, su yapıları, orman ve yarı doğal alanlar, bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, tarımsal alanlar ve çıplak kayalık alanlar olarak sınıflanmıştır. Burada CORINE sınıflamasından farklı olarak, alt sınıf olan bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar ile çıplak kayalık alanlar, çalışmada ana sınıf olarak gösterilmiştir (<https://land.copernicus.eu/>, 2019). Bunun sebebi ise çalışma alanı içerisinde büyük bir sahayı kapsamasıdır. Çalışma sahası için gelecek arazi kullanım modelleri üretme aşamasında ise 10 metre çözünürlükte olan sayısal yükselti modeli ve bundan üretilen eğim, bakı da model üretilme aşamasında kullanılmıştır. Bunlarla birlikte yol, akarsu verileri de kullanılmıştır.

Yağış akış modellemesinin yapılabilmesi için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Bursa meteoroloji istasyonunun 1971-2000 tarihleri arasındaki verileri Akbaş vd., (2020)'den alınmıştır. Gözlem verileri olarak günlük cinsinden sıcaklık, yağış, solar radyasyon ve rüzgar verileri kullanılmıştır. Havza parametreleri olarak sayısal yükselti modeli, eğim ve toprak kullanılırken, bu çalışmanın amacı doğrultusunda arazi kullanım parametresi sabit tutulmayıp, yağış-akış simülasyonları için üçüncü bölümde üretilen farklı tarihlerdeki gelecek arazi kullanım projeksiyonları modele eklenmiştir. Abdus Salam Uluslararası Teorik Fizik Merkezine (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) ait hidrostatik bölgesel iklim modeli olan RegCM4.4 kullanılarak analizler uygulanmıştır. Küresel iklim senaryoları olarak ise RCP8.5 kullanılmıştır. Bunun sebebi ise, en kötü senaryo değerlendirilerek gelecek simülasyon belirlenmek istenmiştir.

Tablo 2.2: CORINE arazi örtüsü sınıfları

1.Yapay Bölgeler		2.Tarımsal Alanlar		3.Orman ve Yarı Doğal Alanlar		4. Sulak Alanlar	
1.1	Şehir Yapısı	2.1	Ekilebilir Alanlar	3.1	Orman	4.1	Karasal Bataklık
111	Sürekli Şehir Yapısı	211	Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	311	Geniş Yapraklı Ormanlar	411	Bataklıklar
112	Kesikli Şehir Yapısı	212	Sürekli Sulanan Alanlar	312	İğne Yapraklı Ormanlar	412	Turbalıklar
1.2	End.Tic .ve Ulaşım Birimleri	213	Pirinç Tarlaları	313	Karışık Ormanlar	4.2	Denize Yakın Islak Alanlar
121	Endüstriyel veya Ticari Alanlar	2.2	Sürekli Ürünler	3.2	Maki veya Otsu Bitkiler	421	Tuz Bataklığı
122	Karayolları, Demiryolları ve ilg.al	221	Üzüm Bağları	321	Doğal Çayırliklar	422	Tuzlalar
123	Limanlar	222	Meyve Bahçeleri	322	Fundalıklar	423	Gel-git ile Oluşan Düzlükler
124	Hava alanları	223	Zeytinlikler	323	Sklerofil Bitki Örtüsü	5	Su Yapıları
1.3	Maden Boşaltım, İnşaat Sahaları	2.3	Meralar	324	Bitki Değişim Alanları	5.1	Karasal Sular
131	Maden Çıkarım Sahaları	231	Meralar	3.3	Bitki Örtüsü az ya da Olmayan Alanlar	511	Su Yolları
132	Boşaltım Sahaları	2.4	Karışık Tarım Alanlar	331	Sahil, Kumsal, ,Kumluk	512	Su Kütleleri
133	İnşaat Sahaları	241	Karışık Tarım Alanları	332	Çıplak Kayalıklar	5.2	Deniz Suları
1.4	Yapay Tarımsal Olmayan Yeşil Alan	242	Doğal Bitki Örtüsü ile Bulunan Tarım Alanları.	333	Seyrek Bitki Alanları	521	Kıyı Lagünleri
141	Yeşil Şehir Alanları			334	Yanmış Alanlar	522	Nehir Ağızları

Kaynak: <https://land.copernicus.eu/>, (2019).

2.2. Yöntem

Nilüfer Çayı havzasında arazi kullanım değişimlerini modellemek ve gelecek senaryolar üretmek için İdrisi TerrSet yazılımı, uydu görüntülerinin ön işlemleri olan geometrik, atmosferik ve radyometrik işlemler için de ENVI 5.3 yazılımı, yağış-akış modellerinin üretimi için ArcGIS 10.4 yazılımı kullanılmıştır. İndirilen ham uydu görüntülerini kalibre etmek için Uzaktan Algılama programı olan ENVI kullanılmıştır. Doğruluk oranını arttırma, ham görüntüdeki pürüzlülükleri, bulanıklığı giderme ve renk dengesini sağlama işlemleri burada yapıldı. Bu çalışmada arazi kullanımı belirlenirken obje ve piksel tabanlı sınıflama metotları birlikte kullanılmıştır. Bazı alanlar sınıflandırılmamış ve bu sebepten ekran üzerinde elle düzeltmeler yapılarak, doğruluk oranı arttırılmaya çalışılmıştır.

2.2.1. Görüntü Sınıflama Metotları

Görüntü sınıflama sürecinin temel amacı, bir görüntüdeki tüm pikselleri otomatik olarak belirlenen arazi örtüsü sınıflarına veya temalarına göre sınıflandırmaktır. Normalde sınıflandırmayı gerçekleştirmek için multispektral veriler kullanılmakta ve her piksel için verilerde bulunan spektral yansıma, sınıflama için sayısal temel olmaktadır (Lillesand vd., 2004). Diğer bir ifade ile farklı arazi kullanım sınıf tipleri, doğal yansıma ve yayma özelliklerine dayalı olarak farklı dijital numara kombinasyonlarını içermektedir. Görüntü sınıflama şu iki teknikte yapılır: Obje tabanlı sınıflama ve piksel tabanlı sınıflamadır.

Klasik görüntü sınıflandırma yaklaşımında, birim tek bir pikseldir (piksel tabanlı yaklaşım olarak adlandırılır). Bu piksel tabanlı yaklaşım, görüntüyü sınıflandırmak için piksellerin spektral bilgilerini kullanır, her bir piksel üzerinde çalışır ve sadece spektral bilgilere dayalı olarak uzaktan algılanan verilerden bilgi çıkarır (Aggarwal vd., 2016). Basitçe sınıflama, benzer yansıma değeri gösteren piksellerin aynı grup içerisinde gösterilmesi mantığına dayanır. Sınıflandırma pikselleri, sınıflara atama işlemidir ve genellikle her piksel çeşitli spektral bantlardaki değerlerden oluşan ayrı bir birim olarak ele alınır (Campbell ve Wynne, 2011). Piksel tabanlı sınıflama yöntemine göre 2 sınıflama yöntemi vardır. “Kontrollü Sınıflama” denilen arazi hakkında bilgiye ve veriye ihtiyaç duyan sınıflama iken, bir diğeri

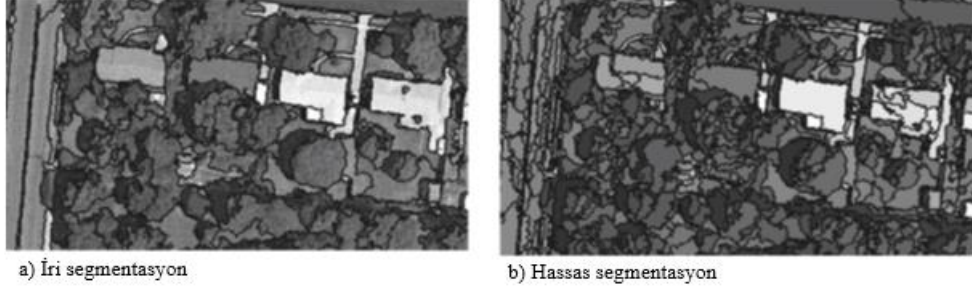
Çalışma alanı hakkında ön bilgiye ihtiyaç duymadan yapılan sınıflama olan “Kontrolsüz Sınıflama” yöntemidir.

Kontrollü sınıflama, arazi örtüsü hakkında bilgi veya tahminlerimiz olması durumunda kullanılır. Kontrollü sınıflamanın ilk adımı, görüntü üzerinde bilinen alanlardan örnek bölgeler seçilmesi ve arazi örtüsü türlerinin tanımlanmasıdır (Campbell ve Wynne, 2011; Lillesand vd., 2004).

Piksel tabanlı görüntü analizi ile obje tabanlı görüntü analizi arasındaki en belirgin fark, ilk olarak obje tabanlı görüntü analizinde temel işlem birimlerinin tek pikseller değil, piksel grubundan oluşan görüntü nesneleri veya bölümleri (segmentleri) olmasıdır (Yan, 2003). Nesneye yönelik sınıflandırma, her biri birçok ara süreçten oluşan yüksek dereceli sınıflandırma süreçlerini taklit etmeyi amaçlayan iki aşamalı bir süreç kullanır (Campbell ve Wynne, 2011). Bu çalışmada ilk aşamada obje tabanlı sınıflandırma işlemi yapılmıştır, obje tabanlı sınıflamanın iki adımı vardır:

Bunlardan ilki; bölümlere (segmentation) ayrılmış görüntü oluşturmak için görüntü bölümleme adımıdır. Görüntüyü birbirine kenetlenen bölgelere ayıran homojen parçaların kenarlarının belirlenmesidir. Bu bölgeler yani objeler, piksellerinin spektral değerlerinin yanı sıra analist tarafından belirlenen kısıtlamalara dayalıdır. İkincisi ise bölümlere ayrılmış görüntünün sınıflandırılması aşamasıdır. Bu aşamadaki sınıflama prosedürü, en yakın komşuluk ya da bulanık sınıflamadır. Görüntü segmentasyonu, nesne tabanlı sınıflandırmada temel ve önemli adımdır. Sınıflandırmanın performansı, görüntü bölümleme işleminin sonuçlarından etkilenir. Görüntü segmentasyonu bir görüntüyü nesnelere böler ancak obje tabanlı sınıflandırma sisteminde aşağıdan yukarıya ilkesi kullanılır. Bu ilke çoğunlukla küçük nesnelerin tüm özelliklerini karşılaştırarak birleştirdikten sonra, daha büyük nesne elde etmek için kullanılır. (Aggarwal vd., 2016). Bu sınıflama metodu belirlenen sınıfların ayırt edici topolojik özelliklerini dikkate alır (Campbell ve Wynne, 2011). Segmentasyon işlemi aracılığıyla pikseller, görüntüdeki ilgi alanlarına karşılık gelen “nesneler” oluşturmak için blnrlenir. şekil 2.1 iki alternatif segmentasyonu göstermektedir: biri büyük, çeşitli nesneler oluşturan kaba bir seviyede ve diğeri daha çok sayıda homojen nesne oluşturan ince bir ayrıntı seviyesindedir (şekil 2.1).

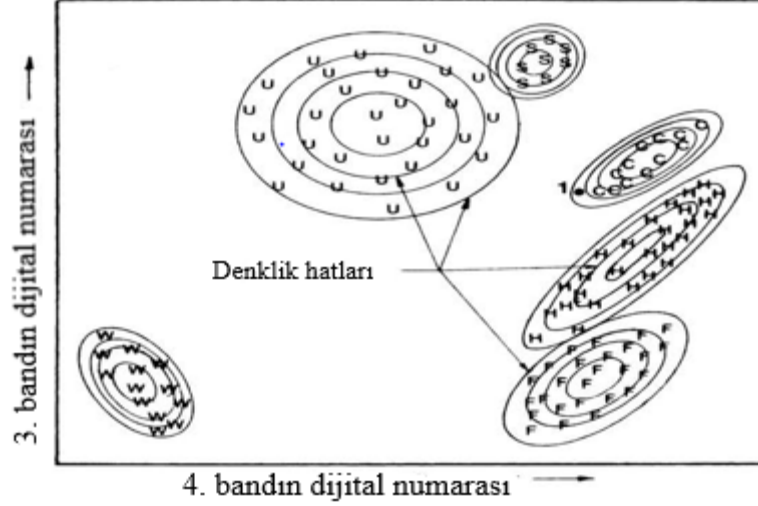
Şekil 2.1 : Segmentasyon tipleri



Kaynak: Campbell ve Wynne, (2011)

Sınıflama prosedürü olarak ise En Çok Benzerlik Algoritması (Maksimum Likelihood Method) kullanılmıştır. En yaygın olan ve bu çalışmada da kullanılan Maksimum olabilirlik sınıflandırıcısı, bilinmeyen bir pikseli sınıflandırırken sınıfların spektral yansıma modellerinin varyansını ve kovaryansını nicel olarak değerlendirir (Campbell ve Wynne, 2011). Bunu yapmak için sınıf eğitim verilerini oluşturan nokta bulutunun dağılımının Gauss (normal dağılım) olduğu varsayılır. Bu normallik varsayımı genellikle ortak spektral yansıma dağılımları için uygundur. Bu varsayım bağlamında, bir sınıfın yansıma modelinin dağılımı ortalama vektör ve eş değişkenlik matrisi tarafından tamamen tanımlanabilir, her bir sınıfa ait piksel değerinin olasılığını hesaplayarak tanımlanamayan bir pikseli sınıflar. Her sınıftaki olasılığı değerlendirdikten sonra piksel en olası sınıfa (en yüksek olasılık değeri) atanabilir (Şekil 2.2) veya olasılık değerleri analist tarafından belirlenen bir eşiğin altındaysa “bilinmeyen” olarak etiketlenebilir (Lillesand vd., 2004; Mather ve Koch, 2011; Liu ve Mason, 2009). Aynı anda birkaç sınıfı ve birkaç spektral kanalı dikkate almak için nicel olarak uygulanan maksimum olabilirlik karar kuralı, güçlü bir sınıflandırma tekniği oluşturur (Campbell ve Wynne, 2011).

Şekil 2.2: En çok benzerlik yöntemi



Kaynak: Lillesand vd., (2004)

En çok benzerlik yöntemiyle sınıflamada, ilgili bir sınıfa veya kategoriye ait bir dizi görüntü pikselini temsil eden bir nokta bulutunun geometrik şekli, genellikle bir elipsoid ile tanımlanabilir. (Mather ve Koch, 2011)

2.2.2. Sınıflama Doğruluğu

Bir sınıflandırma aşamasının tamamlanmasında, elde edilen sonuçların doğruluğunun değerlendirilmesi gerekir (Richards, 2013). Bu, sonuçlara güven duyulması için gereklidir ve analizin hedeflerine ulaşıp ulaşılmadığını göstermeye hizmet eder (Richards, 2013). Congalton ve Green (1999), sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için hali hazırda kullanılmakta olan ilkeler ve uygulamalara kapsamlı bir genel bakış hazırlamıştır (Lillesand vd., 2004). Genel olarak 2 tane kabul görmüş yaklaşım vardır: İlki kesin referans örnekleri olarak tipik sınıfların arazi çalışmasıyla toplanan verilerin kullanılmasıdır. Bilinen sınıflara sahip örnek alanların sınıflandırma doğruluğu, toplam sınıflandırma doğruluğunun bir tahminini verir (Liu ve Mason, 2009). İkinci yaklaşım görüntü eğitime dayanır. Bu, bir kullanıcının multispektral bir görüntü kullanarak çeşitli sınıfların eğitim alanlarını manuel olarak belirleyebileceği tipik spektral imzaları kullanır. Bu eğitim alanlarındaki pikseller iki kümeye ayrılır: biri denetimli sınıflandırma için sınıf istatistikleri oluşturmak için kullanılır ve diğeri daha sonra sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için

kullanılır (Liu ve Mason, 2009). Sınıflandırma doğruluğunu belirlenmesinde kullanılan en yaygın yollarından biri hata matrisinin hazırlanmasıdır (Lillesand vd., 2004; Campbell ve Wynne, 2011; Liu ve Mason, 2009). Matriste, sütunlar bilinen arazi örtüsü türlerini yani referans verilerini, satırlar ise sınıflandırılmış görüntüye ait verileri içerir. Satır toplamaları, referans görüntüye kaydedildiği şekliyle her sınıftaki toplam piksel sayısını verirken sütun toplamaları, tematik haritada her sınıfa atanan piksel sayısını gösterir (Campbell ve Wynne, 2011). Hata matrisi referans verileriyle sınıflandırmada bunlara karşılık gelen veriler arasında ki ilişkiyi ortaya koyar ve her piksellerin doğruluk oranları hesaplanır. Hata matrisi denklemi;

Denklem 1: Hata matrisi denklemi

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mm} \end{pmatrix}$$

Kaynak: Lillesand vd., (2004)

Genel doğruluk oranı aşağıda verilen formülle hesaplanır. Genel doğruluk, doğru şekilde sınıflandırılmış piksellerin toplam sayısının (yani, ana köşegen boyunca elemanların toplamının) toplam referans piksel sayısına bölünmesiyle genel doğruluk yüzdesi hesaplanır (Lillesand vd.,2004; Liu ve Mason, 2009).

Denklem 2: Genel doğruluk denklemi

$$Genel\ Doğruluk\ (\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m C_{ii}$$

Kaynak: Lillesand vd., (2004)

Burada;

C_{ii} : Ana köşegen elemanları

N: Matristeki toplam piksel sayısını ifade etmektedir.

Kullanıcı doğruluğu, herhangi bir sınıfa atanmış pikselin gerçekten o sınıfa ait olma olasılığını belirler. Her bir sınıftaki doğru olarak sınıflandırılan piksel sayısının, o sınıfa ait sınıflandırılan toplam piksel sayısına (satır toplamı) bölünmesiyle hesaplanır. Üretici doğruluğu ise pikselin gerçek değerinde sınıflandırılma olasılığını belirler. Her bir sınıftaki doğru olarak sınıflandırılan piksellerin sayısının, o sınıf için kullanılan referans piksellerinin sayısına (sütun toplamı) bölünmesiyle hesaplanır (Lillesand vd., 2004). Sonuçta bu iki doğruluk değeri 100'e ve birbirlerine ne kadar yakınsa sınıflandırma doğruluğunun o kadar iyi olduğu söylenir.

Toplam sınıflandırma doğruluğunun bir tahminini üretmek için, basit oranlara dayanan yukarıdaki doğruluk ölçümlerinin yanı sıra, sınıflandırma doğruluğu ve kalitesinin yaygın olarak kullanılan bir başka istatistiksel ölçüsü, hata matrisinin satırlarına ve sütunlarına dayanan yukarıdaki iki sınıf doğruluk tahminini birleştiren Kappa katsayısıdır (k) (Liu ve Mason, 2009). Kappa katsayısı şu eşitlik ile belirlenir:

Denklem 3: Kappa katsayısı belirleme denklemi

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}$$

Burada;

r : hata matrisindeki satır sayısı,

X_{ii} : i . satır ve sütundaki piksel sayısı,

X_{i+} : i . satırdaki toplam piksel sayısı,

X_{+i} : i . sütundaki toplam piksel sayısı,

N : matristeki toplam piksel sayısı olarak tanımlanır (Lillesand vd., 2004).

Kappa değeri 0 ile 1 arasında değişir ve sonuçlar 1'e ne kadar yakınsa sınıflamanın doğruluk değeri o kadar güvenilirdir (Lillesand vd., 2004). 3. Bölümde her altlık görüntünün ve simülasyonun doğruluğunu tespit etmek için doğruluk oranları bu yöntem ile belirlenmiştir.

2.2.3. Arazi Kullanımı / Örtüsü Simülasyon Modelleri

Arazi kullanım değişikliğinin modellenmesi esas olarak 1950'lerde başladı, 1970'lerde ve 1980'lerde daha az faaliyet göstermesine rağmen, bilgisayar teknolojileri ve Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki (CBS) mekânsal veri kullanılabilirliğindeki gelişmeler sonucu 1990'lı yıllarda yoğun bir şekilde canlanmıştır (Lin vd. 2005).

Baker (1989) da simülasyon modellerini ölçeğe göre sınıflandırır; Genel peyzaj modelleri, Dağılımsal peyzaj modelleri ve Mekansal peyzaj modelleri olmak üzere üç başlıkta incelemiştir.

Theobald ve Hobbs (1998) de arazi kullanım değişim modellerini; Regresyon-tipi modeller ve Mekânsal geçiş-tabanlı modeller olmak üzere iki temelde değerlendirilmiştir.

Lambin vd. (2000) de arazi kullanım değişim modellerini Ampirik-İstatistiksel modeller, Stokastik modeller, Optimizasyon modeller, Dinamik simülasyon modelleri ve Entegre modeller olmak üzere 5 sınıfta toplamıştır.

Aggarwal vd. (2002) de simülasyon modellerini insan, zaman ve mekândan oluşan bir yaklaşıma dayanarak 19 sınıfa ayırmıştır.

Heistermann vd. (2006) da Coğrafi modeller, arazi uygunluğu ve mekânsal etkileşimi analiz ederek arazi kullanım türlerinin mekânsal modellerinin geliştirilmesine odaklanırken; Ekonomik modeller, belirli tercihler, motivasyonlar, pazar ve nüfus yapılarından yola çıkarak talep tarafındaki arazi kullanımı değişikliğinin itici güçlerine odaklanır. Entegre modeller ise bu yaklaşımın güçlü yanlarını birleştirmeye çalışarak bu üç yaklaşımın entegrasyonundan 18 arazi kullanım değişim modelleri yaklaşımı sunmuştur.

Koomen vd. (2007) de modelleri hiç kategorize etmemiş, bunun yerine bilgisayar simülasyon modellerinin statik/dinamik, determinist/probablist, dönüşüm/tahsis, sektörel/integral, bölge/ızgara gibi birtakım özelliklerini tartışmışlardır.

Briassoulis (2019) da 2000 yılında yaptığı çalışmasını revize ederek belirlediği kriterlerle ilişkili olarak modelleri ait oldukları modelleme geleneğine göre İstatistik/Ekonometrik modeller, Mekânsal etkileşim modelleri, Optimizasyon modeller, Entegre modeller ve diğer modelleme yaklaşımları olarak 5 ana kategoride toplamıştır.

Bilgisayar temelli simülasyon modellerinin karmaşıklığı ve arazi kullanım modelleme alanının disiplinler arası olması sebebiyle farklı birçok sınıflandırılma yapılmıştır. Arazi kullanım değişikliğinin bilgisayar simülasyon modelleri arasındaki belirgin farklılıklara rağmen ortak bir temele sahiptirler (Lantman vd., 2007). Bu çalışmada birlikte kullanılan simülasyon modelleri şunlardır:

Markov Zincirleri (Markov Chain)

Markov Zincirleri (Markov Chain) ilk olarak Rus bir matematikçi Andrei Markov tarafından önerildi ve Markov'un Markov zincirindeki ilk yayını 1906'da yayınlandı. Markov zincirleri bugün borsalarda, hava tahminlerinde, hastalıkların yayılmasında, arazi kullanım değişimlerini modellemek ve çeşitli veri analizlerinde uygulanmıştır. Markov arazi kullanımı simülasyon modeli, zamanlar arası arazi kullanım değişimlerini tasvir eder ve en önemlisi arazinin, gelecekte istenen kullanımı elde etmenin alternatif yollarını analiz etmek için bir çerçeve sağlar (Burnham, 1973; Ross, 2014). Markov zinciri, geleceğin geçmişe değil yalnızca bugüne bağlı olduğu bir değişken süreçler sınıfını temsil eden bir simülasyon yöntemidir (Bell, 1974). Markov süreci, bir değişkenin çeşitli durumlara bölünebileceğini ve durumlar arasındaki geçişlerin geçmişte gözlemlenen bazı dönemler için belirtilebileceğini ve ardından geçiş matrisinde özetlenebileceğini varsayar (Burnham, 1973; Bell, 1974). Durumlar ve durumlar arasındaki hareketler tarihsel bir zaman çerçevesinde verildiğinde, her durumdan diğer tüm durumlara geçiş olasılığını tahmin etmek

mümkündür ve olasılıklar matris biçiminde özetlenir ve toplu olarak geçiş olasılığı matrisi olarak adlandırılır (Burnham, 1973).

Bir değişken olarak X_n , n zaman periyodundaki değerini gösterebilir ve ardışık X_0, X_1, X_2 değerlerinin dizisi için bir olasılık modeli yapmak istediğimizi varsayalım. $\{X_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ sonlu veya sayılabilir sayıda olası değer alan stokastik bir süreçtir. $X_n = i$ ise, işlemin n zamanında i durumunda olduğu söylenir. Süreç i durumunda olduğunda, bir sonraki j durumunda olacağına dair sabit bir P_{ij} olasılığı olduğunu varsayıyoruz.

Yani;

$$P\{X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0\} = P_{ij}, n \geq 0$$

Böyle bir stokastik süreç Markov zinciri olarak bilinir. Markov zinciri için, geçmiş X_0, X_1, X_{n-1} ve şimdiki X_n durumları göz önüne alındığında, gelecekteki herhangi bir X_{n+1} durumunun koşullu dağılımının geçmiş durumlardan bağımsız olduğunu ve sadece mevcut duruma bağlı olduğunu belirten bir ifadedir. P_{ij} değeri, sürecin i durumundan j durumuna geçiş yapma olasılığını (Transition probabilities) temsil eder (Baker, 1989; Bell, 1974; Burnham, 1973). Olasılıklar negatif olmadığından ve sürecin bir duruma geçiş yapması gerektiğinden,

$$P_{ij} \geq 0, \quad i, j \geq 0, \quad \sum_j P_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, \dots \text{ olur.}$$

Yukarıdaki biçimde tanımlanan P_{ij} geçiş olasılıklarının oluşturdukları matris Markov zincirinin geçiş olasılıkları matrisidir. $P = P_{ij}$ ile gösterilir ve P aşağıda ki matris ile ifade edilir:

Denklem 4: P değerinin matrisi

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \dots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{i0} & P_{i1} & P_{i2} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

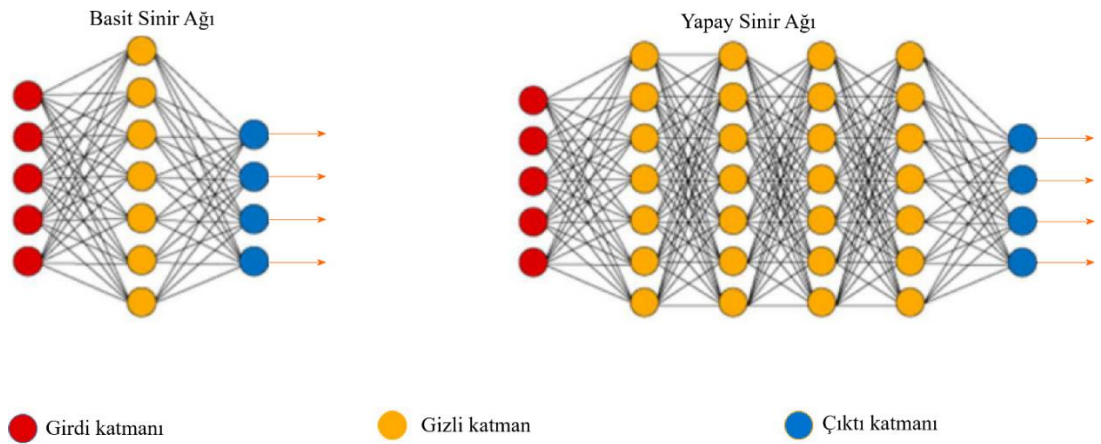
Kaynak: Burnham, (1973)

Matriste satırlar mevcut durumu, sütunlar da gerçekleşmesi beklenen durumu göstermektedir.

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin işlevselliğini ve karar verme süreçlerini paralelleştirmeye ve simüle etmeye çalışan modellerdir (Civco, 1993). YSA'lar beynin birbirine bağlı nöron sistemini modellemek için geliştirilmiştir. Böylece bilgisayarlar beynin en önemli özelliği olan öğrenme, kalıpları sıralama, deneme yanılma yoluyla öğrenme yeteneğini taklit edebilir. YSA algoritması geçmiş ve gelecekteki arazi kullanımı değişikliği arasında bir ilişki olduğunu varsayar, uygunluk haritalarına bağlanır.(Lantman vd., 2007).Verilerdeki ilişkileri gözlemleyebilir (Pijanowskia vd., 2002; Öztemel, 2006). YSA modelleri basit olarak üç katmandan oluşmuştur (Şekil 2.3) ve bu katmanlar nöronlardan oluşur, nöronlar arasında ki bağlantı ağırlık vektörleri ile sağlanır (Civco, 1993; Pijanowskia vd., 2002; Öztemel, 2006). Bu katmanlar girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanıdır. Genellikle, sadece yakın komşu katmanlardaki düğümler bağlanır ve girişteki veya gizli bir katmandaki bir düğüm, bir sonraki katmandaki tüm düğümlere bağlanır. Düğümler arası bağlantılar, verilerin alt katmandan (giriş katmanına en yakın olan) üst katmana tek yönde hareket etmesine izin veren bir hiyerarşi şeklinde ilerler (Wang, 1994; Civco, 1993; Pijanowskia vd., 2002).

Şekil 2.3: YSA modeli



Kaynak: Wang, (1994)

Veriler giriş katmanında girilir, ilk gizli katmana (varsa) taşınır, ilk gizli katmandaki düğümlerde işlenir, ardından bir sonraki katmana taşınır ve çıktı katmanında çıkarılıncaya kadar bu şekilde devam eder (Wang, 1994). En az bir tane gizli katman olmak zorundadır, ancak birden fazla da olabilir. Arazi kullanımını etkileyen bütün değişkenler girdi katmanı olarak belirlenirken, neden-sonuç ilişkisini gizli katman, çıktı katmanı ise bütün girdilerden etkilenen ve ortaya çıkan arazi kullanımını temsil eder. Bir çok yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir, geliştirilen modeller arasında en yaygın olarak kullanılanları, Çok katmanlı algılayıcılar (Multi Layer Perceptron), Vektör kuantizasyon modelleri (LVQ), Kendini düzenleme ile eğiten model (SOM), Boltzman makinesi, Hopfield ağları, Probabilistik ağlar ve Radyal temelli ağlardır (Civco, 1993)

2.2.4. SWAT Yağış-Akış Modeli

SWAT (Soil and Water Assessment Tool), Dr. Jeff Arnold tarafından Agricultural Research Service (ARS) için geliştirilen bir nehir havzası veya havza ölçekli modelin kısaltmasıdır. SWAT, arazi kullanımı uygulamalarının akışlar, çökelti yükleri ve tarımsal etkiler, kimyasal verimler üzerindeki etkisini ölçen fiziksel tabanlı, sürekli zamanlı, nehir havzası ölçekli bir modeldir. Evapotranspirasyon, sığ infiltrasyon, derin akiferlere süzülme ve yanal akış süreçleri dahil olmak üzere tüm hidrolojik döngüyü modeller (Neitsch vd., 2011). Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için regresyon denklemlerini dahil etmek yerine, SWAT havzada meydana gelen hava durumu, toprak özellikleri, topografya, bitki örtüsü ve arazi kullanımı uygulamaları hakkında özel bilgi gerektirir. SWAT anlık yağış-akış modeli olmaktan çok bir havza içerisinde uzun dönemli değişimleri izlemek için geliştirilen bir modeldir.

SWAT modeli ile her bir HRU'nun tam hidrolojik dengesi, bitkilerde birikme ve buharlaşma, etkili yağış, kar erimesi, yüzey akışı ile toprak tabakası arasındaki su değişiminin belirlenmesi, daha derin katmanlara su nüfuzu, evapotranspirasyon, alt yüzey akışı ve yeraltı akışı ve su birikimini içerir.

Bir havzanın hidrolojisinin simülasyonu iki ana bölüme ayrılabilir. İlk bölüm, hidrolojik döngünün kara aşamasıdır. Hidrolojik döngünün kara aşaması, her bir alt

havzadaki ana kanala su, tortu, besin ve pestisit yüklemelerini kontrol eder. İkinci bölüm, su havzasının kanal ağı üzerinden suyun, tortuların vb. çıkışa hareketi olarak tanımlanabilecek hidrolojik döngünün su veya yönlendirme aşamasıdır (Şekil 2.4). Bu çalışmada Akbaş (2018) tarafından havza için kullanılan SWAT modelindeki kalibre edilmiş değerler kullanılmıştır (Tablo 2.3). Gözlem verisi ile simüle edilen akım verisi arasında model performans değerlendirme testlerinden olan Nash–Sutcliffe model efficiency (NSE) katsayısı, Percent Bias-PBIAS ve R^2 katsayısına bakılmıştır. Akbaş 2018’ e göre kalibre edilmiş değerler yeterli görülüp değiştirilmemiştir. Havza NSE_{rel} 0.58, R^2 0.20 ve PBIAS -35.1%’dir.

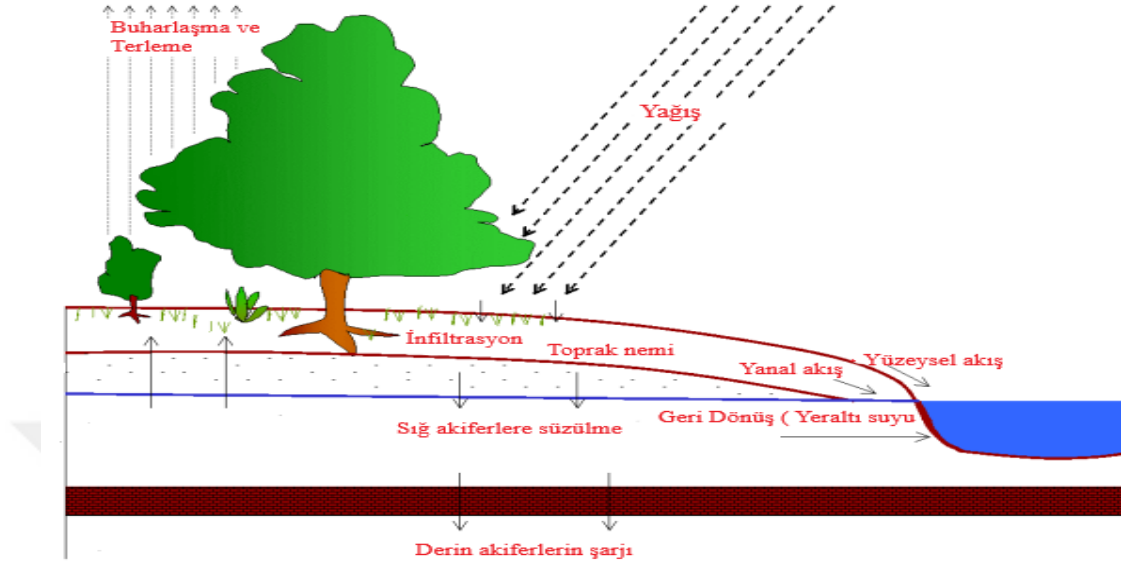
Tablo 2.3: SWAT kalibrasyonu için kullanılan parametreler

Parametre ismi	Tanımı	Başlangıç Aralıkları		Nihai Aralıklar		En iyi değerler
		Minimum Aralık	Maksimum Aralık	Minimum Aralık	Maksimum Aralık	
R__CN2.mgt	SCS Akış Curve Number değeri	-0.2	0.2	-0.31	0.03	-0.14
V__ALPHA_BF.gw	Taban Akışı Alpha faktör (1/gün)	0	1	0.27	0.81	0.54
V__GW_DELAY.gw	Yeraltı suyu gecikmesi (gün)	30	450	-53.04	282.44	114.7
V__GWQMN.gw	Sığ akiferdeki suyun geri dönüş için eşik değeri (mm)	0	5000	-2063.57	2646.9	291.67
V__REVAPMN.gw	Revap” için sığ akiferdeki suyun eşik derinliği (mm)	0	50	9.11	36.39	22.75
V__GW_REVAP.gw	Yeraltı suyu revap katsayısı	0.02	0.2	-0.01	0.13	0.06
V__ESCO.hru	Toprak buharlaşma kompanzasyon faktörü	0	1	-0.21	0.6	0.19
R__SOL_AWC.sol	Faydalı toprak su içeriği (mmH ₂ O/mm toprak)	-0.2	0.2	-0.35	0.02	-0.16

R: Relative V:Replace

Kaynak: Akbaş , (2018)

Şekil 2.4: Hidrolojik döngünün şematik gösterimi



Kaynak: Wang vd.,(2019)

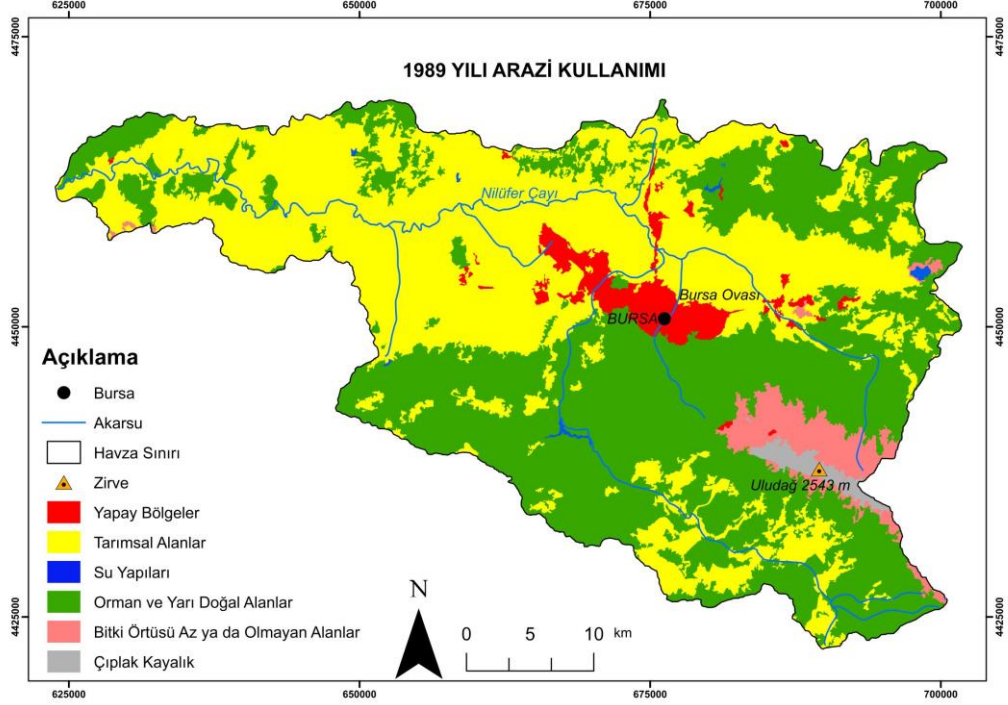
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Arazi Kullanımı/ Örtüsü Haritalarının Oluşturulması

Bu tez çalışması kapsamında ilk aşamada belirlenen 1989-1999 ve 2009 tarihli uydu görüntülerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflama sonucu elde edilen çıktılar; gelecek arazi kullanımında meydana gelen değişimleri belirlemek değişimin yönünü, nasıl değişebileceğini belirlemek amacıyla kullanılmıştır ve modelin temel girdi verisidir. Bu sebepten dolayı girdi verilerinin yüksek doğruluk oranlarına sahip olması hedeflenmiştir. TerrSet yazılımında obje tabanlı ve piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleri birlikte kullanılarak üretilmiştir. Doğruluk oranını arttırmak ve modellemenin de güvenilirliğini sağlamak amacıyla ekran üzerinde elle düzeltme yapılarak, doğruluk oranı yüksek tutulmaya çalışılmış ve modele eklenmiştir. Farklı tarihli uydu görüntülerimiz, TerrSet programında sınıflandıktan sonra referans alınan görüntü ile bu sınıflandırma arasında piksel bazlı karşılaştırma yapılmıştır. Bu piksellerin karşılık geldiği arazi kullanım sınıfları ile referans görüntüdeki sınıflar karşılaştırılıp hata matrisi ve Kappa değeri üretilmiştir. Şekil 3.1 de 1989 yılı için üretilen arazi kullanım/örtüsü çıktısı yer almaktadır.

Şekil 3.1: 1989 yılı arazi kullanımı (Landsat 5'den üretilmiştir)



İlk olarak 1989 yılının doğruluk analizi yapılmış her sınıf için 150 rastgele nokta atılmıştır. 1989 yılı için toplam doğruluk oranı % 91,44 iken Kappa değeri de 0.8973' tür (Tablo 3.1). Bu doğruluk oranı oldukça yüksek olup görüntülü sınıflama işleminden sonra elle düzeltmelerin katkısı olmuştur. Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar kullanıcı doğruluğu 85% ile düşük değerde olurken, su yapılarında bu oran %97 ile en yüksek değerdedir. Bu toplam doğruluk oranı ve Kappa değeri yeterli olup model için kullanılması uygundur. Gelecek değişim senaryolarının gerçeğe en yakın şekilde üretilmesi, değişimin doğru tespit edilebilmesi için bu aşama oldukça önemlidir.

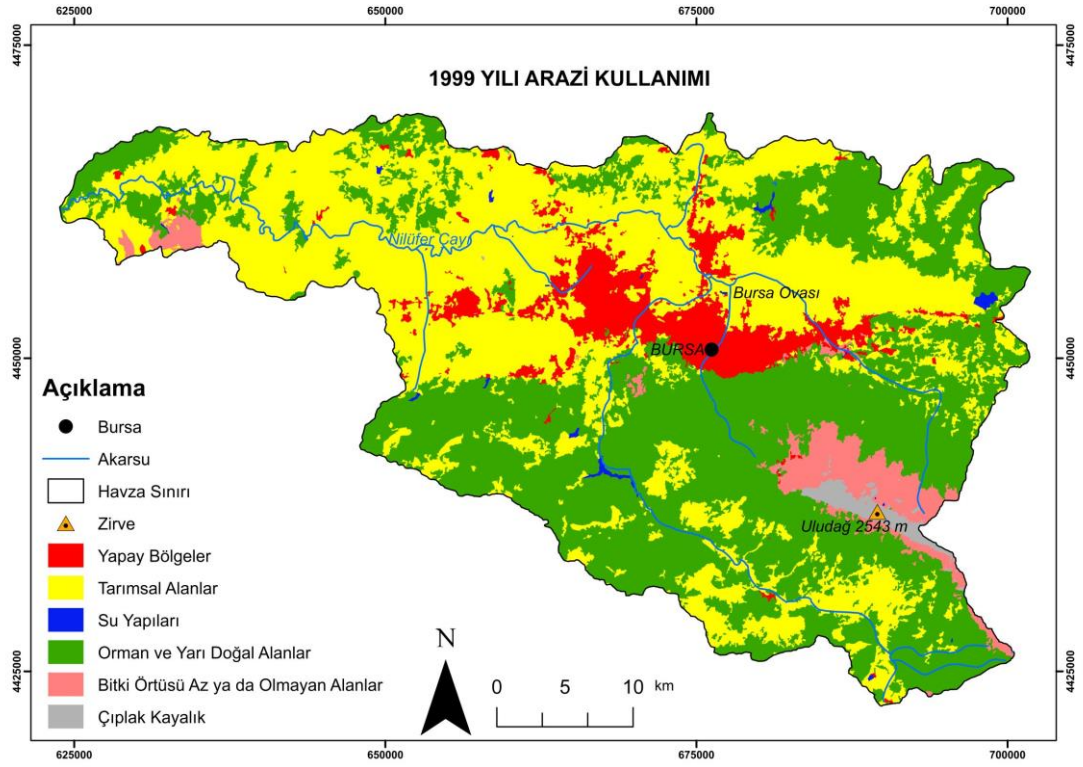
Tablo 3.1: 1989 yılı doğruluk analizi

Sınıflar	Yapay Bölgeler	Tarımsal Alanlar	Su Yapıları	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	Çıplak Kayalık	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Bölgeler	133	11	0	6	0	0	150	%89
Tarımsal Alanlar	1	139	0	8	2	0	150	%92.67
Su Yapıları	0	0	146	4	0	0	150	%97
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	0	10	0	140	0	0	150	%93.33
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	2	0	0	20	127	1	150	%85
Çıplak Kayalık	1	0	0	0	11	138	150	%92
Toplam	137	160	146	178	140	139	900	%91
Üretici Doğruluğu	%97.08	%87	%100	%78.65	%90.71	%99	%92	T:%91.44

Sonraki aşamada her yıl için bu işlem tekrar edilmiştir. 1999 yılı arazi kullanımı elde edilmiştir (Şekil 3.2). Burada dikkat çeken sınıflardaki değişiklikler, yapay bölgelerin hızlıca büyüdüğü, özellikle tarımsal alanlardan bu sınıfa dönüşümler yaşanmıştır. Bursa ovasında şehir yapısı giderek artmıştır, tarımsal alanlar da ise

kayıplar yaşanmıştır. Yapay bölgelerin var olan sınıfların çevresinde büyüdüğü dikkat çekmektedir.

Şekil 3.2: 1999 yılı arazi kullanımı (Landsat 5’den üretilmiştir)



1999 yılı arazi kullanımı doğruluk analizinde ise genel doğruluk oranı %93,11 iken Kappa değeri ise 0.9173 gibi yüksek bir değerdir (Tablo 3.2).

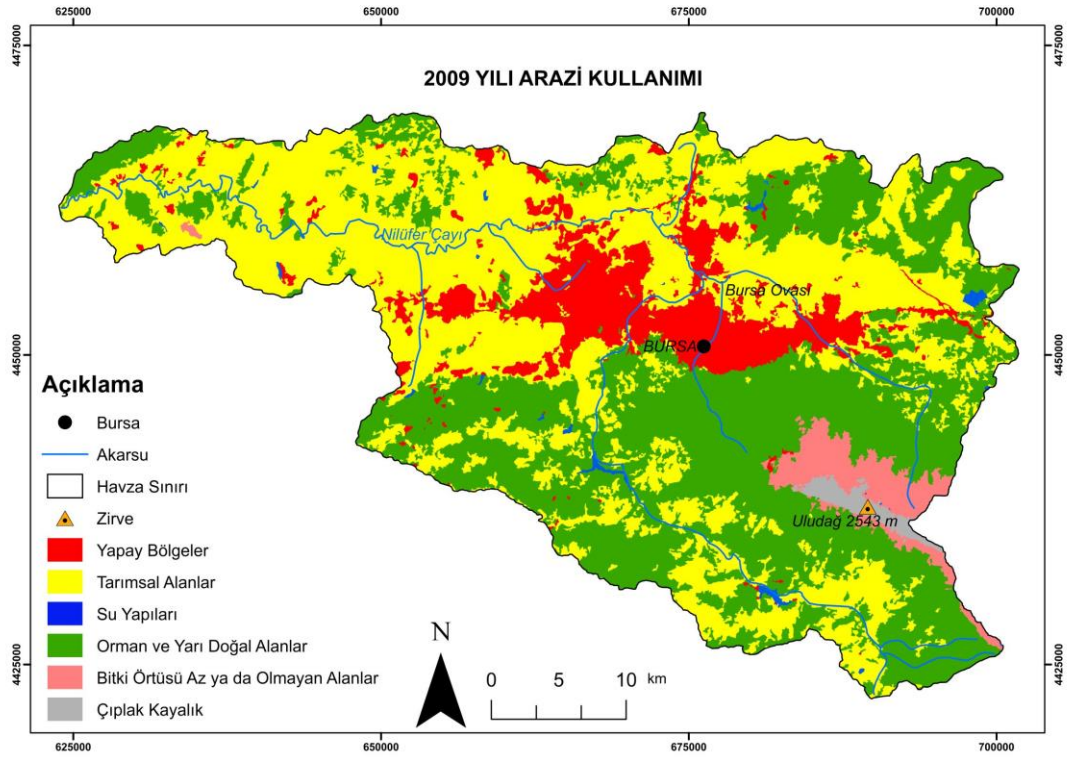
Tablo 3.2: 1999 yılı doğruluk analizi

Sınıflar	Yapay Bölgeler	Tarımsal Alanlar	Su Yapıları	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	Çıplak Kayalık	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Bölgeler	145	4	0	1	0	0	150	%97
Tarımsal Alanlar	3	140	0	7	0	0	150	%93.33
Su Yapıları	0	0	150	0	0	0	150	%100
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	0	14	0	136	0	0	150	%91
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	7	8	0	11	123	1	150	%82
Çıplak Kayalık	4	0	0	0	2	144	150	%96
Toplam	159	166	150	155	125	145	900	%93.22
Üretici Doğruluğu	%91.20	%84.34	%100	%87.74	%98	%99	%93.38	T:%93.11

Son altlık arazi kullanımı olan 2009 yılı doğruluk analizinde, öncelikle uydu görüntüsünden arazi kullanım sınıfları belirlenip model girdi verisi hazırlanmıştır (Şekil 3.3). Ardından 2009 yılı için TerrSet programı ile bu tarihin projeksiyonu/tahmini üretilmiştir. Sonrasında öncelikle referans görüntüler ile 2009

yılına ait üretilen arazi kullanım çıktısının doğruluk oranı belirlenmiştir. Ardından üretilen projeksiyon ile hem piksel bazlı hem de arazi kullanımı sınıflarının alan bazlı karşılaştırması yapılmıştır. 2009 yılı arazi kullanımı, model doğruluğunu test ettiğimiz görüntü olmuştur. Buradan çıkan güvenilir sonuçlar sonucu 2019, 2029, 2049 ve 2099 tarihli arazi kullanım projeksiyonu üretilmiştir.

Şekil 3.3: 2009 yılı arazi kullanımı (Landsat 5'den üretilmiştir)



2009 yılı için üretilen doğruluk analizinde toplam doğruluk oranı %94,44 iken Kappa değeri ise 0.9333 şeklindedir (Tablo 3.3). 1989 yılı ve 1999 yılı kullanılarak üretilen 2009 yılı projeksiyonuna baktığımızda ise toplam doğruluk oranının %89,22 iken, Kappa değerinin ise 0.8706 ile gelecek modelin tahmini için oldukça yüksek bir değer olduğu ortaya konmuştur (Tablo 3.4). Tüm bu değerlerle daha sonra 2019, 2020, 2029, 2049, 2070 ve 2099 tarihleri için arazi kullanım modeli üretilmiştir.

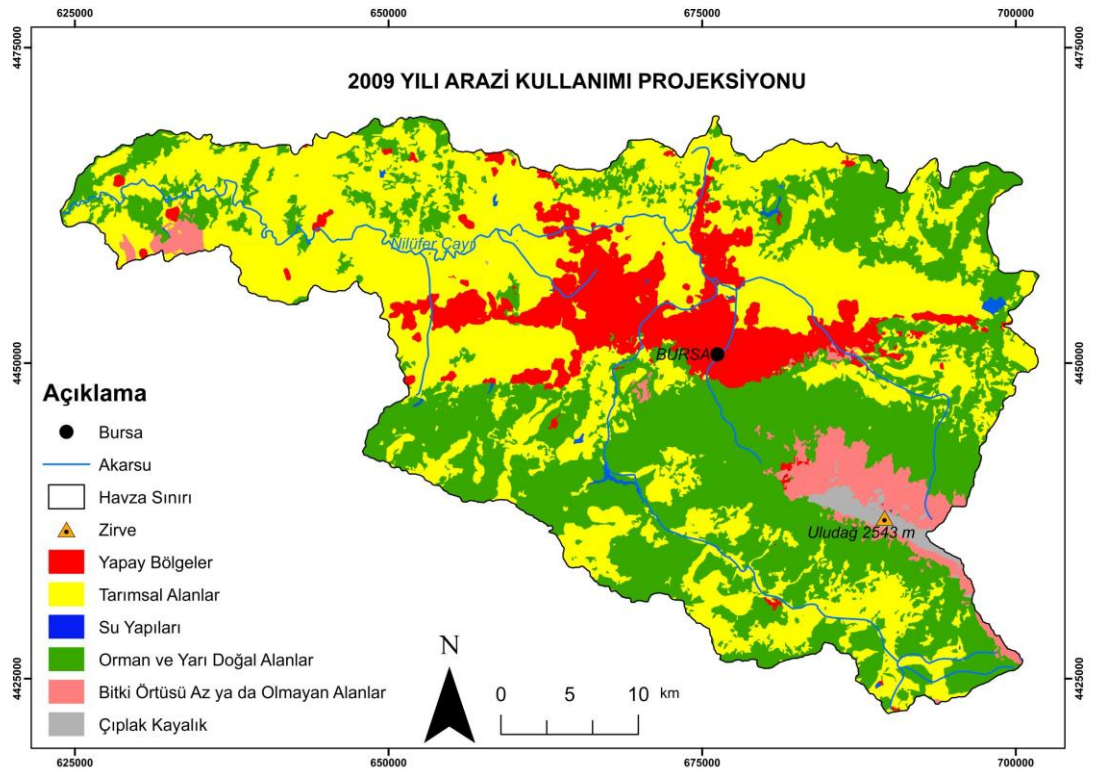
Tablo 3.3: 2009 yılı doğruluk analizi

Sınıflar	Yapay Bölgeler	Tarımsal Alanlar	Su Yapıları	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	Çıplak Kayalık	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Bölgeler	135	9	0	6	0	0	150	%90
Tarımsal Alanlar	3	141	0	6	0	0	150	%94
Su Yapıları	0	1	149	0	0	0	150	%99.33
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	1	11	0	138	0	0	150	%92
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	1	0	0	4	140	5	150	%93.33
Çıplak Kayalık	0	0	0	1	2	147	150	%98
Toplam	140	162	149	155	142	152	900	%94.44
Üretici Doğruluğu	%96.43	%87.04	%100	%89.03	%98.59	%96.71	%94.63	T: 94.44

1989 ve 1999 arazi kullanımı kullanılarak 2009 projeksiyonu üretilmiştir (Şekil 3.4). Üretilen 2009 yılı projeksiyonuna bağlı olarak oluşturulan doğruluk analizi tablosuna baktığımızda, doğruluk oranı ve Kappa değeri düşmüştür ancak burada model içi hata payı olduğu dikkat çeker ancak bu düşüş çok az olduğu için çalışma için

uygun görülmüştür (Tablo 3.4). Piksel bazlı doğruluğun ardından arazi kullanım sınıflarının da alan bazlı karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 3.5 incelendiğinde, alan bazında büyük farkların olmadığını en büyük farkın %1 ile orman ve yarı doğal alanlarda olduğu görülmektedir. Diğer tüm farklılıklar yüzde birin altındadır ve buradan da anlaşılacağı üzere, alan bazlı doğruluk oranı da oldukça yüksek olup sınıfların tespiti gerçeğe en uygun şekilde yapılmıştır (Tablo 3.5).

Şekil 3.4: 2009 yılı arazi kullanımı projeksiyonu



Tablo 3.4: 2009 yılı üretilen projeksiyonun doğruluk analizi

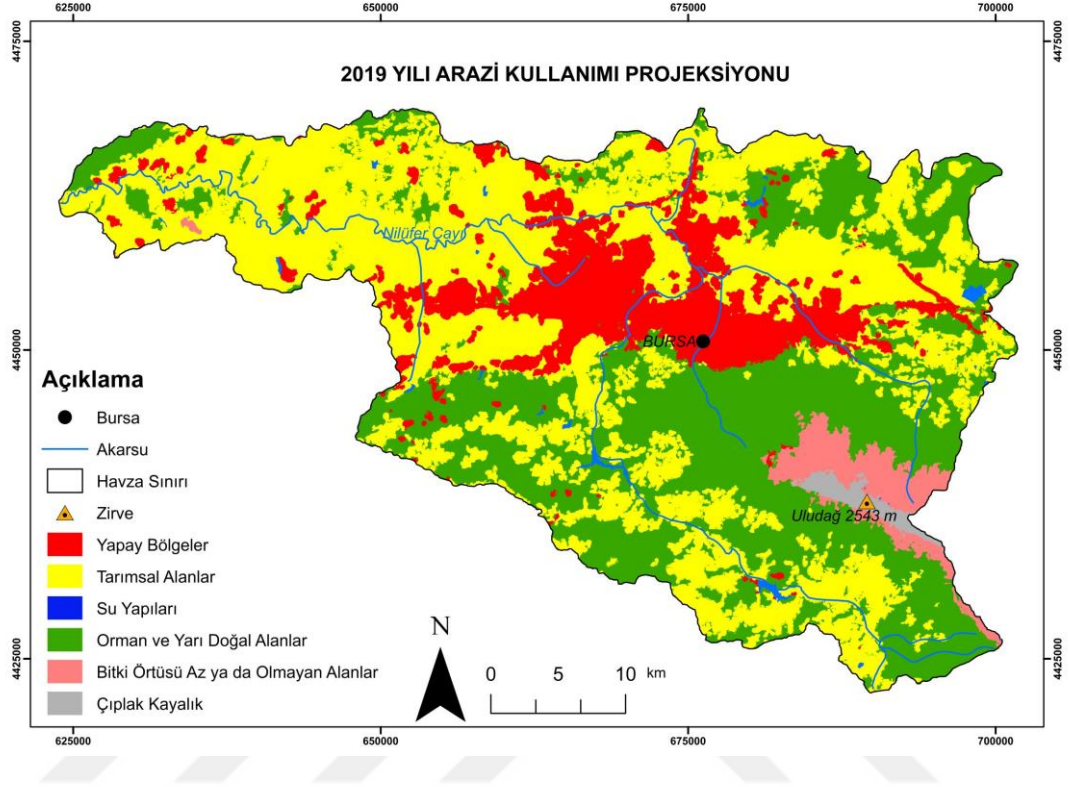
Sınıflar	Yapay Bölgeler	Tarımsal Alanlar	Su Yapıları	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	Çıplak Kayalık	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Bölgeler	128	15	2	5	0	0	150	%85.33
Tarımsal Alanlar	4	130	0	16	0	0	150	%86.67
Su Yapıları	3	2	144	1	0	0	150	%96.00
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	1	13	0	135	1	0	150	%90.00
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	6	7	1	8	128	0	150	%85.33
Çıplak Kayalık	1	1	0	0	10	138	150	%92.00
Toplam	143	168	147	165	139	138	900	%89.22
Üretici Doğruluğu	%89.51	%77.38	%97.96	%81.82	%92.09	%100.00	%89.79	T: %89.22

Tablo 3.5: 2009 yılı arazi kullanımı ve 2009 yılı projeksiyonu karşılaştırılması.

	2009 Yılı Arazi Kullanımı (hektar)	Yüzde (%)	2009 Yılı Üretilen Projeksiyon (hektar)	Yüzde (%)
Yapay Bölgeler	20951	10.55	20856	10.50
Tarımsal Alanlar	88563	44.61	89184	44.90
Su Yapısı	806	0.41	589	0.30
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	80631	40.61	78667	39.60
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	5968	3.01	7553	3.80
Çıplak Kayalık	1630	0.82	1783	0.90
Toplam	198549	100	198632	100

Test yılı olan 2009'un ardından model doğruluğu için yapılan ikinci deneme olarak 2019 arazi kullanımı projeksiyonu üretilmiştir (Şekil 3.5). Referans görüntülere bağlı olarak doğruluk analizi yapılmıştır. Burada da Kappa değeri için yapılan doğruluk analizi tespiti yapılmıştır. Yine her sınıf için rastgele 150 nokta atılmıştır. Toplam doğruluk oranı %85,78 iken, Kappa değeri ise 0.8293 şeklinde bulunmuştur (Tablo 3.6). Tüm bu altlık verilerde doğruluk oranı, en yüksek olacak şekilde düzeltmeler yapılmıştır ve modele eklenmiştir. Bunun temel amacı; gelecek için üretilmek istenen arazi kullanım projeksiyonların gerçeğe en yakın olması için temel altlık haritalarında gerçeğe en yakın olması zorunluluğudur.

Şekil 3.5: 2019 yılı arazi kullanımı projeksiyonu



Tablo 3.6: 2019 yılı doğruluk analizi

Sınıflar	Yapay Bölgeler	Tarımsal Alanlar	Su Yapıları	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	Çıplak Kayalık	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Bölgeler	137	5	2	5	1	0	150	%91.33
Tarımsal Alanlar	14	122	0	14	0	0	150	%81.33
Su Yapıları	0	11	103	0	36	0	150	%68.67
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3	6	0	140	1	0	150	%93.33
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	0	0	0	14	124	12	150	%82.67
Çıplak Kayalık	0	0	0	0	4	146	150	%97.33
Toplam	154	144	105	173	166	158	900	%85.78
Üretici Doğruluğu	%88.96	%84.72	%98.10	%80.92	%74.70	%92.41	%86.63	T: %85.78

Temel altlık veriler olan 1989,1999 ve 2009 yılı arazi kullanım çıktıları hazırlanıp doğruluk oranları kabul edilebilir hale getirildikten sonra, gelecek arazi kullanım çıktıları üretilmiştir. TerrSet programında yer alan Land Change Modeler (Arazi Değişim Modelleyicisi, LCM) hızla artan arazi kullanım sınıflarının hızlı

dönüşüm sorununa ve biyoçeşitliliğin korunmasının özel analitik ihtiyaçlarına yönelik entegre bir yazılım ortamıdır. LCM’de arazi kullanımı değişikliğinin değerlendirilmesi ve öngörülmesine yönelik araçlar ve etkileri, temel görev alanları etrafında düzenlenmiştir. Bu düzenlemeler değişim analizi, değişiklik tahmini ve planlama müdahaleleri olarak ayrılmaktadır (Eastman, 2016). Daha önce bahsedilen arazi kullanım simülasyon modellerinden Markov Zincirleri (Markov Chain) ve Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Networks) modelinin bir metodu olan Çok Katmanlı Algılayıcıları (Multi-layer perceptron, MLP) birlikte kullanan birleşik bir yöntem olan LCM kullanılmıştır. Bu birleşik yöntemin ilk aşaması, MLP yöntemi ile geçiş potansiyeli geliştirmesidir. Bu aşama üç alt aşamadan oluşmaktadır; alt model geliştirme, değişkenlerin test edilmesi ve geçiş potansiyeli geliştirme. Modelin ikinci aşaması, geçiş potansiyelleri kullanılarak Markov yöntemi ile simülasyonun üretilmesidir (Eastman, 2016).

Çok katmanlı algılayıcı sinir ağı olarak adlandırılan MLP seçeneği, aynı anda birden çok geçişi modelleyebilir. Giriş ve çıkış katmanları arasında bir ya da daha fazla katman içeren ileri beslemeli bir sinir ağıdır ve denetimli bir algoritma olan geriye yayılım algoritmasını kullanır. İleri besleme algoritmaları ile ağılar; giriş değerleri, giriş katmanı düğümleri, gizli katman düğümleri ve çıkış katmanı düğümleri için ağırlıkları hesaplar ve bunların hepsi gizli katmandan (hesaplama düğümleri kümesi) çıkış katmanlarına yayılır (Hasan vd., 2020; Shade ve Kremer, 2019; Eastman, 2016). LCM’ de merkezi bir rol oynar ve 1) girdi, 2) gizli ve 3) çıktı olmak üzere üç katmandan oluşur.

Arazi Değişikliği Modelleyicisindeki arazi kullanım değişikliği tahmini: 1) Değişim Analizi (Change Analysis), 2) Geçiş Potansiyeli Modeli (Transition Potential Model), 3) Değişim Tahminine (Change Prediction) kadar adım adım ilerleyen deneysel olarak yürütülen bir süreçtir. Gelecekteki senaryoları projelendirmek için zaman 1’den zaman 2’ye kadar arazi kullanımı haritalarının tarihsel değişimine dayanmaktadır.

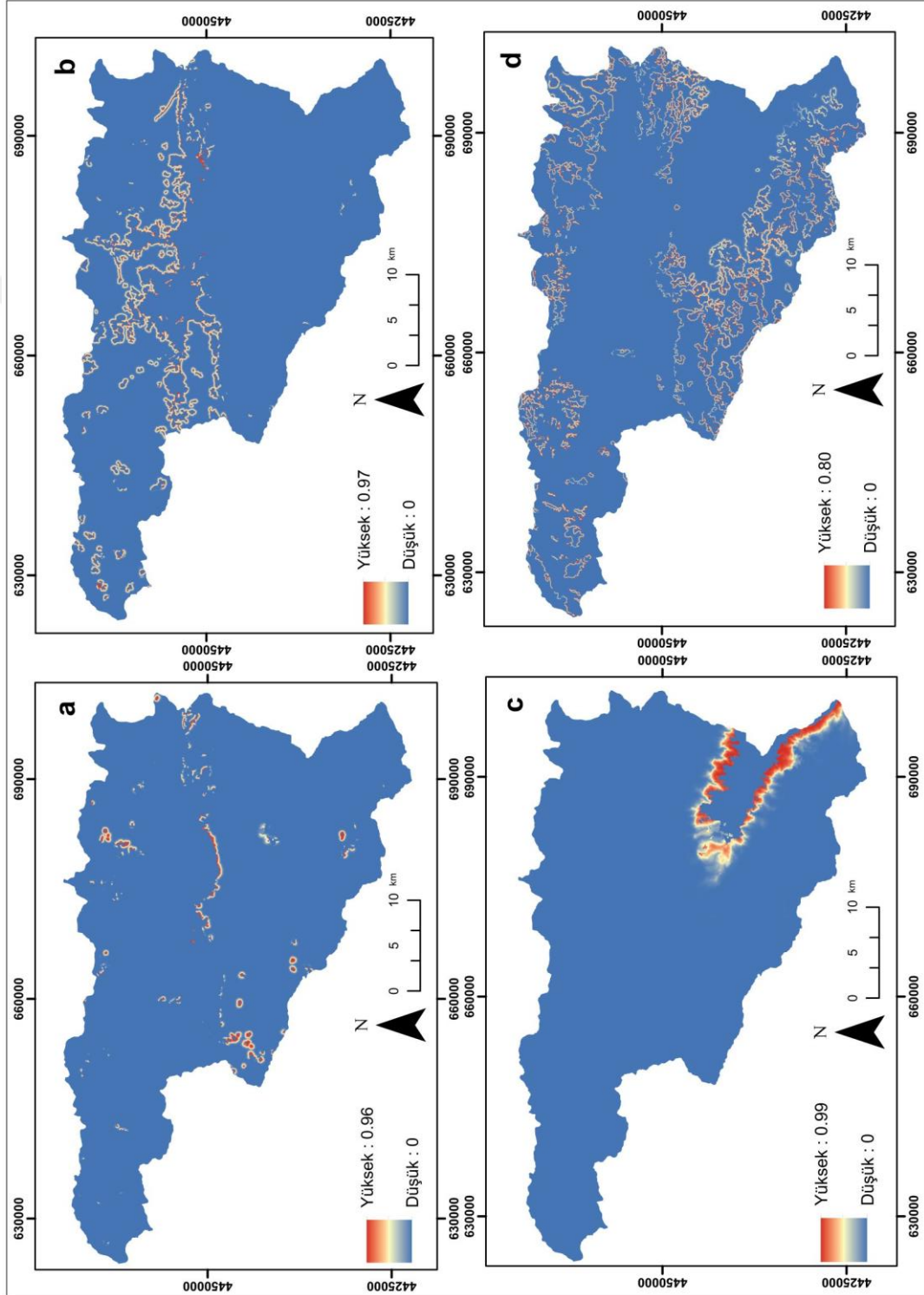
Değişim analizinde, iki arazi kullanım haritasında zaman 1 ve zaman 2 arasındaki değişim değerlendirilir. Tanımlanan değişiklikler, bir arazi kullanım

durumundan diğetine geçişlerdir. Birçok arazi kullanım sınıfı ile geçişlerin potansiyel kombinasyonunun çok büyük olması muhtemeldir (Eastman, 2016). nemli olan, alt modeller olarak adlandırılan gruptandırılabilen ve modellenenebilen baskın geçişleri tanımlamaktır. Her grup veya geçişlerin alt modeli ayrı ayrı modellenenebilir, ancak sonuçta her alt model son değışiklik tahminindeki tüm alt modellerle birleştirilecektir (Shade ve Kremer, 2019; Hasan vd., 2020; Gibson vd., 2018). Bu çalışmada baskın geçişler, tarımsal alanlardan yapay bölgelere, orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara ve yapay bölgelere, bitki örtüsü az ya da olmayan alanlardan tarımsal alanlara olan geçişlerdir. Burada sadece gelecek arazi kullanımının tahmini için önemli olan geçişler kullanılmıştır.

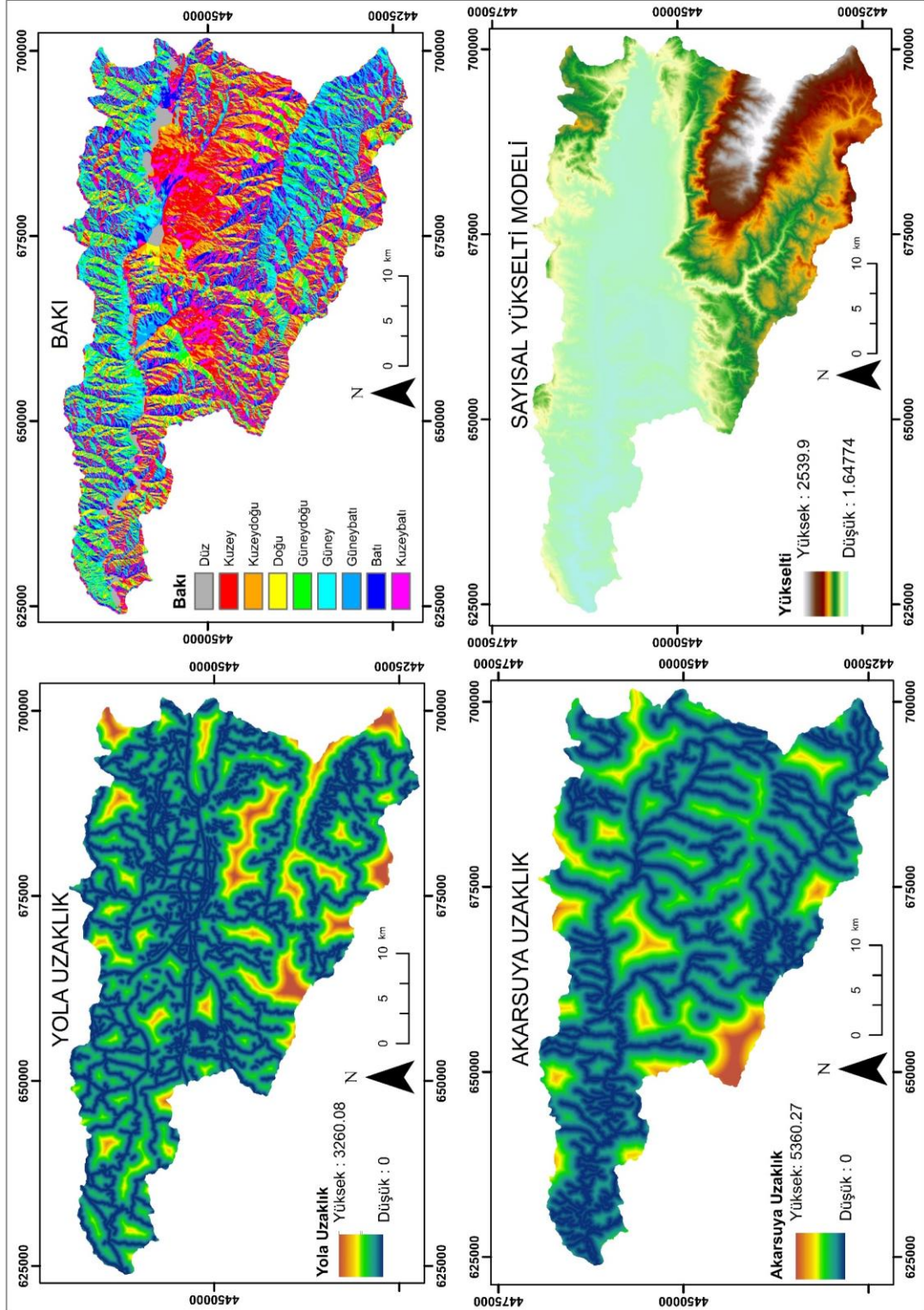
Geçiş Potansiyelleri aşamasında ise iki arazi kullanım verileri arasındaki geçişleri, her bir alt modelin bir takım sürücü veya açıklayıcı değişkenle tanımlandığı bir dizi alt model halinde gruptandırır (Eastman, 2016; Eastman, 2006). Burada iki arazi kullanım arasında var olan tüm geçişler listelenir (eğer değişim analizi aşamasında filtreleme yapılmadıysa). Bu çalışmada 1000 hektardan daha fazla olan geçişler filtrelenip modelin bu aşamasında eklenmiştir. Her geçiş için zamana özgü değişim potansiyelinin bir ifadesi olan bir geçiş potansiyeli haritası türetilir. Geçiş potansiyeli 0 ile 1 arasında değişir ve 1' e yaklaşıkça geçiş potansiyeli artmaktadır. Bu çalışmada ise 4 geçiş potansiyeli belirlenmiştir (şekil 3.6), geçiş alanları az olan değişimler modele eklenmemiştir.

Bu sekmede, sürücü değişkenlerini dönüştürmek ve açıklayıcı değişkenlerin her birinin potansiyel gücünü ortaya çıkarmak için olanaklar bulunmaktadır. Değişkenler modele statik veya dinamik bileşenler olarak eklenebilir, statik değişkenler söz konusu geçiş için temel uygunluğun özelliklerini ifade eder ve zaman içinde değişmez. Statik bileşenler olarak eğim, dem, bakı gibi değişkenler iken (şekil 3.7), dinamik değişkenler ise mevcut gelişim veya altyapıya yakınlık gibi zamana bağlı etkenlerdir ve bir tahmin sırasında zaman içinde yeniden hesaplanır. Bunlar ise akarsuya yakınlık, yola yakınlık, tarım alanlarına yakınlık, şehre yakınlık gibi değişebilir. Burada önemli olan hangi değişkenin baskın olduğu ve projeksiyonda amaca uygun olarak bileşenler belirlenmeli ve modele eklenmelidir. Bu çalışmanın amacına uygun olarak bileşenler şekil 3.7 ve şekil 3.8'de verilmiştir.

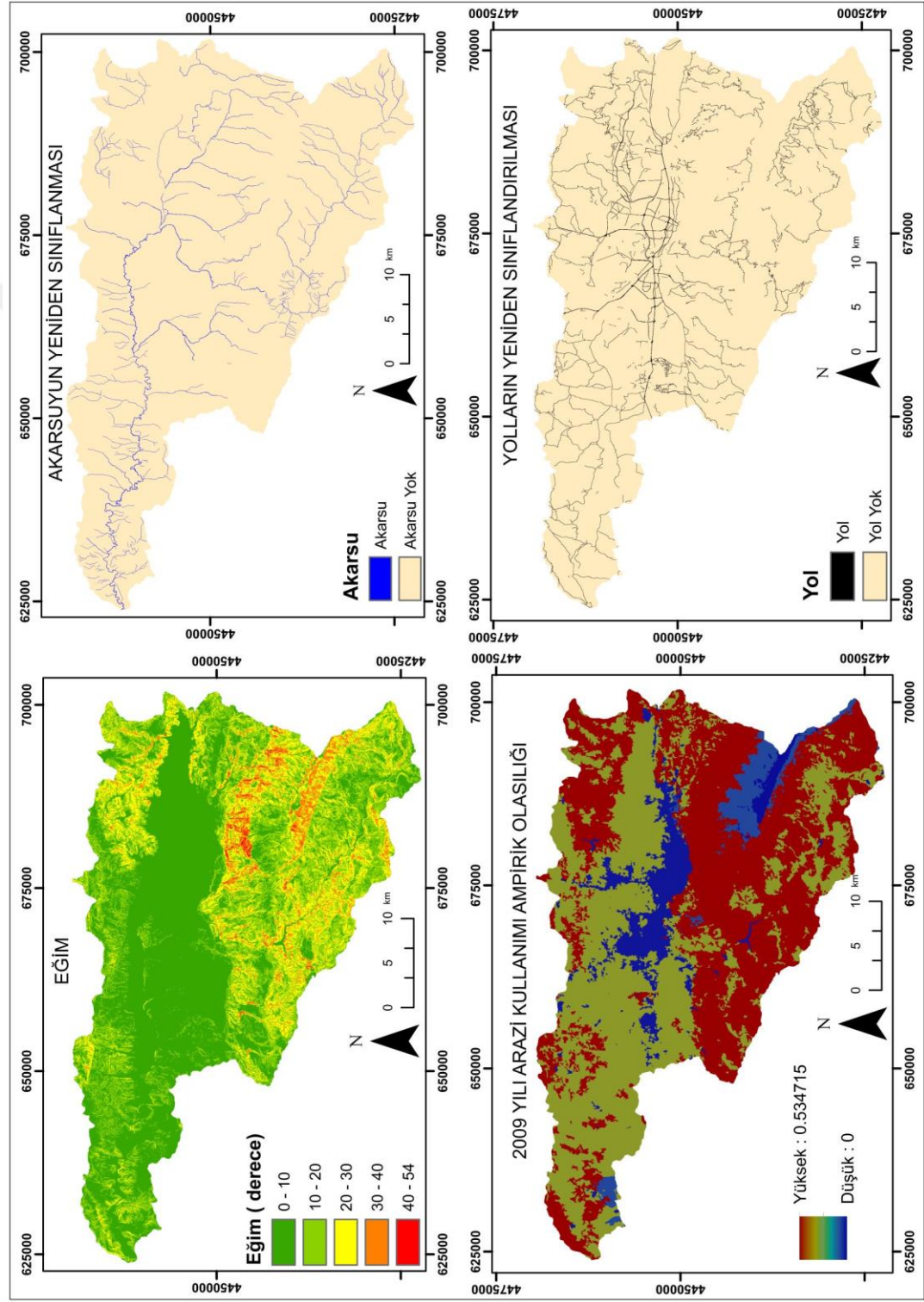
Şekil 3.6: Geçiş potansiyeli haritaları a) orman ve yarı doğal alanlardan yapay bölgelere, b) tarımsal alanlardan yapay bölgelere, c) orman ve yarı doğal alanlardan bitki örtüsü az ya da olmayan alanlara, d) orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara geçiş.



Şekil 3.7: Arazi değişim modellemesinin mekânsal dağılımı için kullanılan değişkenlerin haritaları dem, bakı, yollara olan mesafe ve akarsuya olan mesafe



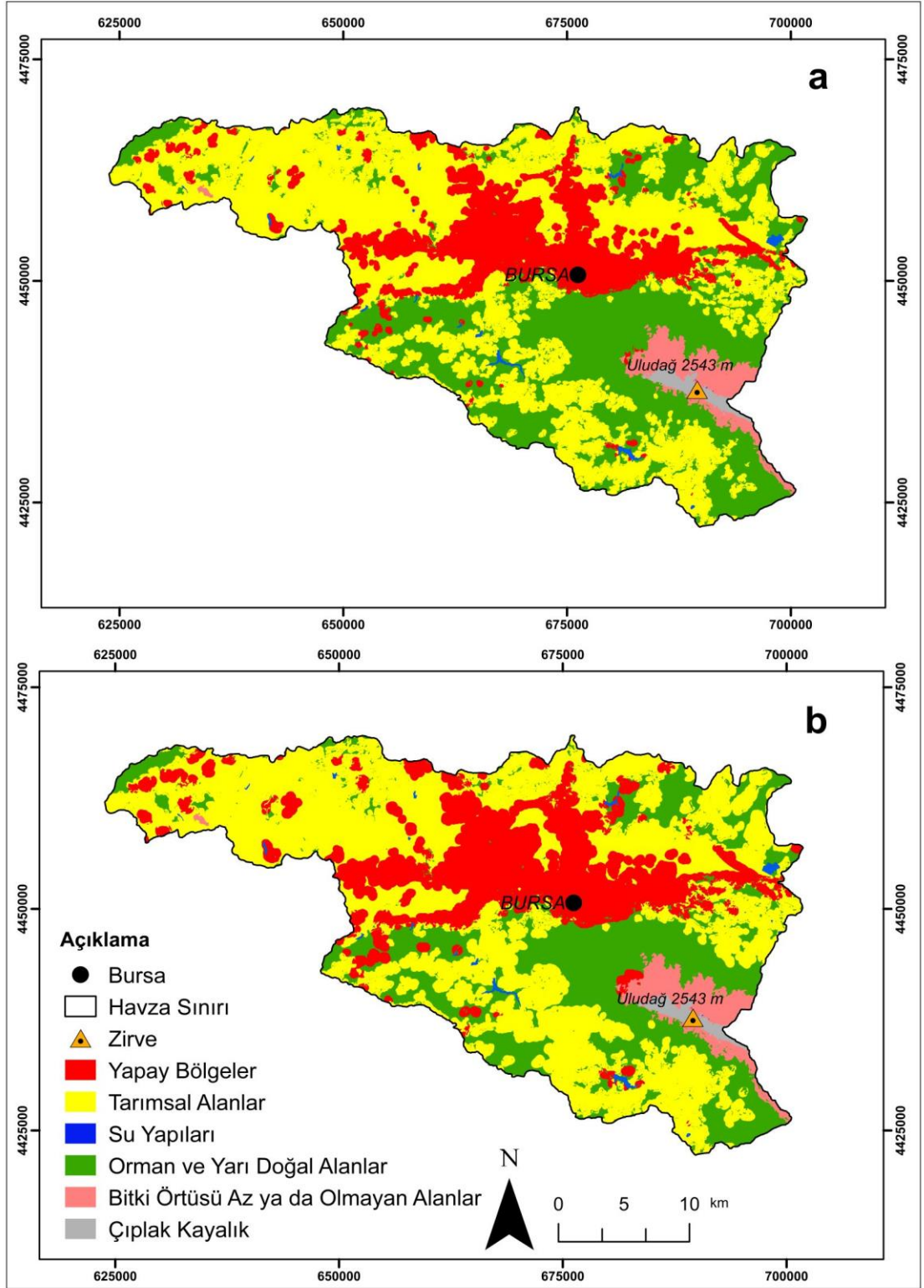
Şekil 3.8: Arazi değişim modellemesinin mekânsal dağılımı için kullanılan değişkenlerin haritaları eğim, akarsu, 2009 yılı arazi kullanımının ampirik olasılığı ve yol.



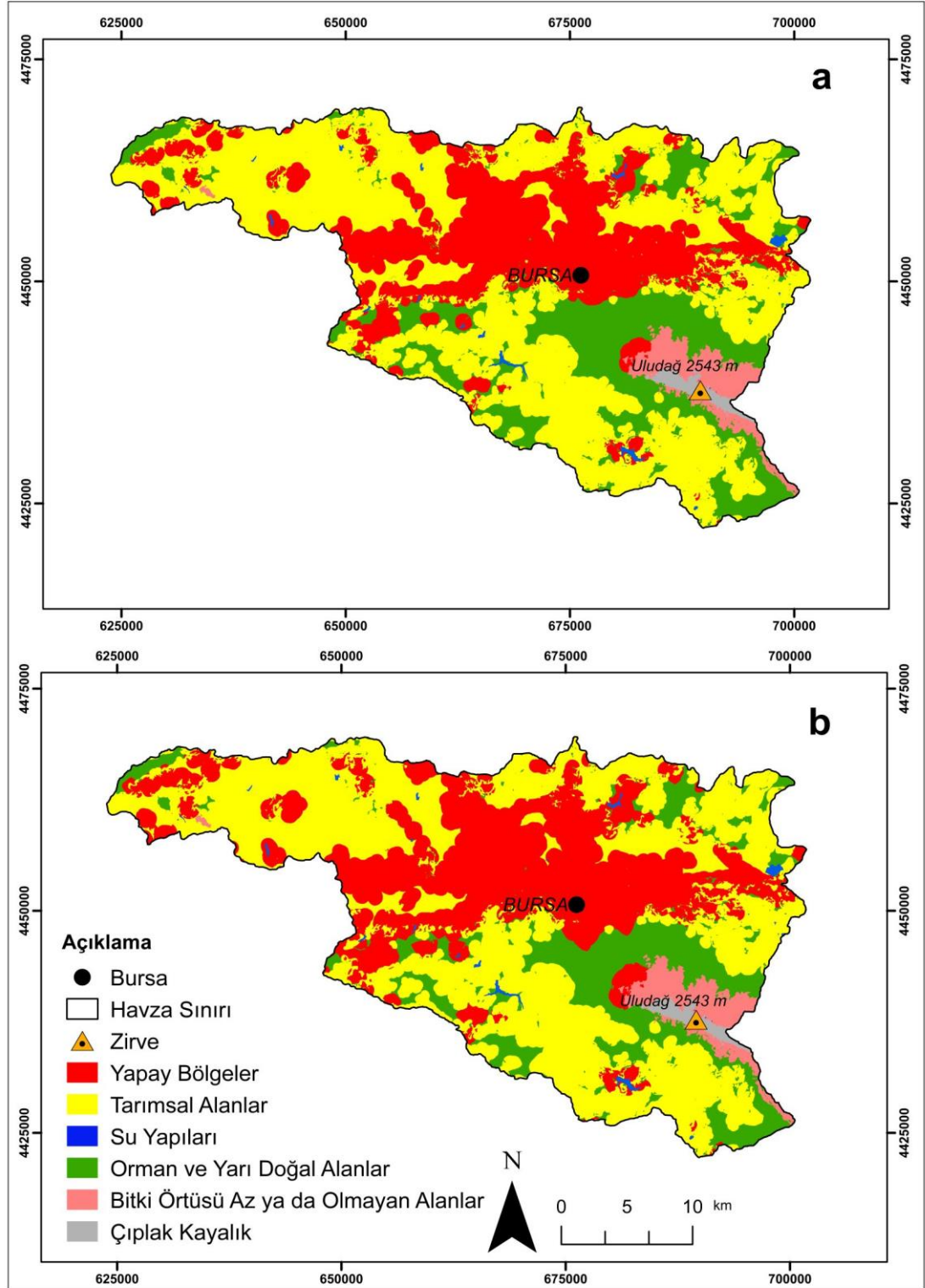
Model değişkenleri seçildikten sonra, her geçiş alt modeli üç model türünden biri kullanılarak modellenir: 1) Lojistik Regresyon, 2) Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Sinir Ağı veya 3) SimWeight (Eastman, 2016). Bu çalışmada geçiş alt modellerinin üretilmesi için MLP kullanılmıştır. MLP sinir ağı, kullanıcı müdahalesi gerektirmeyen otomatik bir mod sunmak için kapsamlı bir şekilde geliştirilmiştir. LCM’de her geçiş ayrı bir alt model olarak kabul edilir. Ancak MLP’de hepsinin aynı temel itici güçlerden kaynaklandığı düşünülürse, çoklu geçişler tek bir alt modelde gruplandırılabilir. Bir alt modelde birden çok geçişi modellemek için yalnızca MLP kullanılabilir.

Değişim tahmini aşamasında ise LCM tarihsel değişim oranlarını ve geçiş potansiyeli modelini kullanarak belirli bir gelecek tarih için gelecek senaryosunu tahmin edebilir. Bu çalışmada en basit haliyle model; değişkenlerin gelecekteki değişimi nasıl etkilediğini, zaman 1 ile zaman 2 arasında ne kadar değişiklik meydana geldiğini belirleyecek ve ardından gelecek tarihe göreli bir geçiş miktarını hesaplayacaktır (Eastman, 2016). İki temel değişim modeli sağlanmıştır: bir kesin tahmin modeli ve bir yumuşak tahmin modeli. Kesin tahmin modeli, çok amaçlı bir karar sürecine benzer rekabetçi bir arazi tahsis modeline dayanmaktadır. Yumuşak tahmin, seçilen geçiş kümesi için değişime açık bir güvenlik haritası verir (Eastman, 2016). Sonuç olarak tüm bu aşamalar sonrası 2029, 2049, 2070 ve 2099 yılları için arazi kullanımı projeksiyonları üretilmiştir (şekil 3.9; şekil 3.10). Hazırlanan tüm bu yıllar için elde edilen gelecek arazi kullanım projeksiyonları yapılacak yağış akış modelinde bir adımıdır. Akbaş (2018)’de yapılan çalışmada 2016 CORİNE arazi kullanım verileri ile Nilüfer ayı havzasında yapılan yağış akış modeli üretilmiştir. Burdan farklı olarak, aslında gelecek arazi kullanım verisi eklenerek modelde ne gibi değişimlerin yaşandığı, yağış miktarında ki değişim ortaya konmuştur.

Şekil 3.9: a) 2029 yılı arazi kullanımı projeksiyonu, b) 2049 yılı arazi kullanımı projeksiyonu.



Şekil 3.10: a) 2070 yılı arazi kullanımı projeksiyonu, b) 2099 yılı arazi kullanımı projeksiyonu



3.2. Değişim Analizi

Nilüfer Çayı havzası için arazi kullanımı değişiminin tespitinde 1989, 1999, 2009 yıllarına ait arazi kullanım haritaları üretilmiş ve kullanılmıştır. Kullanılan modelleme programı üzerinde piksel düzeyinde karşılaştırma imkânı sunan “–den –e” (from-to) analizi ile sınıflar arasındaki farklar ve değişim tespit edilmiştir. Öncelikle 1989-1999 arasındaki değişim ardından 1999-2009 yılları arasındaki değişim tespit edilmiştir ve 20 yıllık değişim gözlenmiştir. Karşılaştırma işleminde, bir sınıftan diğer sınıfa dönüşen ve değişmeyen alanlar, değişim matrisi ve değişim görüntüsü ile gösterilmiştir. Matriste arazi kullanım sınıfları rakamlarla temsil edilmiştir ve şu şekildedir; 1: Yapay Bölgeler, 2: Tarımsal Alanlar, 3: Su Yapıları, 4: Orman ve Yarı Doğal Alanlar, 5: Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar, 6: Çıplak Kayalık. Matriste 1989 yılından 1999 yılına bir arazi kullanım sınıfından diğerlerine dönüşümü gösterilmiştir ve sütunun en sonunda ise bu iki tarih arasındaki değişim yüzdesi verilmiştir.

1989’den 1999’a değişen alanların matrisine baktığımızda (Tablo 3.7) yapay yapılar, en çok oransal olarak artan sınıf olmuştur. Burada dikkat çeken faktör, özellikle tarımsal alanlardan var olan yapay bölgeden daha fazla hektar alan bu sınıfa dönüşmüştür ve değişim yüzdesinde de en yüksek orana sahip olmuştur. Tarımsal alanlarda ise yapay bölgelere dönüşen kayıplara rağmen özellikle orman ve yarı doğal alanlardan bu sınıfa dönüşüm yaşanmıştır. Beşeri faktörler göz önüne alındığında artan nüfus ve kent yapısının büyümesiyle birlikte tarım alanları kent alanlarına dönüşürken, gıda ve ekonomik kaygılar ile orman ve yarı doğal alanlarda tarımsal alanlara dönüşmüştür. Bu durum göz önüne alındığında ve matris incelendiğinde, tarımsal alanlarda negatif yönde oran kaybı olmasına rağmen, bu alana 11258 ha’lık orman ve yarı doğal alan dönüşmüştür ve bu matristeki en büyük dönüşümdür. Bir diğer oransal olarak değişim gösteren su yapılarında ise, tarım alanlarının sulanması için açılan göletlerin büyük katkısı olmuştur ve alansal olarak artış göstermiştir. Orman ve yarı doğal alanlarda ise dönüşüm en çok tarımsal yapılara olurken, bunu bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar ile yapay bölgeler takip etmiş ve oransal olarak negatif yönde bir değişim olmuştur. Bitki örtüsü az ya da olmayan alan ile çıplak kayalık alanlarda ise pozitif yönde ancak oransal olarak az değişim olmuştur.

Tablo 3.7: Değişim matrisi (1989-1999)

Yıl	1989 (ha)								Değişim (%)
	Sınıflar	1	2	3	4	5	6	Toplam	
1999 (ha)	1	6000	7299	0	414	117	4	13834	46.27
	2	502	73888	4	11258	141	0	85793	-4.2
	3	7	96	379	80	29	0	591	30.63
	4	121	7714	17	80313	908	12	89085	-3.56
	5	46	1159	0	677	5339	238	7459	7.67
	6	17	29	0	8	203	1526	1783	0.15
	Toplam	6693	90185	400	92750	6737	1780		

1: Yapay bölgeler, 2: Tarımsal alanlar, 3: Su yapıları, 4: Orman ve yarı doğal alanlar, 5: Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, 6: Çıplak kayalık

Bir diğer değişim matrisi (Tablo 3.8) ise 1999' dan 2009' a yapıldı burada ise yine en dikkat çekici oransal artış yapay bölgelerde olmuştur. Yapay bölgelere en büyük dönüşüm, tarımsal alanlardan olmuştur ve bunu orman ve yarı doğal alanlardan olan dönüşüm takip etmiştir. Bu iki yıl arasında tarımsal alanlarda ki negatif yöndeki dönüşüm değişmiştir. Tarımsal alanlara en büyük dönüşüm yine orman ve yarı doğal alanlardan olmuştur ve bunu da bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar takip etmiştir. Su yapılarında ki oran 1989-1999 yılından 1999-2009 yılına olan dönüşme göre oransal olarak düşmüştür. Ancak matristeki pozitif yöndeki oransal artış, diğer arazi kullanım sınıflarına göre yüzde bazında yüksektir. Orman ve yarı doğal alanlarda ise negatif yönde oransal bir değişim vardır. Bunun sebebi ise yine 1989-1999 yılındaki gibi artan kentsel büyüme; nüfus artışı ile birlikte ekonomik kaygılar yaratması ve bunun sonucunda ise orman ve yarı doğal alanlar tarıma açılmasıdır. Bitki örtüsü az

ya da olmayan alanlar, negatif değişim oranının en çok yaşıandığı sınıf olmuştur. Bu negatif değişim oranını çıplak kayalık alanlar takip etmiştir.

Tablo 3.8: Değişim matrisi (1999-2009)

Yıl	1999 (ha)								
	Sınıflar	1	2	3	4	5	6	Toplam	Değişim (%)
2009 (ha)	1	13372	6708	0	637	174	40	20931	32.76
	2	326	75666	24	11453	1084	6	88559	2.76
	3	37	169	527	66	1	5	805	23.12
	4	104	3240	23	76509	754	3	80633	-8.99
	5	5	8	4	401	5349	202	5969	-17.9
	6	0	0	0	5	96	1527	1628	-8.14
	Toplam	13844	85791	578	89071	7458	1783		

1: Yapay bölgeler, 2: Tarımsal alanlar, 3: Su yapıları, 4: Orman ve yarı doğal alanlar, 5: Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, 6: Çıplak kayalık

Son olarak 1989'dan 2009'a olan değişim matrisi (Tablo 3.9) incelendiğinde ise, 1989 yılından 2009 yılına 20 yıllık bir periyotta yapay bölgelerin değişim oranının istikrarlı olarak pozitif yöndeki dönüşümü görülmektedir. Yapay bölgelere olan dönüşüm en çok tarımsal alanlardan, bunu takiben orman ve yarı doğal alanlardan olmuştur. Tarımsal alanlarda ise negatif yönlü bir dönüşüm olmuştur ve yapay bölgelere 13432 ha' lık bir dönüşüm yaşanmıştır. Buna rağmen 16981 ha' lık orman ve yarı doğal alanlardan da bu sınıfa bir dönüşüm söz konusudur. Su yapılarına baktığımızda ise kendi içindeki oransal değişim burada da pozitif yöndedir. Bunun temel sebebi, havzada gölet ve baraj yapımının yoğunluk kazanmasıdır. Orman ve yarı doğal alanlarda ise, sahadaki en büyük negatif yöndeki azalış yaşanmıştır. Burada

özellikle tarımsal alanlara dönüşüm ve yapay yapılara dönüşüm dikkat çeker. Negatif yöndeki bu değişimi bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar takip eder ve bu sınıftan en çok orman ve yarı doğal alanlara dönüşüm yaşanmıştır. Çıplak kayalık alanlarında da yine negatif yönlü değişim yaşanmıştır.

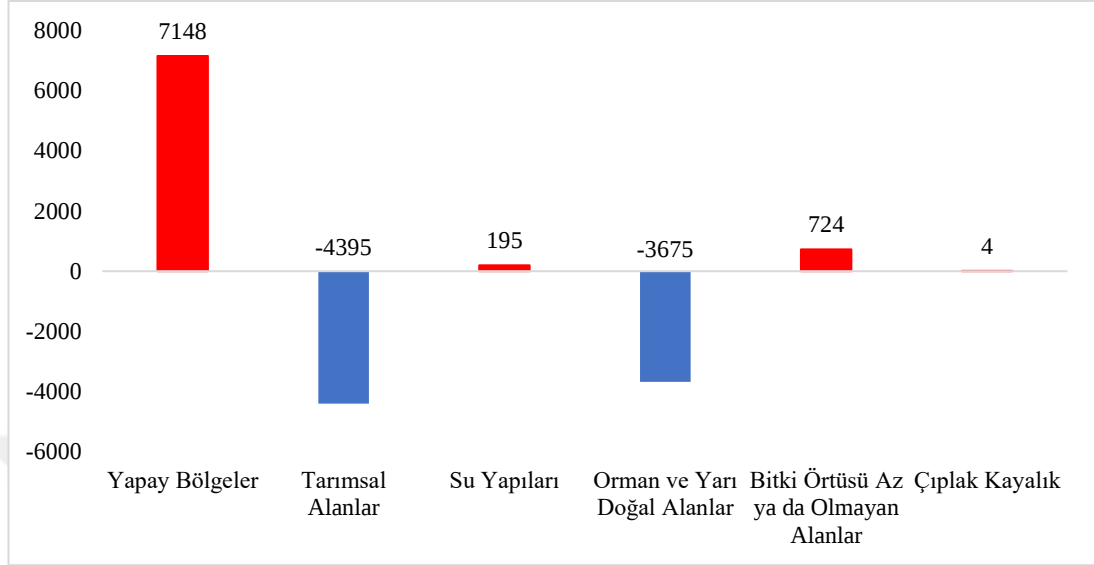
Tablo 3.9: Değişim matrisi (1989-2009)

Yıl	1989 (ha)								Değişim (%)
	Sınıflar	1	2	3	4	5	6	Toplam	
2009 (ha)	1	6305	13432	0	1056	161	5	20959	64.11
	2	255	71177	2	16981	142	0	88557	-1.45
	3	4	204	389	180	27	2	806	49.23
	4	90	5259	8	74192	1073	8	80630	-12.02
	5	40	113	0	338	5237	241	5969	-10.01
	6	0	1	0	4	98	1526	1629	-8.04
	Toplam	6694	90186	399	92751	6738	1782		

1: Yapay bölgeler, 2: Tarımsal alanlar, 3: Su yapıları, 4: Orman ve yarı doğal alanlar, 5: Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar, 6: Çıplak kayalık

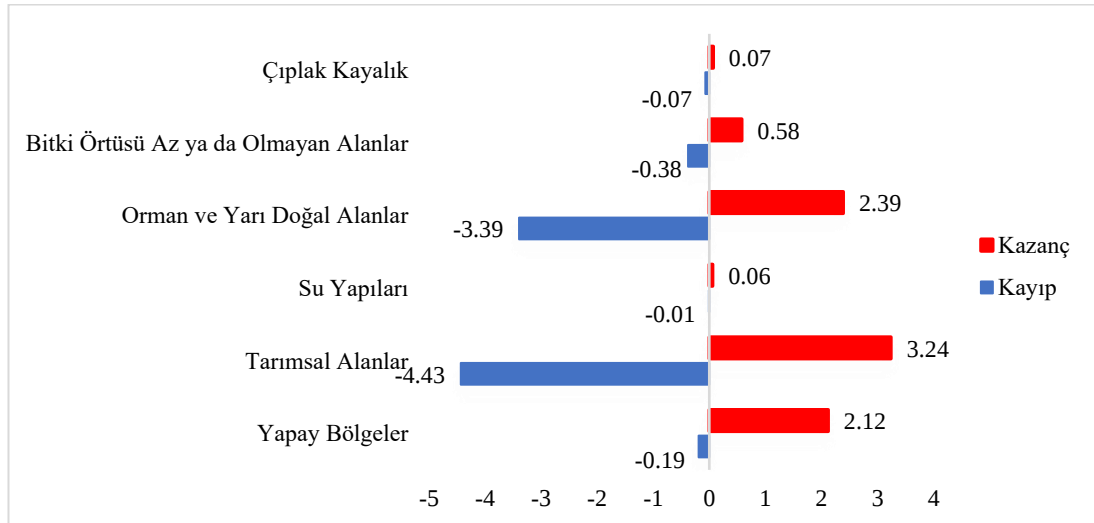
Bu değişim matrislerinin yanı sıra arazi kullanımındaki değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için net değişim grafikleri ve kazanç-kayıp grafikleri oluşturulmuştur. Tablo 3.10 ile gösterilen 1989 ve 1999 yılları arasında ki net değişim grafiğine baktığımızda 7148 ha ile yapay bölgelerdeki artışı net şekilde görebiliyoruz. Bu da daha önce yapılan değişim matrisini desteklemektedir. Su yapıları, çıplak kayalık ve bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar yine net değişim grafiğinde hektar olarak artış gösteren alanlardır. Net değişim grafiğinde en büyük alan kaybı -4395 ha' lık bir alanla tarımsal yapılar olurken bunu - 3675 ha' lık alan ile orman ve yarı doğal alanlar takip etmiştir.

Tablo 3.10: 1989-1999 yılları arası net değişimi (ha)



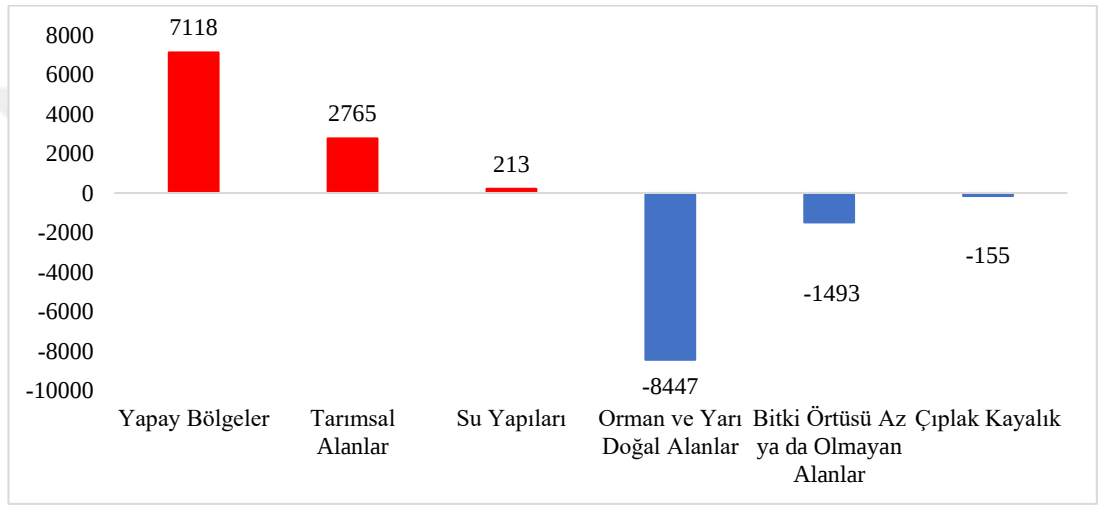
1989 ve 1999 yılları arasındaki kazanç ve kayıp grafiğine baktığımızda ise en büyük kazancın, alan yüzde cinsinden tarımsal alanlarda olduğunu, bunu orman ve yarı doğal alanlar ile yapay yapılar takip ettiği görülmektedir (Tablo 3.11). Burada önemli olan havza içindeki arazi kullanımı sınıflarının toplam hektar içindeki payıdır. Grafikte yine en büyük kaybın tarımsal alanlarda iken bunu ise orman ve yarı doğal alanlar takip ediyor, diğer sınıflarda ki kayıplar sıfırın altında olup çok önemli değildir.

Tablo 3.11: 1989-1999 yılları kazançlar ve kayıpları (Alan %)



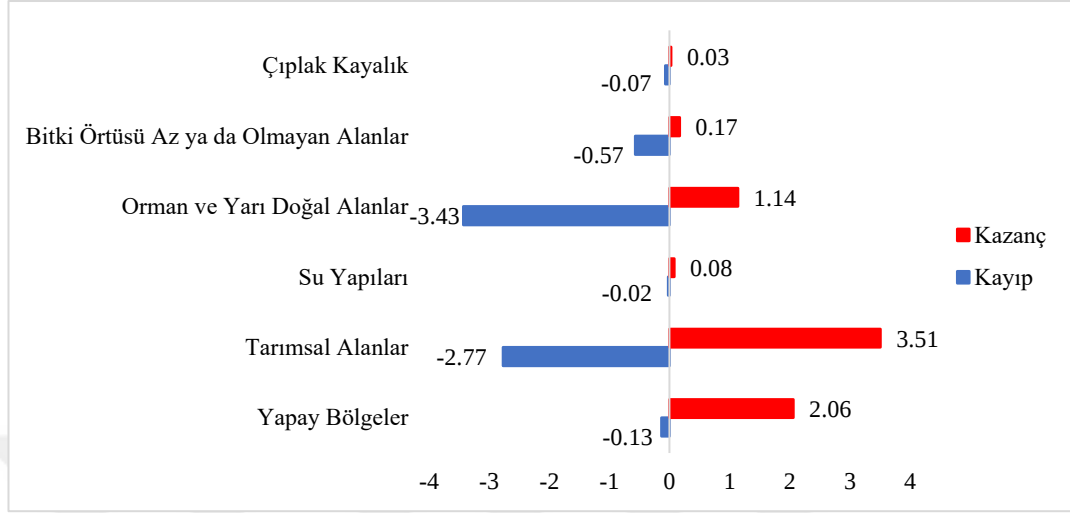
1999 ve 2009 yılları arasındaki net değişimine baktığımızda ise yine en büyük alan kazanımı 7118 hektar ile yapay bölgelerde yaşanmıştır (Tablo 3.12). Bunu artık havzadaki nüfus artışı ve yerleşmenin artması ile birlikte 2765 hektar ile tarımsal alanlar takip etmiştir. Alan kaybının en çok yaşandığı arazi kullanımı sınıfı ise -8447 ha’ lık bir alan ile orman ve yarı doğal alanlar olmuştur. Bitki örtüsü az ya olmayan alanlar ile çıplak kayalık alanlarda da yine azalış yönünde net bir değişim yaşanmıştır.

Tablo 3.12: 1999-2009 arası net değişim (ha)



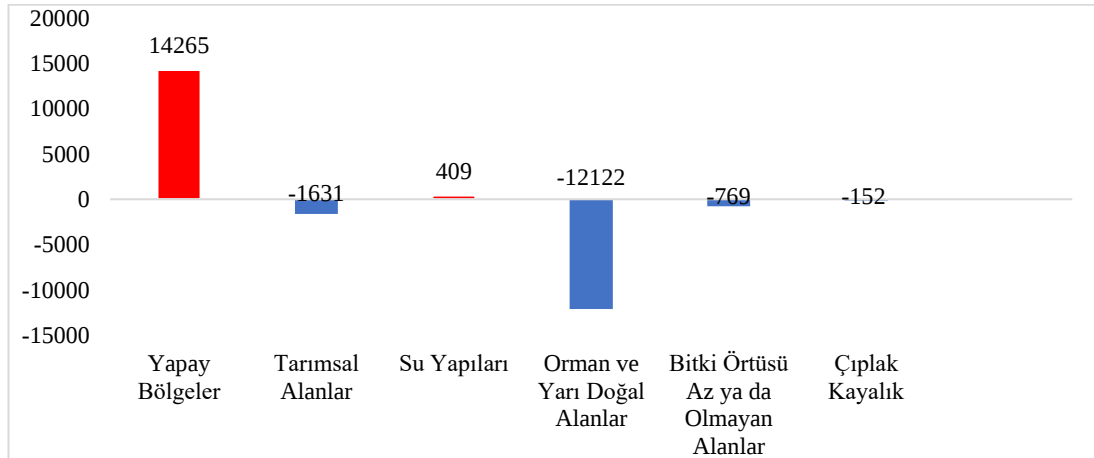
1999 ve 2009 yılları arasındaki alansal yüzde bazlı kazançlar ve kayıplar grafiği incelendiğinde ise en büyük kazancın tarımsal alanlarda yaşandığını görmekteyiz (Tablo 3.13). Bir önceki 1989-1999 periyodundaki istikrarlı alan kazanımı burada da devam etmektedir. Ancak orman ve yarı doğal alanlar kazanımı, bir önceki periyot kadar yüksek olmamıştır. Tarımsal alanların en yüksek yüzdedeki kazanımını yapay bölgeler takip etmiştir. Kayıplar incelendiğinde en çok alansal yüzde bazındaki kayıp orman ve yarı doğal alanlarda yaşanmıştır, bunu tarımsal alanlar takip etmiştir. Diğer sınıflardaki kayıplar sıfırın altındadır ve bu noktada önem arz etmemektedirler.

Tablo 3.13: 1999-2009 kazançlar ve kayıplar (Alan%)



1989 ve 2009 yılları arasındaki 20 yıllık periyoda net değişim grafiğinde görüldüğü üzere en büyük değişim 14265 hektar ile yapay bölgeler baştadır (Tablo 3.14). Bunu azalış doğrultusunda -12122 hektarlık bir alan ile orman ve yarı doğal alanlar takip etmektedir. Yine tarımsal alanlar da -1631 hektar ile azalış yönünde bir değişim göstermiştir. Su yapıları artış yönünde bir değişim gösterir iken bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar ile çıplak kayalık alanlardaki azalış yönündeki değişimler dikkat çekmez.

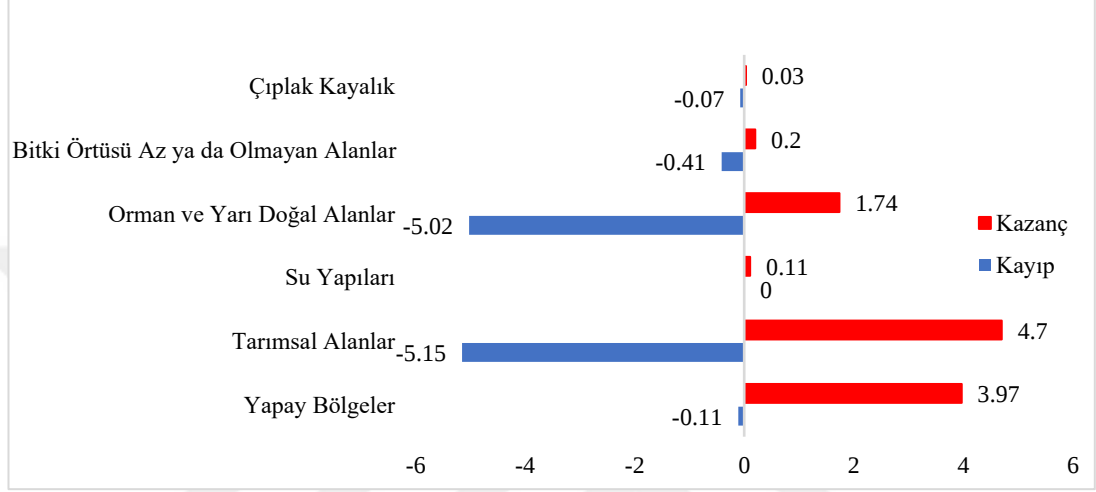
Tablo 3.14: 1989-2009 arası net değişim (ha)



1989 ve 2009 yılları arasındaki alansal kazançlar ve kayıpları yüzde olarak Tablo 3.15’de incelendiğinde ise, yine en büyük kazancın tarımsal alanlarda ve yapay bölgelerde olduğu dikkat çeker. Çalışma alanındaki en büyük kayıp yaşanan arazi

kullanım sınıfı ise tarımsal alanlar ve ardından orman ve yarı doğal alanlar olmuştur. Su yapıları, bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar ile çıplak kayalık alanlardaki kazanç ve kayıplar önemsizdir.

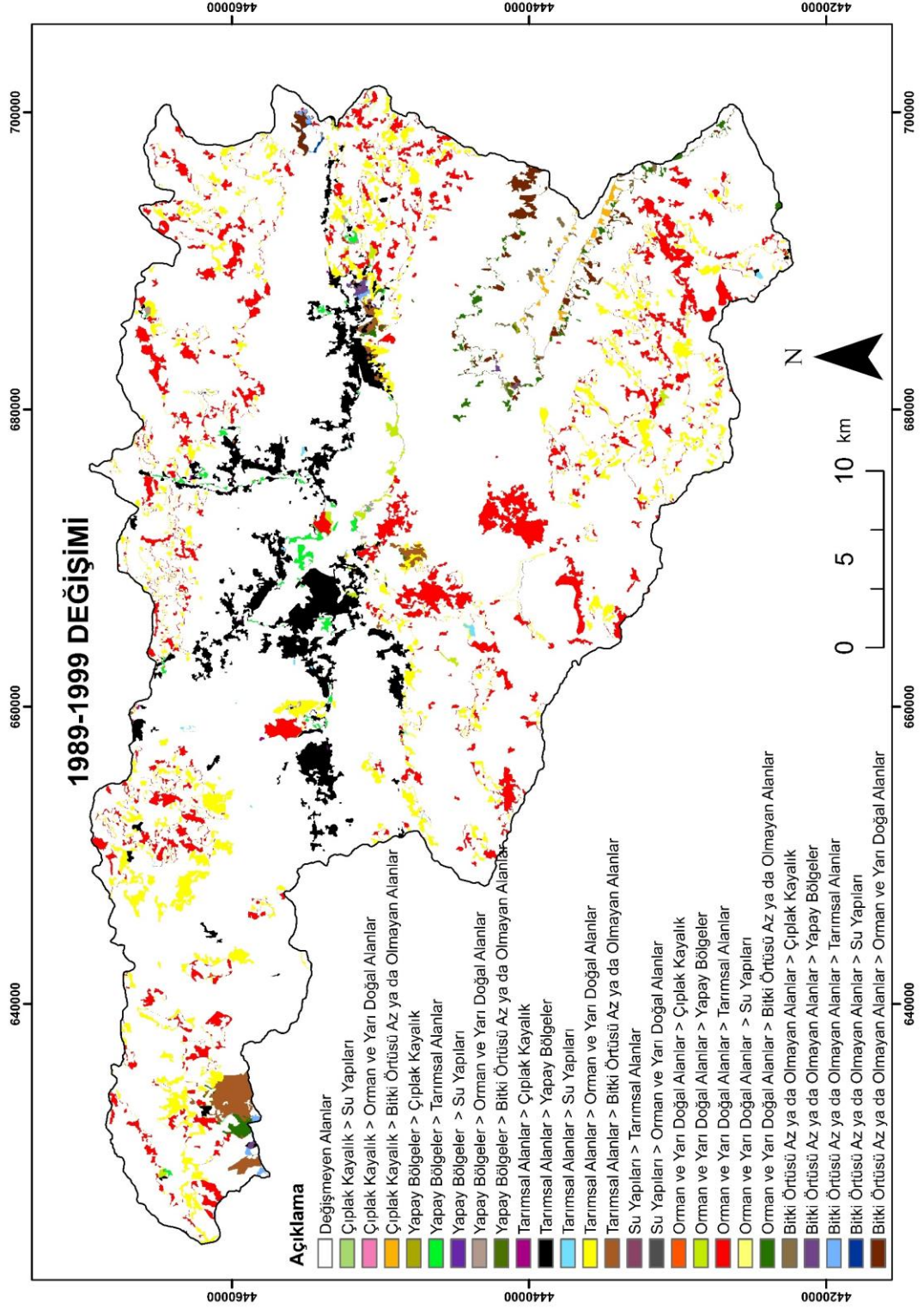
Tablo 3.15: 1989-2009 kazançlar ve kayıplar (Alan%)



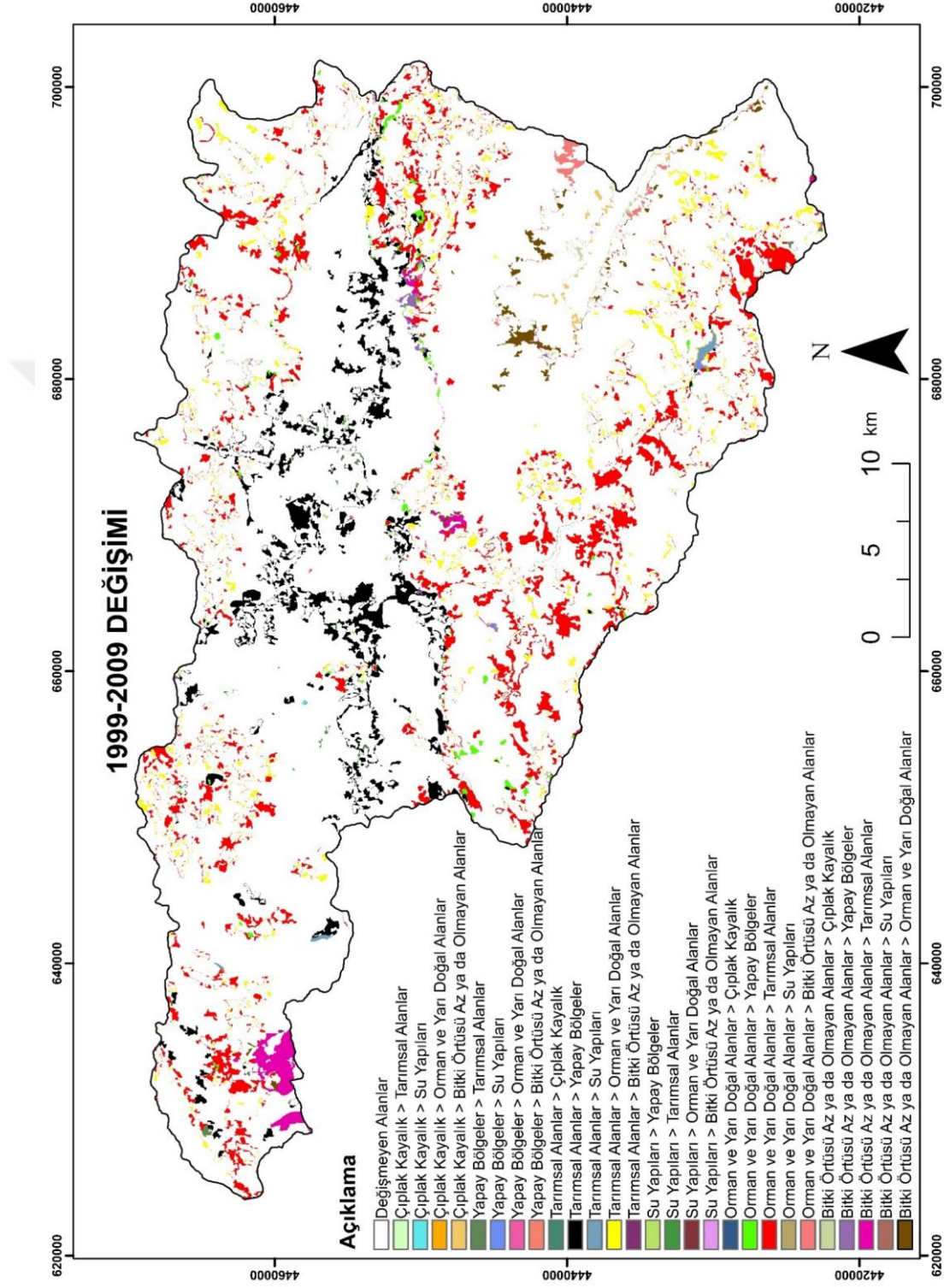
Şekil 3.11’de ise tüm bu değişim tablolarına ek olarak değişen ve değişmeyen sınıflar gösterilmiştir. İlk olarak 1989-1999 yılları arası değişim sunulmuştur. Burada birbirine dönüşen alanlar renkli gösterilirken değişmeyen alanlar ise beyaz renk ile gösterilmiştir. En büyük değişimler tarımsal alanlardan yapay yapılara ile orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara şeklinde olduğu dikkat çekmektedir. Havzanın hemen hemen her yerinde orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara geçiş görülmektedir.

Şekil 3.12’ de gösterilen 1999 yılından 2009 yılına değişim çıktısında ise, yine en çok değişen alanların havzanın orta kısmında yoğunlaşan tarımsal alanlardan yapay yapılara olan dönüşümdür. Diğer bir önemli değişim alanı ise havzanın kuzey ve güneydoğu kısmında yaygınlık gösteren orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara olan dönüşümdür. 27 tane değişim sınıfı bulunmaktadır.

Şekil 3.11: 1989-1999 Değişimi

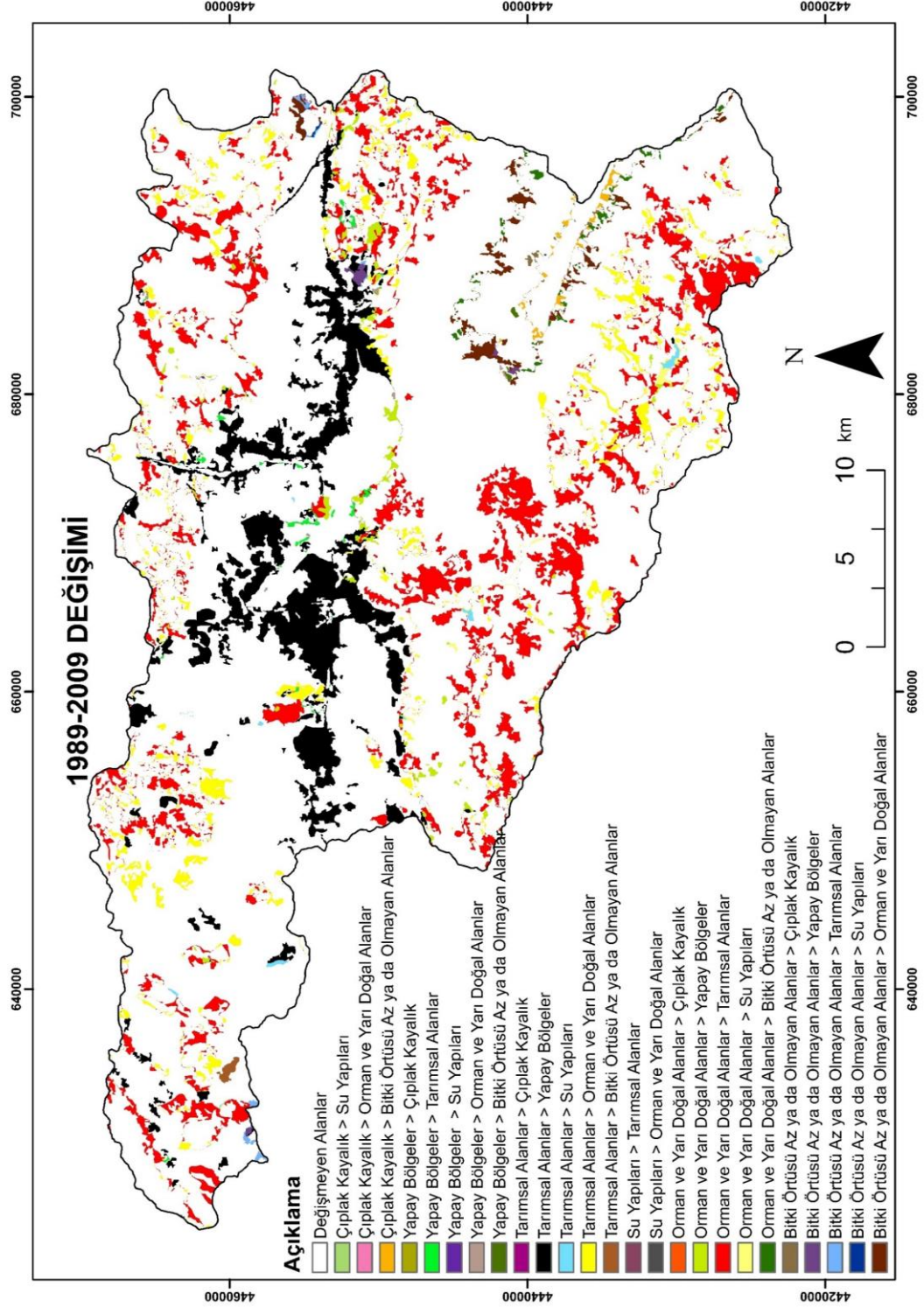


Şekil 3.12: 1999-2009 Değişimi



Şekil 3.13’de gösterilen 1989 yılından 2009 yılına olan değişim çıktısında 20 yıllık bir değişim gözlenmiştir. Daha önce yer alan değişim tablosu ve kazançlar-kayıplar grafiğinin özeti durumundadır. Havzadaki toplam değişim açıkça görülmektedir. 20 yıllık süreçte en büyük değişimin siyah renk ile gösterilen tarımsal alanlardan yapay yapılara olan sınıfıdır. Değişim havzanın orta kısmında dikkat çeker ve doğu-batı yönünde bir hat şeklinde uzanmıştır. Bir diğer önemli değişim ise kırmızı renk ile gösterilen, havzanın tamamında yaygınlık gösteren orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara olan değişimdir. Havzadaki en büyük hektarda dönüşüm tüm yıllar için, tarımsal alanlardan yapay bölgelere olan dönüşüm ile orman ve yarı doğal alanlardan tarımsal alanlara olan dönüşüm şeklindedir.

Şekil 3.13: 1989-2009 Değişimi



Tüm bu değişim matrisi, kazanç ve kayıplar dikkate alındığında 20 yıllık bir süre içinde havzanın aktifliği ve arazi kullanımındaki değişimler dikkat çeker. Verimli alanların kaybı ve aşırı nüfuslanma ile birlikte havza tehlike altındadır ve korunup sürdürülebilir bir politika izlenmesi önemlidir. Bu çalışmada farklı arazi kullanım senaryolarının yağış akış modelinde ortaya çıkaracak sonuçlarını incelerken, aslında bu kadar hareketli bir havzanın dün, bugün ve gelecek perspektifinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda arazi kullanım türlerinin birbirine dönüşüm ve değişimi detaylı anlatılmıştır. Bu çalışma ile Nilüfer çayı havza planlamasına ve bununla birlikte kullanılmak istendiği takdirde Bursa kent planlamasına katkısı olacaktır. Havza içinde yer alan sulak alanlar ve Uludağ gibi bir alanın potansiyeli ile birlikte korunması önem teşkil eden bir sahanın varlığı havzayı daha da değerli kılmaktadır. Nilüfer Çayı havzası şehir merkezinden geçmesi ve yakın çevresinde yerleşim birimlerinin yoğunluğu sebebi ile geleceğinin planlanması gereken bir havzadır. Sadece yerleşme açısından değil akarsu boyunca yer alan tarımsal alanların varlığı ve sulamaya katkısı da göz ardı edilemez.

1989'dan 2009'a kadar olan arazi kullanım değişim yüzdesi ve hektar cinsinden değerleri verilerek bir karşılaştırma imkanı sunmaktadır (Tablo 3.16). Tablo incelendiğinde, yapay bölgelerde 1989'dan beri düzenli bir artış yaşandığı dikkat çekmektedir. Yıllar arasındaki değişim %5,54' ü hiç aşmamıştır ve değişim istikrarlı olarak artış eğilimindedir. Yapay bölgelere dönüşen en belirgin sınıf tarımsal alanlardır. Özellikle yerleşme baskısı altında kalan Bursa ovası, 2049 modelinde büyük kayıplar yaşadığı belirlenmiştir. Tarımsal alanların yapay bölgelere dönüşmesine rağmen yüzdesel olarak %43-50 bandında değişim göstermeye devam etmiştir. 1989 tarımsal alanlara baktığımızda %45.42 olan oran, 2009 yılına baktığımızda ise ancak %49.01 ile belirmektedir. Bu sınıfta saha içindeki dağılışı değişmiş olmasına rağmen yüzde olarak ciddi kayıp yaşamamıştır (Tablo 3.16, 3.17). Bunda en büyük etki artan nüfus ve kentleşmenin çevrede yeni tarımsal alan ihtiyacını ortaya çıkarmasıdır. Orman ve yarı doğal alanlar ise havzada en çok değişim ve dönüşüme uğrayan alanlar olarak karşımıza çıkar. 1989 arazi kullanımında % 46.72 iken, 2009 arazi kullanımı projeksiyonuna baktığımızda ise %14.30'a kadar düşüş yaşanmıştır. Bu değişim üzerindeki en büyük baskı tarımsal alan kaybı ve yeni tarım

alanı ihtiyacıdır. Bu bağlamda sahada belirlenen sınıflar içerisinde en büyük değişimin yaşandığı alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Su yapılarına baktığımızda ise bu sınıf yüzdesel olarak 1989-2009 arası artış yaşamasına rağmen, 2009 itibari ile sabit kalmıştır. Bitki örtüsü az ya da olmayan alanlar ise 1989 -2049 arasında değişimin çok az yaşandığı sınıf olarak karşımıza çıkarken, değişim yüzdesi %3.39-3.50 arasında yaşanmıştır. Çıplak kayalık alan ise Uludağ zirve ve çevresinden oluştuğu için değişim çok az yaşanmıştır. 1989 arazi kullanımında %0.90 olan oran 2009 yılına geldiğimizde ise %0.82' dir ve 2009'dan beri bu oran değişmemiştir. Ancak Uludağ üzerinde yer alan oteller bölgesi yani yapay bölge olarak adlandırılan sınıf, 1989 yılından beri alansal olarak artış eğilimindedir (Fotoğraf 1 ve 2) . Mevcut potansiyeli sebebi ile kayak merkezinin bu yıllardaki değişimi 2029, 2049, 2079 ve 2099 yılları projeksiyonlarında bu büyüme açık bir şekilde görülmektedir. Bursa ovasında artan nüfus ve kentleşme ile birlikte değişen suret ise açıkça görülmektedir (Fotoğraf 3 ve 4)

Fotoğraf 1: 1990'lı yıllar Uludağ kayak merkezi



Kaynak: Doğaner, (1991)

Fotoğraf 2: Uludağ 2017 görüntüsü



Kaynak: bursahayat.com.tr/, (2017)

Fotoğraf 3: 1984 yılı Bursa ovası ve Uludağ etekleri



Kaynak: Sebah ve Joaillier 1894 yılı

Fotoğraf 4: Güncel Bursa ovası ve kent görünümü

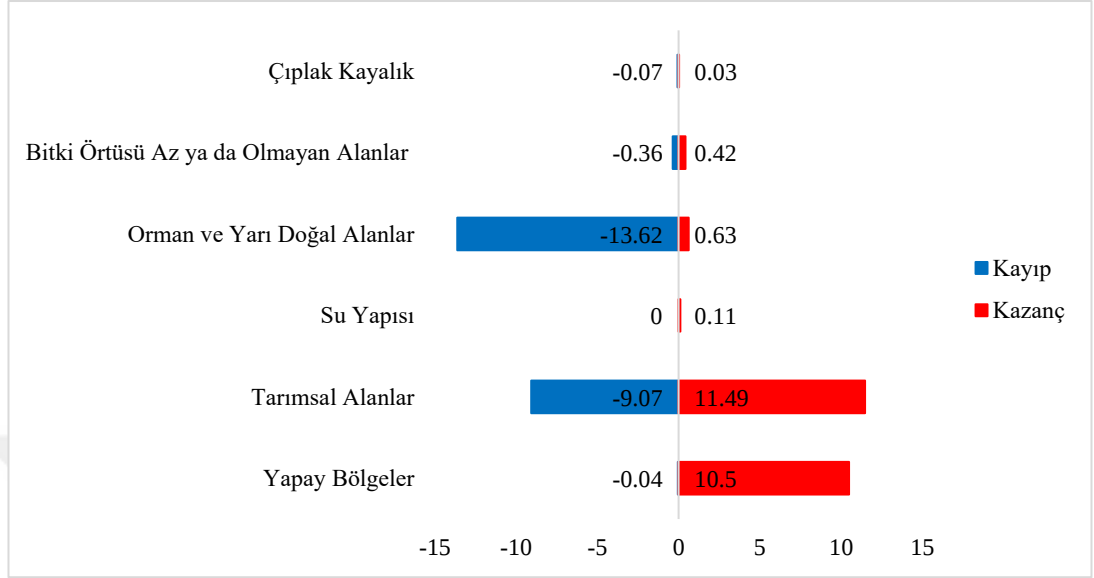


Kaynak: mapio.net/pic/p-24526831/, (2021)

Tablo 3.16:1989-2099 arası arazi kullanım sınıflarının hektar ve yüzde olarak değişimi

Arazi Kullanımı	1989 (hektar- yüzde)	1999 (hektar- yüzde)	2009 (hektar- yüzde)	2019 (hektar- yüzde)	2029 (hektar- yüzde)	2049 (hektar- yüzde)	2070 (hektar- yüzde)	2099 (hektar- yüzde)
Yapay Bölgeler	6692 (%3.37)	13834 (%6.97)	20951 (%10.55)	28079 (%14.04)	34330 (%17.29)	45334 (%22.83)	54528 (%27.46)	63575 (%32.02)
Tarımsal Alanlar	90181 (%45.42)	85799 (%43.21)	88563 (%44.61)	92907 (%46.79)	95966 (%48.34)	99204 (%49.97)	99679 (%50.20)	97316 (%49.01)
Su Yapısı	397 (%0.20)	592 (%0.30)	806 (%0.41)	806 (%0.41)	806 (%0.41)	807 (%0.41)	807 (%0.41)	807 (%0.41)
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	92756 (%46.72)	89079 (%44.87)	80631 (%40.61)	68704 (%34.60)	59060 (%29.75)	44617 (%22.47)	34950 (%17.60)	28385 (%14.30)
Bitki Örtüsü Az ya da Olmayan Alanlar	6739 (%3.39)	7461 (%3.76)	5968 (%3.01)	6418 (%3.23)	6751 (%3.40)	6953 (%3.50)	6953 (%3.50)	6834 (%3.44)
Çıplak Kayalık	1780 (%0.90)	1783 (%0.90)	1630 (%0.82)	1630 (%0.82)	1630 (%0.82)	1630 (%0.82)	1630 (%0.82)	1630 (%0.82)
Toplam	198545	198548	198549	198544	198543	198545	198547	198547

Tablo 3.17: 1989-2049 arası kazanç ve kayıp tablosu (Alan %)

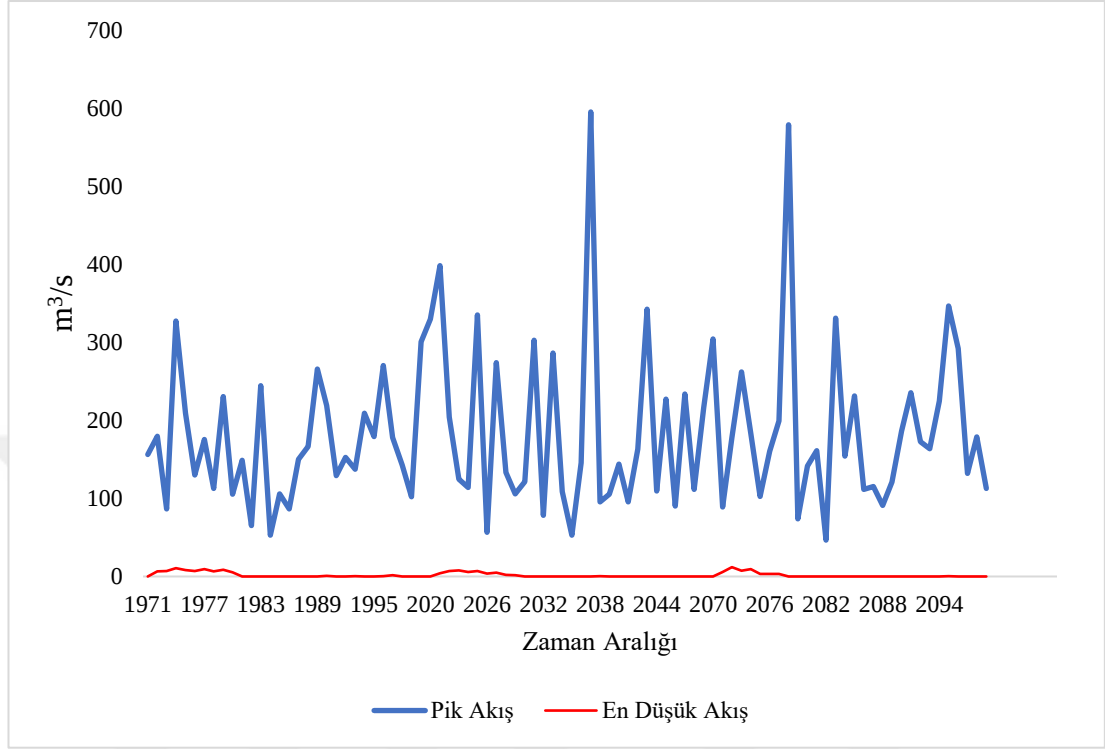


3.3. Arazi Kullanımı Modeli ve Yağış Akış İlişkisi

Daha önce bahsedilen Akbaş (2018)' de tek bir sabit arazi kullanımı üzerinden gelecek yağış akış hesaplanmıştır; ancak bu durum bizi yanıltmaktadır. Çünkü arazi kullanımı sabit bir parametre olamaz, belirlenen her dönem için gelecek arazi kullanım simülasyonu SWAT modeline eklenmelidir. Bu çalışmada 3 senaryo kurulmuştur ve ilk senaryoda 2009 arazi kullanımı kullanılarak 1971-2000 referans yıl olan önce 2020-2049 yakın gelecek (YG) ardından 2070-2099 olan uzak gelecek (UG) için yağış-akış modeli üretilmiştir. İkinci senaryoda ise 2029 arazi kullanımı kullanılarak 2020-2049 YG ve 2070-2099 UG için model çalıştırılmıştır. Üçüncü senaryoda ise artık sadece 2070 arazi kullanımı kullanılarak 2070-2099 UG yağış-akış modeli çalıştırılmıştır.

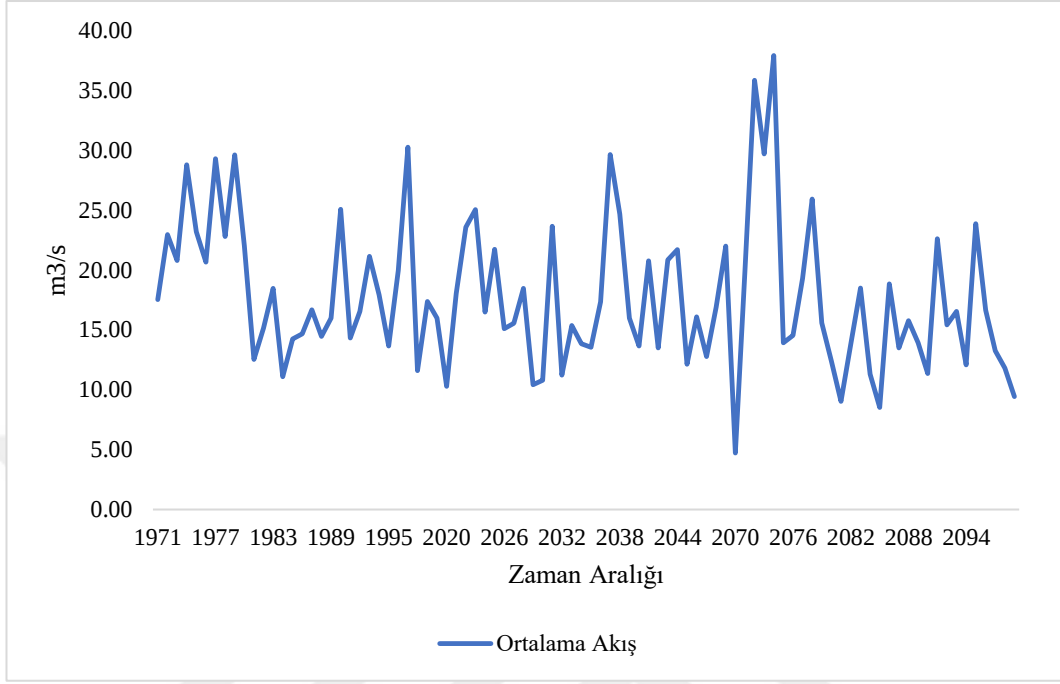
Çıktı verileri arasında özellikle pik akış, ortalama akış ve düşük akış değerleri, dönemsel anlamda incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Yine sel ve taşkın açısından önemli bir değer olan yüzeysel akışı dönemsel olarak ve farklı arazi kullanım senaryolarına göre karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada aylık pik değerlerinden yıllık pik değerler elde edilmiştir. İlk senaryo olan 2009 arazi kullanımı kullanılarak üretilen 1970-2000, 2029-2049 ve 2070-2099 pik akışlarına baktığımızda ise en yüksek değer 595.4 m³/s ile 2037 yılında meydana geldiği görülmüştür. 2021 yılına kadar pik değerlerin 400 m³/s'ye kadar ulaşmış olsada bu tarihten sonra pik değerlerin sayısında ve değerindeki artışlar dikkat çekmektedir. Pik akış çıktıları incelendiğinde en yüksek değeri gösteren 2037'de Eylül ayında, 2078 yılında ise Ekim ayında yaşanmıştır. Düşük akışlara bakıldığında ise 1971-2099 dönemi boyunca 60 tane 0 m³/s gözlenmiştir. 1983-2000 döneminde tamamen en düşük akış 0 m³/s iken bu değer 2026-2070 ile 2076-2099 yılları arasında da görülmüştür (Şekil 3.14).

Şekil 3.14: 1971- 2099 yılları arası pik akış ve düşük akış



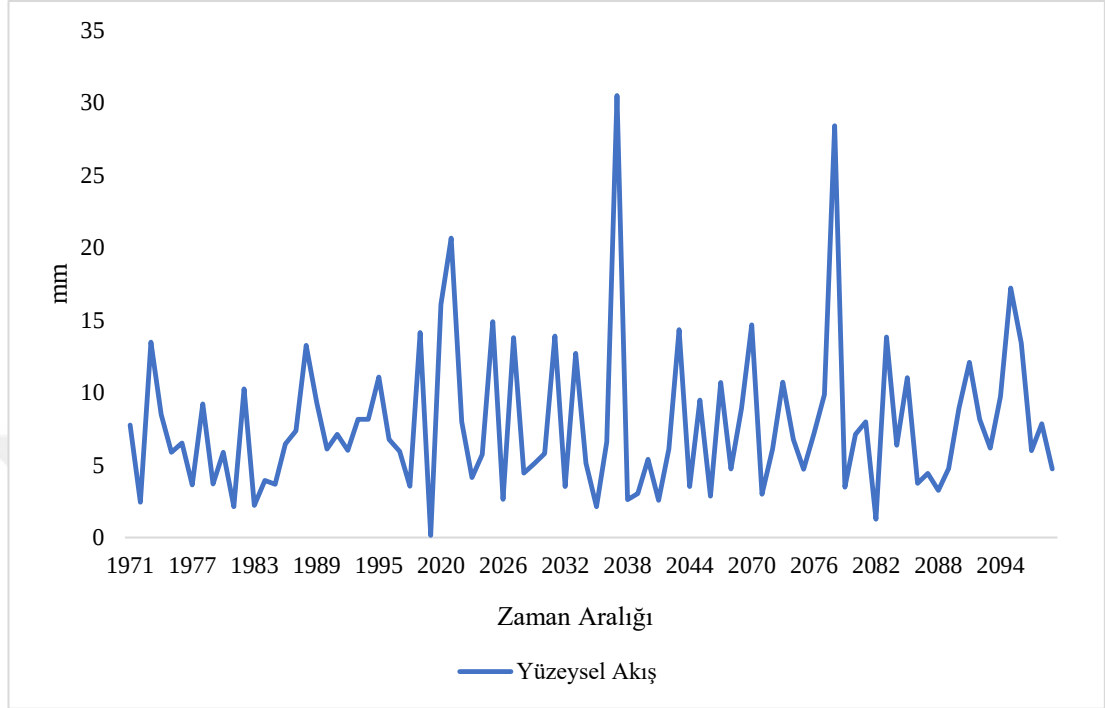
Ortalama akış değerleri ise 40 m³/s' ye kadar ulaşmıştır. Burada dikkat çeken bir özellik 2031 yılına kadar ortalama akış değerleri 11-30 m³/s arasında değişirken, 2070 yılında ortalama akış 4.72 m³/s ile en düşük seviye ulaşmış, ardından 1972 yılında 35 m³/s 1974 yılında ise 38 m³/s'ye kadar çıkmıştır. 1978 sonrası ise ortalama akış değerlerinin hızla düşüş yaşadığı tespit edilmiştir (Şekil 3.15) .

Şekil 3.15: 1971- 2099 yılları arası ortalama akış



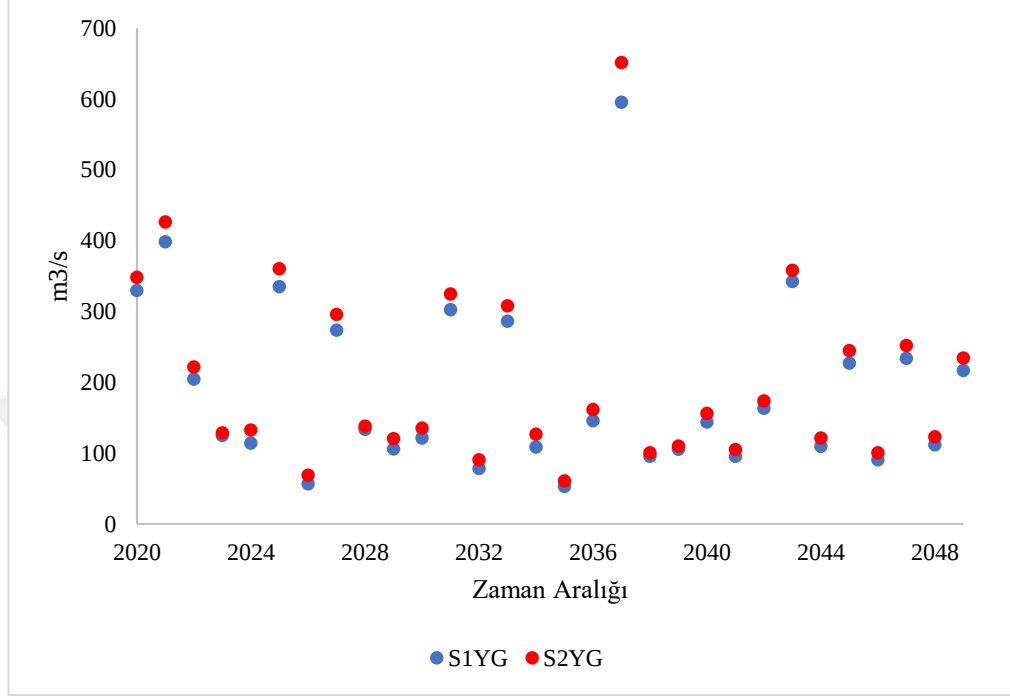
2009 yılı arazi kullanımı kullanılarak elde edilen modeldeki sonuçlardan biri olan yüzeysel akışın durumuna bakıldığında; 1971-2099 dönemi boyunca yüzeysel akış havzada özellikle pik akışların yaşandığı 2037 ve 2078 yılları arasında en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 3.16). 1999 yılına kadar en fazla 14 mm olan yüzeysel akış 2000 yılında hızlı bir düşüş yaşamıştır. 2021 yılında 20 mm'ye ulaşmış ve artık yüzeysel akışın yıllar arasındaki değer farkı yükselmiştir. Düzenli artış ve azalışlar bozulmuş, bu durumdan da anlaşılacağı üzere ekstrem yağışların artışıyla bağlantılı olarak bu değişimler gözlenmiştir. En yüksek değerdeki yüzeysel akış 35 mm olup 2037 yılında yaşanmıştır, bunu 2078 yılındaki 28 mm' lik yüzeysel akış takip etmiştir.

Şekil 3.16: 1971-2099 yılları arasındaki yüzeysel akış



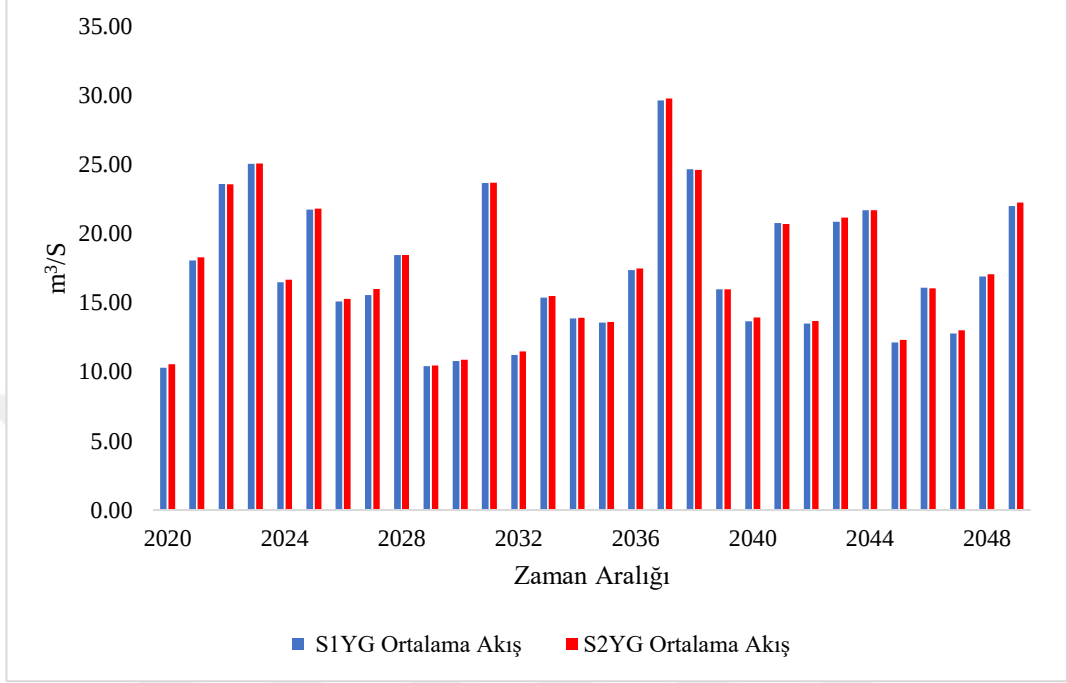
Senaryo 2’de ise kullanılan arazi kullanımı 2029 tarihli olup, değişen arazi kullanımı ile birlikte önce 2020-2049 YG ile 2070-2099 UG dönemi incelenmiştir ve 2009 yılı arazi kullanımı kullanılarak yapılan model ile sonuçlar kıyaslanmıştır (Şekil 3.17). Bu grafikte 2009 yılı arazi kullanımı kullanılarak üretilen S1YG senaryosundaki pik akışlar ile 2029 yılı arazi kullanımı kullanılarak üretilen S2YG senaryosundaki pik akışlar arasında değer farkları gözlenmiştir. Pik akış dönemleri aynı olsa da değerler değişmiştir. Bu fark en fazla $56.2 \text{ m}^3/\text{s}$, en düşük fark $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ’dir. Pik akış değerlerin yaşandığı ay değişmiyor ancak değerler arasında farklar gözlenmektedir.

Şekil 3.17: Senaryo 1 ve 2'nin 2020-2049 YG döneminin pik akışların karşılaştırması

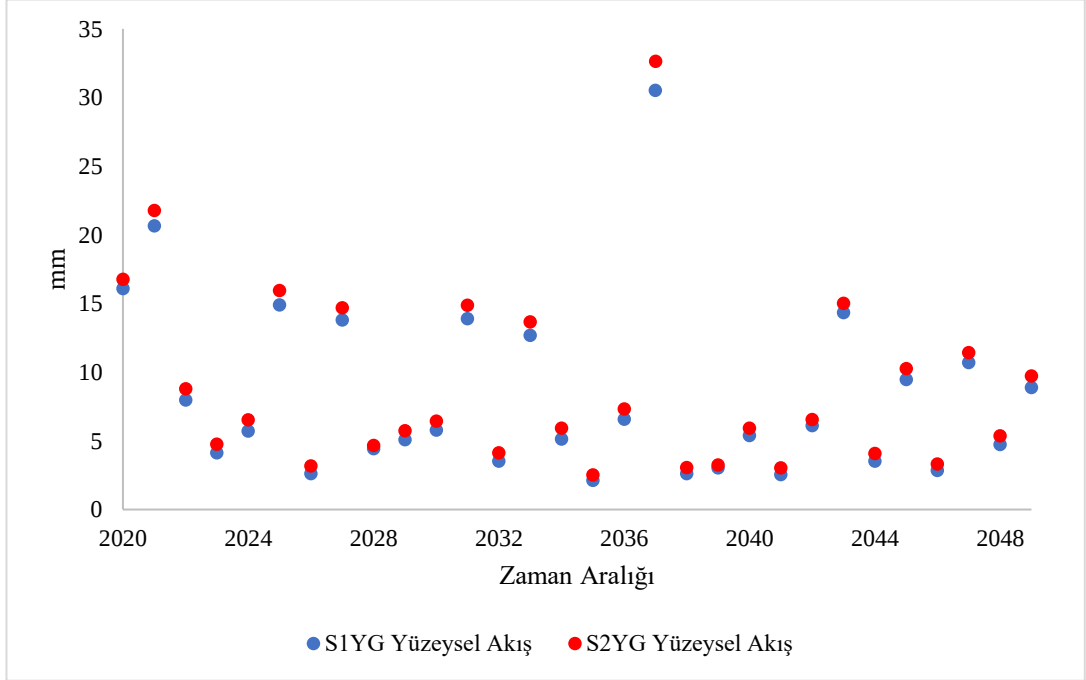


Senaryo 2'deki ortalama akışa bakıldığında ise tüm yıllar birbirine yakın olup fark $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ' ye dahi ulaşmamıştır (Şekil 3.18). Dönem içindeki aylık düşük akış değerlerine baktığımız zaman ise dönem içinde 45 defa $0 \text{ m}^3/\text{s}$ görülmüştür. Bu değer Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları içinde tekrarlanmıştır. Yüzeysel akış değerlendirildiğinde ise farklı kullanılan iki arazi kullanım projeksiyonuna bağlı olarak değerler değişmiştir. Bu değişim artış yönünde olmuş olsa da aradaki fark en fazla 2037 yılında 2.35 mm 'dir (Şekil 3.19).

Şekil 3.18: Senaryo 1 ve 2'nin 2020-2049 YG döneminin ortalama akışların karşılaştırması

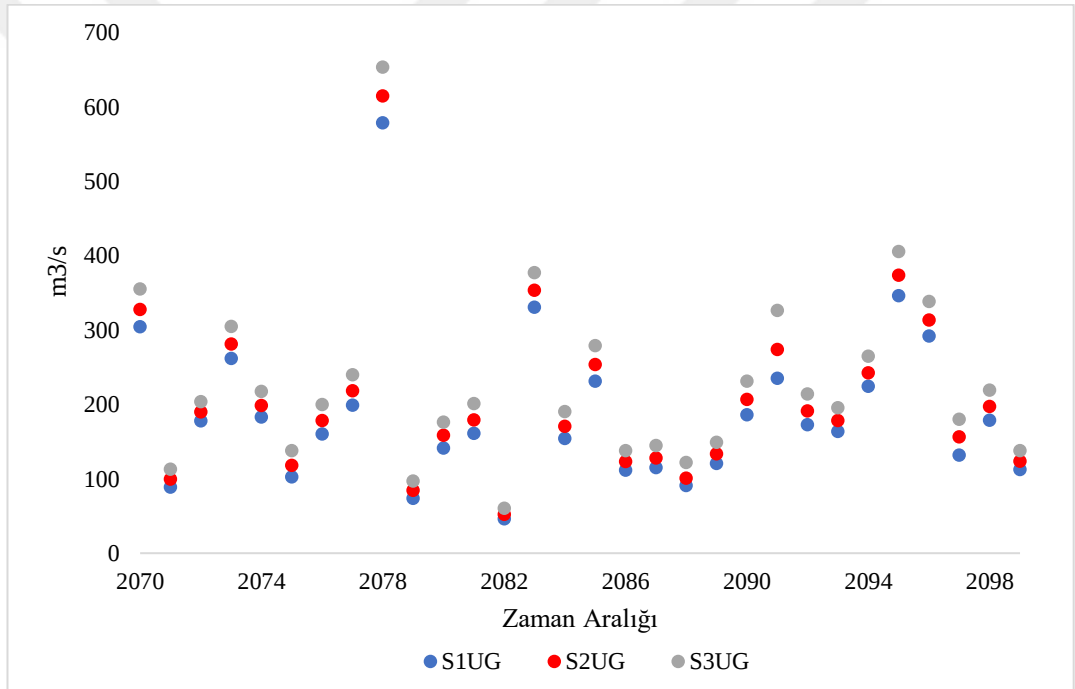


Şekil 3.19: Senaryo 1 ve 2'nin 2020-2049 YG döneminin yüzeysel akışın karşılaştırması



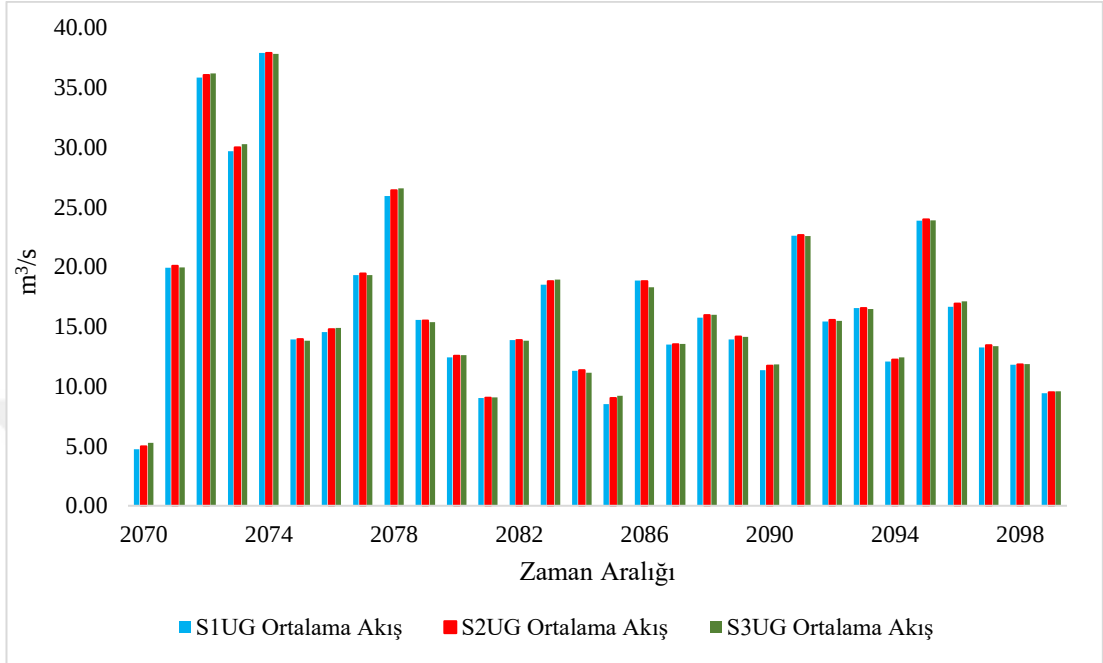
Senaryo 3'te 2070 arazi kullanımı kullanılarak 2070-2099 yıllarını kapsayan S3UG elde edilmiştir ve üç senaryonun da 2070- 2099 dönemindeki pik akışları kıyaslanmıştır (Şekil 3.20). Grafik incelendiğinde bu üç dönemde de pik akışların trendleri aynı olsa da değerler değişmektedir. En büyük fark 91 m³/s, en küçük fark 13.86 m³/s iken ortalama fark ise 39.93 m³/s olmuştur. Bu üç senaryodaki ortalama akışlar kıyaslandığında, değerler birbirine çok yakın olup fark yine 1 m³/s' ye dahi ulaşmamıştır (Şekil 3.21) .

Şekil 3.20: Senaryo 1, 2 ve 3' ün 2070-2099 UG döneminin pik akışların karşılaştırması

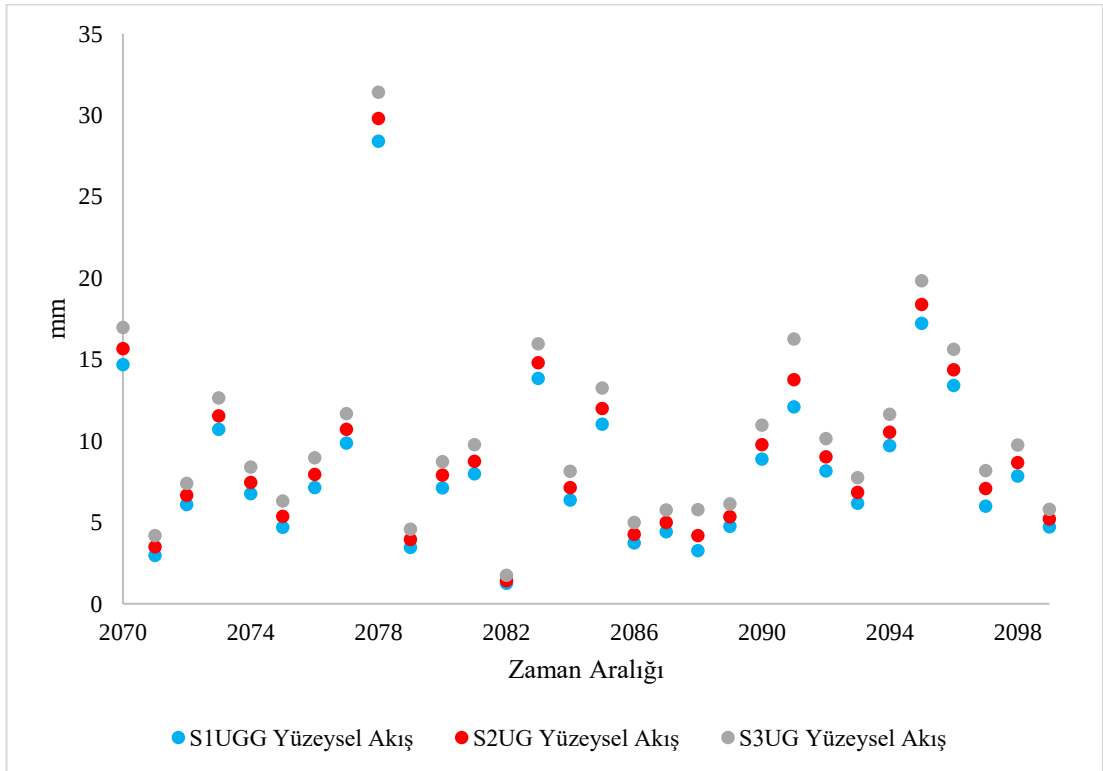


Üretilen üç senaryonun sonucunda elde edilen yüzeysel akışlar kıyaslandığında, pik akışlardaki farklar kadar değişimler yaşanmamıştır. En yüksek fark 2091 yılında 4.17 mm ile olduğu ortaya konmuştur (Şekil 3.22).

Şekil 3.21: Senaryo 1, 2 ve 3' ün 2070-2099 UG döneminin ortalama akışların karşılaştırması

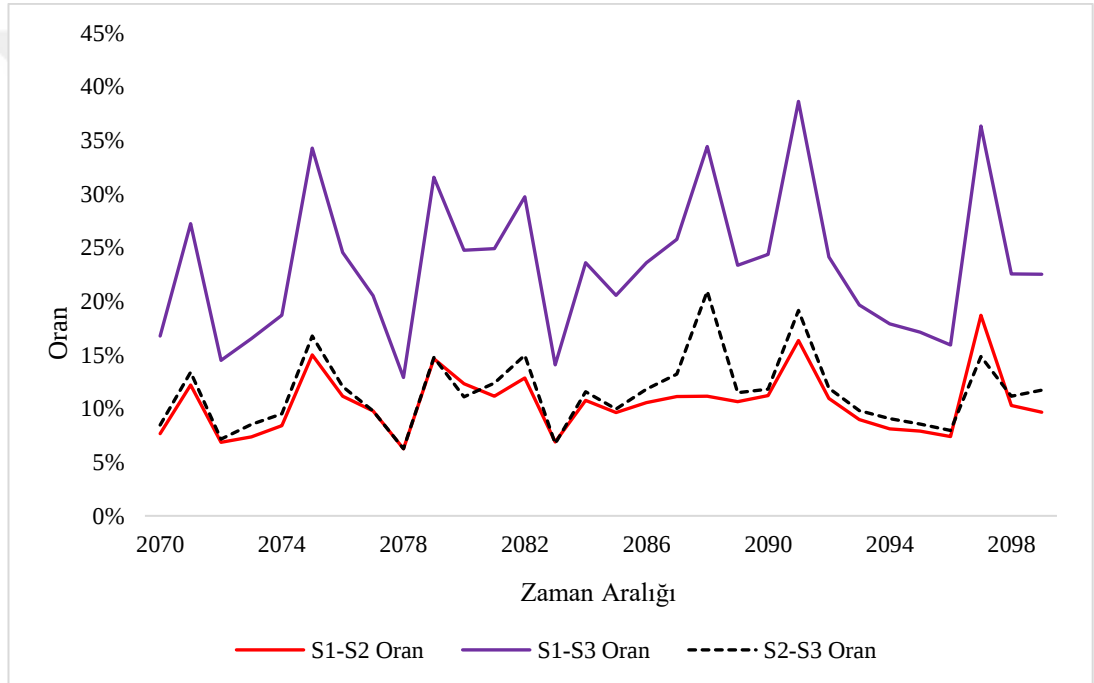


Şekil 3.22: Senaryo 1, 2 ve 3' ün 2070-2099 UG döneminin yüzeysel akış karşılaştırması.



Aşağıda ki grafikte ise bu üç senaryoda ki dönemlerin birbirlerine oranlarına yer verilmiştir (Şekil 3.23). Oransal açıdan bakıldığı zaman 3 senaryoda; 2070 arazi kullanımı kullanılarak elde edilen senaryo 3'ün pik akış değerlerinin oranının, 2009 arazi kullanımı kullanılarak üretilen senaryo 1'in pik akış değerlerine oranı %39 ile en çok oransal farkın olduğu 2091 yılıdır. Havzada en büyük değer farkları Senaryo 1 kullanılarak elde edilen 2070-2099 dönemi pik akış değerleri ile Senaryo 2 kullanılarak elde edilen 2070-2099 dönemi pik akışlarıdır.

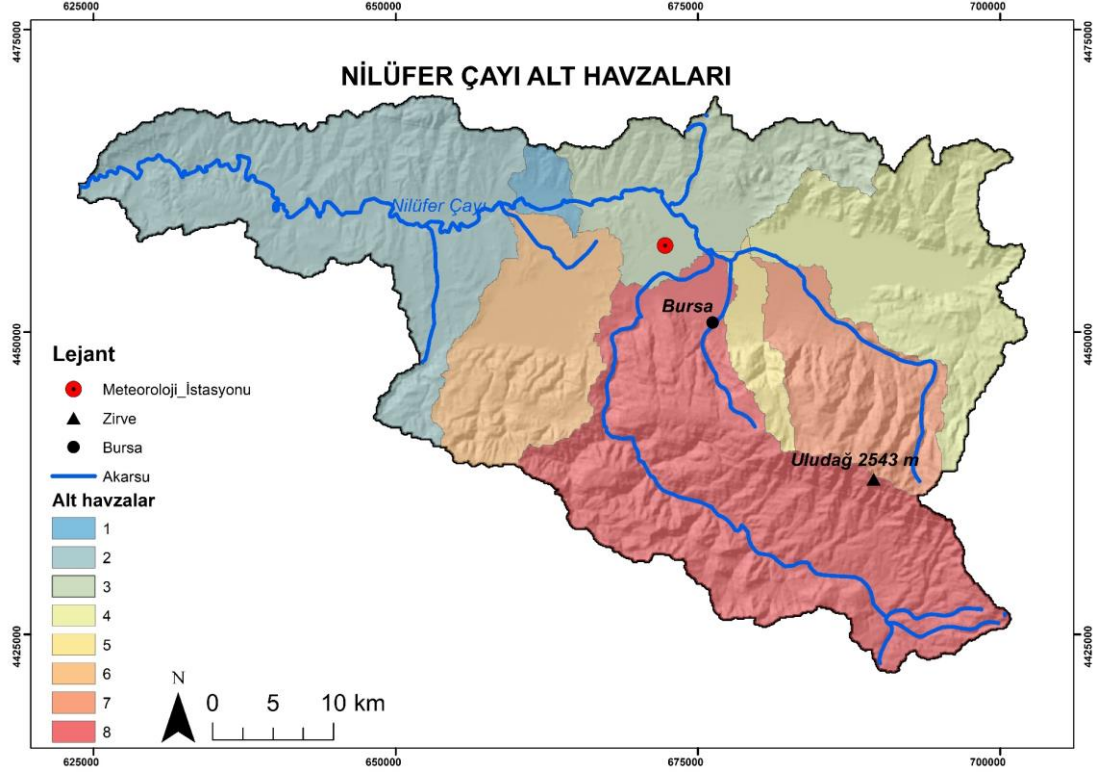
Şekil 3.23: 3 senaryodaki UG pik akış değerlerinin oranı



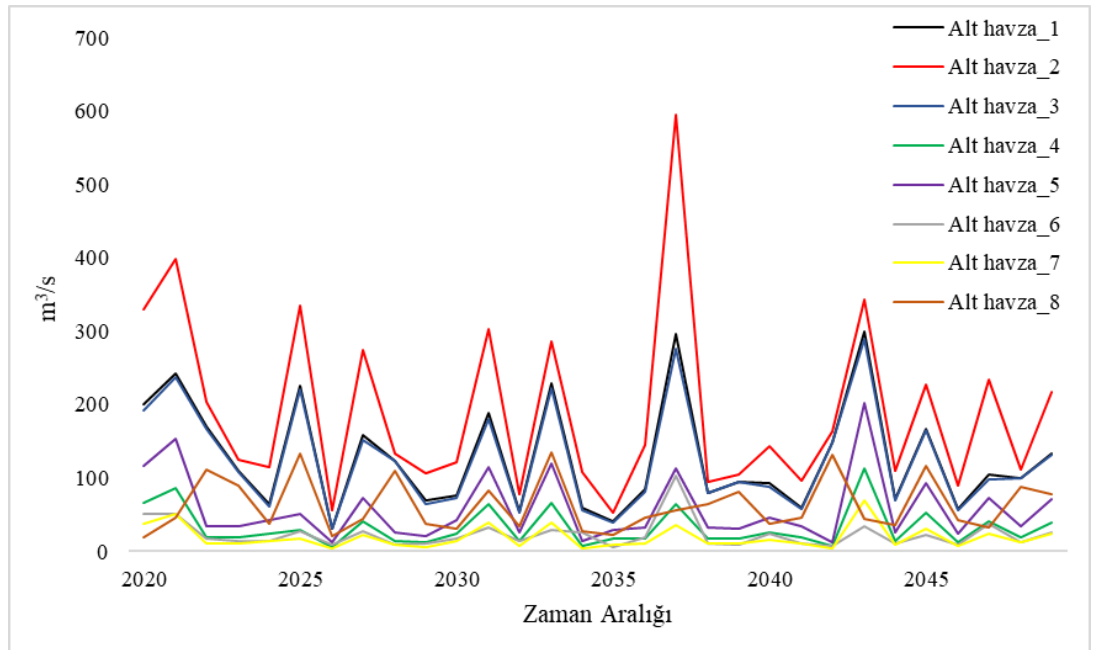
Nilüfer çayı havzası 8 alt havzaya ayrılmıştır (Şekil 3.24). Bu ayırım akarsuyun çıkışına ve akım-gözlem istasyonunun olduğu yere nokta atarak SWAT modellemesiyle belirlenmiştir. Alt havza bazında pik değerlerde incelenmiştir. Senaryo 1 olarak adlandırılan 2009 arazi kullanımı üretilerek oluşturulan YG ve UG dönemine ait alt havzaların ayrı ayrı pik akışlarına bakılmıştır. Alt havza 2 çıkış noktası olduğu için en yüksek değerler orada görülmüştür. Diğer alt havzalardan özellikle 4, 6 ve 7 numaralı havzalarda en düşük değerler dikkat çeker. Bu havzalar daha çok orman ve yarı doğal alanların geniş yer tuttuğu yerlerdir. YG döneminde pik akışlar daha inişli çıkışlı iken,

UG döneminde bu pik akışlar daha yumuşak geçişlerle ardalandığı görülmektedir (Şekil 3.25 ve 3.26).

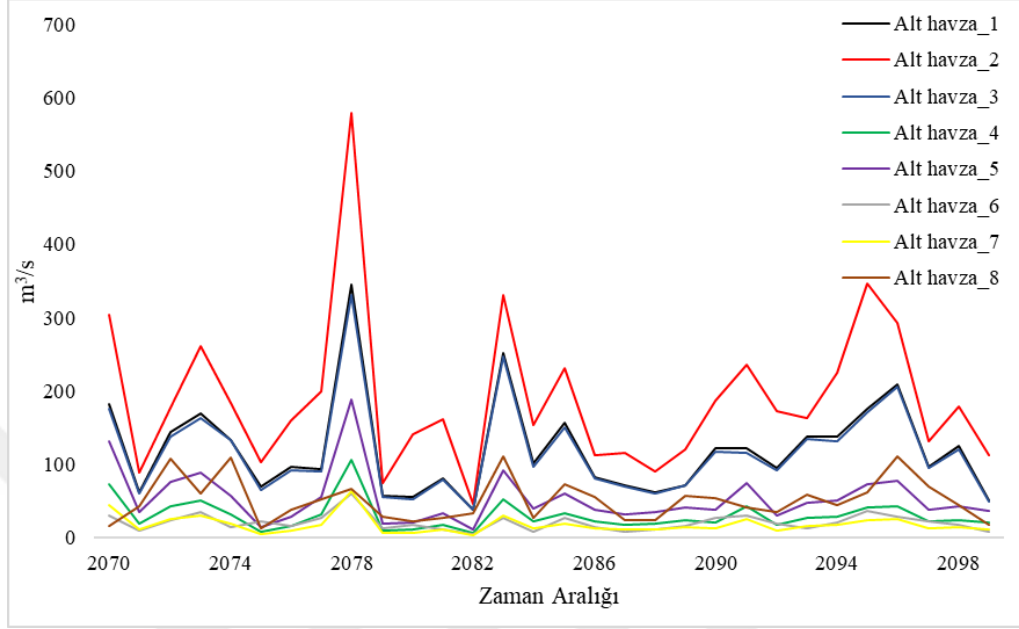
Şekil 3.24: Nilüfer Çayı alt havzaları



Şekil 3.25: Senaryo 1'de ki YG dönemi alt havzaların pik akışları

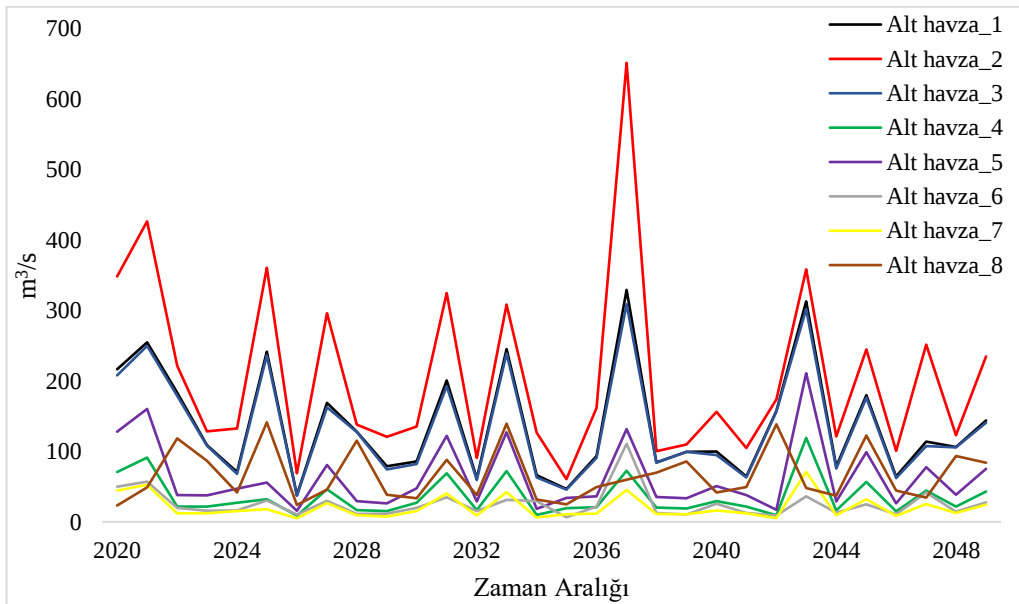


Şekil 3.26: Senaryo 1’de ki UG dönemi alt havzaların pik akışları



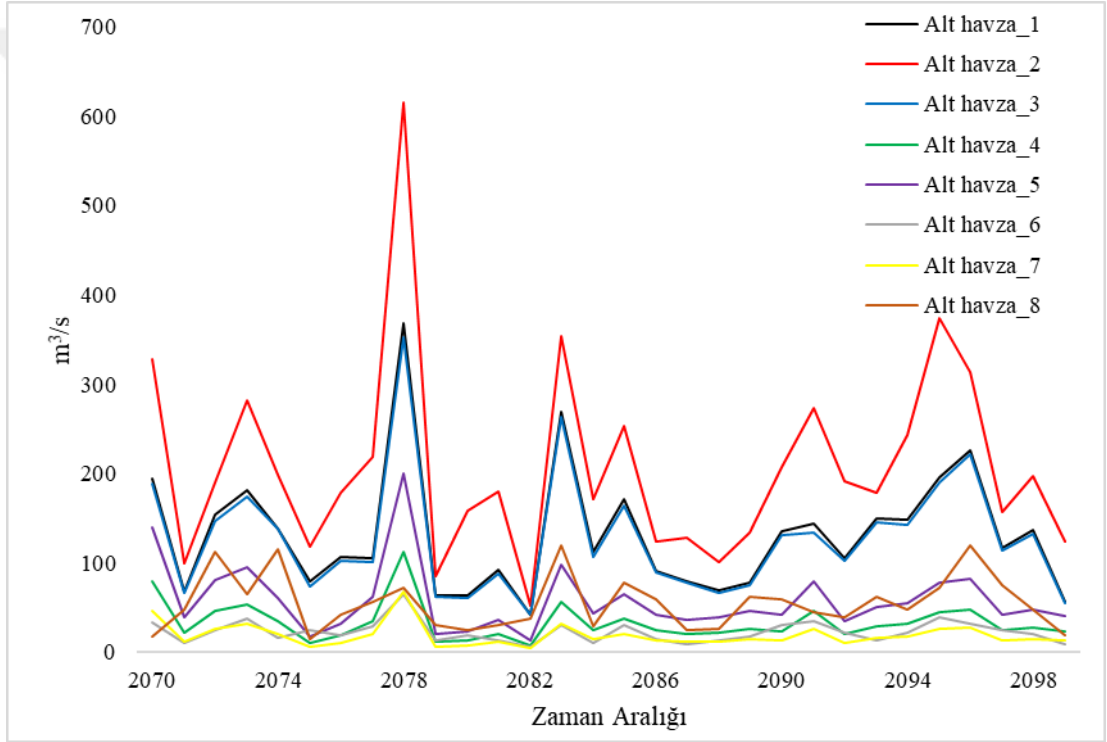
Senaryo 2 olarak adlandırılan 2029 arazi kullanımı kullanılarak üretilen pik akışların alt havzalara dağılışını incelediğimizde ise; yine yüksek ve düşük değerlerin görüldüğü alt havzalar aynıdır. Ancak bundan farklı olarak pik akışlarda değer farkları görülmektedir. Senaryo 1’de üretilen alt havza 3 için 2037 yılı pik akışı 276 m³/s iken, bu değer senaryo 2’de 309 m³/s’dir (Şekil 3.27).

Şekil 3.27: Senaryo 2’de ki YG dönemi alt havzaların pik akışları

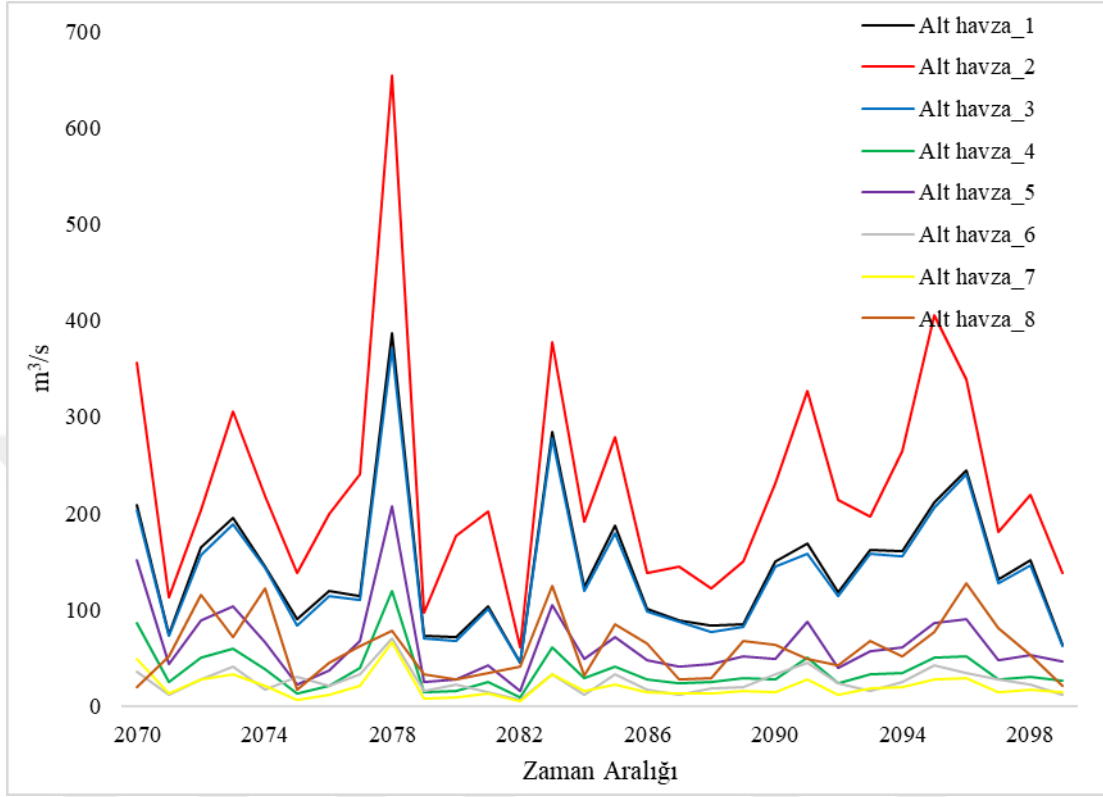


Her iki senaryoda da YG dönemi için; alt havzalarda ki değerler değişse de, en yüksek ve düşük değerlerin alt havza içinde ki dağılımları değişmemiştir. Aynı durum senaryo 2’ de ki UG dönemi alt havzaların pik akış değerleri içinde geçerlidir (Şekil 3.28). Senaryo 3 olarak adlandırılan 2079 arazi kullanımı kullanılarak üretilen UG dönemi pik akış değerlerine bakıldığında ise ilk iki senaryodaki gibi en düşük ve yüksek değerlerin yaşandığı havza aynı olsa da yine değerler değişmiştir. Bu değişim hep artış yönünde olmuştur (Şekil 3.29).

Şekil 3.28: Senaryo 2’de ki UG dönemi alt havzaların pik akışları



Şekil 3.29: Senaryo 3'de ki UG dönemi alt havzaların pik akışları



Alt havzaların 2009 yılı arazi kullanımı kullanılarak elde edilen pik akışları ile 2029 arazi kullanımı kullanılarak elde edilen pik akış sonuçları karşılaştırılmıştır ve tüm alt havzalarda artış yaşandığı dikkat çekmektedir. Bir diğer dikkat çeken şey ise 4, 6, 7, 8 alt havzalarındaki pik akış değerlerinin diğer alt havzalardan çok daha düşük olduğu görülmüştür. Her alt havza için yapılan iki farklı senaryo kıyaslamasında değerler değişmiş olsa da yine trend bozulmamıştır (Şekil 3.30). Alt havza 1'de iki senaryo arasındaki fark 2037 yılında 33.6 m³/s ile en büyük fark yaşanmıştır. Alt havza 8'de ise diğer havzalardaki artış eğilimindeki pik akış bu sefer düşüş yaşayarak -2.45 m³/s olarak 2023 yılında yaşanmıştır (Şekil 3.30). 3 senaryonun da alt havzaların UG dönemi pik akış karşılaştırması da yapılmıştır (Şekil 3.31). Burada yine tüm alt havzalarda pik akış artış eğilimindedir en fazla artış yine alt havza 1'de 2091 yılında 46.7 m³/s ile elde edilmiştir. Bunu alt havza 3 yine 2091 yılında 41.7 m³/s'lik farkla takip etmiştir. Tüm senaryolarda değerler değişmekte ancak trend aynıdır (Şekil 3.31).

Şekil 3.30: Senaryo 1 ve 2'ye göre YG dönemi alt havzaların pik akışların karşılaştırılması



Şekil 3.31: Senaryo 1, 2 ve 3'e göre UG dönemi alt havzaların akışların karşılaştırılması



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir akarsu havzasındaki arazi kullanımı bölgesel nüfus, iklim değişiklikleri ve yerel politikalarındaki gelişmelerle dinamik olarak değişmektedir. Arazi kullanımındaki değişikliklerde bölgesel veya küresel çevresel değişikliklere katkıda bulunan bir faktördür. Bu nedenle, arazi kullanımına yönelik yüzey akışı hem bölgesel su akış koşullarını hem de mevcut su kaynakları miktarını değiştirir. Bu çalışmanın, gelecekteki sürdürülebilir kalkınma stratejilerini tasarlamak için faydalı olan bazı bilgiler sağlamaktadır. Son 31 yılda, kentleşme ve tarım nedeniyle arazi örtüsündeki muazzam değişiklikler Nilüfer Çayı havzasının yüzey akışını, pik akışlarını ve bunların hem mevsimsel dağılışında sapmalar yaratmıştır. Havzadaki arazi kullanımı değişimi üzerindeki baskı artmaya devam ederken, bunun havzanın gelecekteki hidrolojik rejimi üzerindeki etkilerinin bu çalışma yoluyla değerlendirilmesi, su yöneticileri ve planlamacılar için bir değer olabilir.

Bu çalışma SWAT modelinin alt parametresi olan arazi kullanımı değişikçe neler oluyor? sorusundan yola çıkılarak hazırlanmıştır. Bölgesel sosyal-ekonominin ve çevrenin korunmasının sürdürülebilir kalkınması için stratejileri daha iyi sağlamak için, olası akış tepkisini incelemek için farklı arazi kullanım senaryoları tasarlanmıştır. İlk aşamada altlık temel arazi kullanım çıktıları belirlenmiştir. Bunlar 1989 ve 1999 yılı arazi kullanımı olmuştur. Bu yıllara ait uydu görüntüleri uzaktan algılama sistemleri ile belirlenmiş ve çıktılar oluşturulmuştur. İlk aşama olan gelecek arazi kullanım projeksiyonları hazırlanma işlemi tamamlanmıştır. Yağış-akış modelinin referans dönemi olarak 2009 yılı arazi kullanımı seçilmiş. 2029 yılı arazi kullanımı yakın gelecek için, 2070 yılı arazi kullanımı ise uzak gelecek için kullanılmıştır. Bu arazi kullanımlarının üretilmesi için birçok alt parametre ve yöntem kullanılmıştır. Gelecek arazi kullanım projeksiyonlarının SWAT modeline eklendikten sonra özellikle pik, ortalama, düşük akışlar ve yüzeysel akışın nasıl değiştiği ortaya koyulmuştur.

Arazi kullanım değişim sonuçları değerlendirildiğinde 1989 yılında özellikle orman ve yarı doğal alanlar %45'lik bir pay ile sınıflar arasında en çok alana sahip sınıf olarak karşımıza çıkar. Bunu tarımsal alanlar %45'lik payla takip ederken %3'lük oldukça düşük oranla yapay bölgeler takip etmiştir. Havza içinde yer alan Bursa

ovasında özellikle yoğun tarımsal faaliyetler ön plandadır ancak bu durum yoğun nüfus artışı ile birlikte yapay bölgelere dönüşmüştür.

1999 yılı arazi kullanımı sonuçları analiz edildiğinde ise yine en çok alan kaplayan sınıfın orman ve yarı doğal olduğunu görmekteyiz ancak bu dönemde oran %44.87'e gerilemiştir. Yine tarımsal alanlarda da %43.21 ile düşüş olduğu belirlenmiştir. Bu düşüşler yapay bölgelere alan katkısı olarak dönüşmüştür ve %6.97'lik bir paya sahip olmuştur. Bölge gelişimi göz önüne alındığında artan nüfusla birlikte ortaya çıkan konut ve sosyal alan ihtiyacı bu artışa sebep olmuştur. Özellikle Bursa ovasının doğu ucuna kayma yaşanmıştır. Bugün Gürsu ve Kestel olarak adlandırılan ilçeler bu dönemden sonra daha da artış eğilimindedir. Güneyden yüksek dağlık alanla sınırlı olması mevcut yapay bölge artışını ovaya yönelmesine sebep olmuştur buna bağlı olarak sadece tarımsal alanlardan 1989'dan 1999'a 7299 ha geçiş yaşanmıştır ve bunun değişim yüzdesi %46.27'dir. Değişim matrisi incelendiğinde pozitif yöndeki en büyük değişim yüzdesi yapay bölgelere aittir, negatif yöndeki en büyük değişim yüzdesi ise -4.2 ile tarımsal alanlar sınıfında yaşanmıştır. Son temel altlık girdi olarak 2009 yılı arazi kullanımı önce uzaktan algılama teknolojisi ile üretilmiştir. Sınıfların alanları ve doğruluk oranları hesaplanmıştır. Ardından 1989 yılı ve 1999 yılı arazi kullanımı kullanılarak LCM ile 2009 yılı projeksiyonu üretilmiştir. Bu aynı yıla sahip 2 arazi kullanım çıktıları karşılaştırılmıştır. Kappa değerleri ve her sınıfın alan bazlı yüzdesi hesaplanmıştır. 2009 arazi kullanımında Kappa değeri 0.9333 ile oldukça yüksektir. 2009 yılı arazi kullanım projeksiyonunda ise Kappa 0.8706 ile daha düşük bir değerdir ancak bu değer düşüşü kabul edilebilir seviyededir. Sınıfların yüzdelik alan kıyaslaması sonuçlarına baktığımızda ise fark %1'i hiç aşmadığı tespit edilmiştir. 2009 yılı arazi kullanımında sınıfların dağılışı incelendiğinde ise artık orman ve yarı doğal alanların en fazla alan kaplayan sınıf olmadığını belirledik. En büyük paya sahip alan artık %44.61 ile tarımsal alanlardır. Yapay bölgeler ise %10.55 ile hızlı artışını devam ettirmektedir. Değişim matrisleri incelendiğinde 1999'dan 2009' arazi kullanımına geçişte %32.76 ile en büyük pozitif yöndeki değişim yapay bölgelerde yaşanmıştır.

2009 yılı için yapılan model doğruluk yeterli gelmeyip, 2019 yılı arazi kullanımı projeksiyonunda üretilmiştir ve referans uydu görüntüleri ile doğruluk

analizi yapılmıştır ve Kappa değeri 0.8293 ile oldukça yüksek bir değer elde edilmiştir. Kappa değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasında özellikle sınıflama sonrası elle düzeltmelerin katkısı olmuştur. Tüm bu altlık girdi verilerinin hazırlanmasının ardından modelin ilk kısmı çalıştırılmıştır. Ardından önce seçilen sınıfların birbirlerine geçiş potansiyelleri verisi, sonra dinamik ve statik değişkenler eklenmiştir ve model çalıştırılmıştır. SWAT modeli için belirlenen dönemlere uygun olarak gelecek arazi kullanım projeksiyonları üretilmiştir. 2009 yılı arazi kullanımı SWAT için referans aralığı olan 1971-2000 yılları için kullanıldı. 2020-2049 yakın gelecek olarak adlandırılan dönem için ise 2029 arazi kullanımı, 2070-2099 uzak gelecek dönemi için ise 2070 arazi kullanımı kullanılmıştır. 2089 arazi kullanımı kullanılmayıp bunun model doğruluk oranını düşüreceği düşüncesi sebebi ile eklenmemiştir.

Arazi kullanımı SWAT için sabit parametre olmaktan çıkartılıp çalışılmak istenen her dönem için ara dönem arazi kullanımı kullanılarak model yeniden çalıştırılmıştır. Tek bir sabit arazi kullanımı kullanılarak yapılan modelin çıktıları ile değişen arazi kullanımın eklenmesiyle model çıktı verileri arasında farklar olduğu tespit edilmiştir. Özellikle pik akışlar ve 3 alt havzalarda ortalama akışlarda değerlerin oldukça değiştiği tespit edilmiştir. Nilüfer Çayı gibi taşkın potansiyeli olan bir havzada bu değişimin ortaya konması oldukça önemlidir. Çünkü havza geleceğinin bilinmesi, planlanması açısından oldukça faydalıdır. 2009 referans yılı kullanılarak elde edilen senaryo 1'deki 2020-2049 yakın gelecek pik akış değeri en yüksek 2037 yılında Eylül ayında $595.40 \text{ m}^3/\text{s}$ ile belirlenmiştir. Bu dönemin pik akış ortalaması ise $190.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. 2029 arazi kullanımı kullanılarak elde edilen senaryo 2'deki 2020-2049 yakın gelecek pik akış değeri en yüksek yine 2037 yılında Eylül ayında $651.60 \text{ m}^3/\text{s}$ ile belirlenmiştir. Bu dönemin pik akış ortalaması ise $206.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir

Son senaryo ise 2070 arazi kullanımı kullanılarak 2070-2099 uzak gelecek dönemi pik akış, ortalama akış ve yüzeysel akış değerleri belirlenmiştir. Ve bu senaryo 3 ile birlikte üretilen 3 farklı senaryo için aynı dönem olan uzak geleceğin pik akışları ve yüzeysel akış değerlendirilmiştir. Senaryo 1'de dönem içindeki en yüksek değerlerin görüldüğü 2078 yılı Ekim ayında pik akış değeri $579 \text{ m}^3/\text{s}$, dönemin pik akış ortalaması ise $189.45 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Senaryo 2'de yine 2078 yılı Ekim ayında pik akış $615.2 \text{ m}^3/\text{s}$, dönem pik akış ortalaması ise $207.65 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Senaryo 3'te ise 2078 yılı Ekim ayında

pik akış 653.7 m³/s, dönem pik akış ortalaması ile 229.39 m³/s'dir. Farklı arazi kullanım senaryolarında pik akış ve düşük akış değerlerinin incelenmesi sonucu bu değerlerin trendleri aynı kalmıştır ancak büyük değer farkları ortaya çıkmıştır. Çalışmanın amacını en iyi özetleyen bu pik akış değerlerinde ki değişim olmuştur.

Yüzeysel akış bu senaryo 1 ve 2 arasında kıyaslandığında ise mm cinsinden değer farklarının pik akışlarda ki kadar belirgin olmadığı ortaya konmuştur. Senaryo 1'de 2020-2049 yakın gelecekte en fazla yüzeysel akış 2037 yılı Eylül ayında 30.5 mm iken en düşük yüzeysel akış ise 2035 yılı Ekim ayında 2.13 mm ile karşımıza çıkmıştır. Senaryo 2'de ise 2020-2049 yakın gelecekte en fazla yüzeysel akış yine 2037 yılında Eylül ayında 32.65 mm iken en düşük yüzeysel akış değeri ise 2035 yılı Ekim ayında 2.53 mm ile elde edilmiştir. Son olarak 3 senaryoda da 2070-2099 uzak gelecek dönemi yüzeysel akış karşılaştırılmış ve en yüksek değer in sırası ile 2078 yılı Ekim ayında senaryo 1'de 28.41 mm, senaryo 2'de 29.81 mm, senaryo 3'te 31.42 mm'dir.

Özellikle havza için en yağışlı ay olan Eylül ve Ekim aylarında yukarıda görülen pik akış ve yüzeysel akış değerlerinin artması sebebi ile aslında havza içinde potansiyel taşkın dönemleri ortaya konmuştur. Taşkın açısından havza pik ve yüzeysel akış değerlerinin analizi aslında planlanma açısından değerlidir. Özellikle 2020-2049 dönemi için yüzeysel akış ve pik akış değerlerinin 2037, 2021 ve 2043 yıllarında dikkat çeken artışlar yaşadığı belirlenmiştir. Uzak gelecek olan 2070-2099 dönemi için ise bu yıllar 2078, 2083 ve 2095 yıllarıdır.

Alt havzalar kıyaslandığında alt havza 2 dışarda tutularak kıyaslama yapıldığında: Alt havza 1 ve 3'te pik akış değerleri diğer havzalardan çok daha yüksek olduğu dikkat çeker Bu iki havza bunun temel sebeplerinden biride arazi kullanım açısından bakıldığında yapay bölge olarak sınıflandırılan alanın burada geniş yer kaplamasıdır. Yapay bölge adı altında kentsel yapı yoğunluğu bu yüksek değerlerin sebebidir. Özellikle alt havza 4, 7 ve 8 arazi kullanım tipinin ise orman ve yarı doğal alanlar ile tarımsal alanların kapladığı düşük değerlerin gözlendiği havzalardır. Alt havzalarda pik, ortalama akış değerlendirildiğinde değer artışı yaşandığı yine gözlenen bir diğer çıktı olmuştur.

Nilüfer Çayı havzası arazi kullanımı bakımından oldukça değişken ve sabit olmayan bir havza olduğu değişim analizleri ve alansal kayıp tabloları ile çalışma içerisinde belirtilmiştir. Havzada hızla değişen bir yapay bölge sınıfı mevcuttur. Bu alan özellikle artan nüfus ile birlikte gelişimini Bursa ovasına ve tarımsal alanlara kaydırmaktadır, bu kaymanın oldukça hızlı bir şekilde yaşandığı ortaya konmuştur. Yapay bölgelerin işgaline karşı havzanın önemli geçim kaynaklarından birinin tarımsal faaliyetler olmasından ötürü bu sınıfta özellikle orman ve yarı doğal alanlardan kazanç elde etmektedir. Havza arazi kullanımında yapay bölgeler alanını sürekli arttırma eğiliminde iken tarımsal alanlar kaybettiği yerlerin yerine orman ve yarı doğal alanları ekleyerek mevcut durumunu korumaya çalışmaktadır. Orman ve yarı doğal alanlar ise sürekli kayıpların yaşandığı sınıf olarak karşımıza çıkmıştır. Havzadaki tüm bu hızlı arazi kullanım değişimleri özellikle yüzeyin suyun hızını belirleme noktasındaki etkisini de değiştirmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada farklı arazi kullanımları kullanılarak aynı dönemin yağış akış modellemesi yapıldığında çıkan sonuçta değerler arasında ciddi bir fark olduğu belirlenmiştir. Bunun temel sebebi ise değişen arazi kullanımına bağlı her sınıfın kapladığı alan farkı ve bunun sonucunda suyun arazi yüzeyi üzerinde toplanma miktarının fark etmesine sebep olmuştur. Taşkın açısından değerlendirildiğinde özellikle havzadaki arazi kullanım değişikliğine bağlı olarak kentsel alan artışı önce suyu tutma, sızdırma ve buharlaşma gibi havza hidrolojisini etkileyen sebepler ile pik akış ve yüzeysel akış değerlerinin yükselmesine, ardından taşkın sıklığı ve yoğunluğunun artmasına muhtemel sebeptir. Orman ve yarı doğal alanların azalması ve bu alanların çoğunluğunun tarımsal alanlara ve yapay bölgelere geçişi akış ve yüzeysel akış değerlerine etkisi ile yine taşkın potansiyelini arttırması söz konusudur. Havza için yapılacak hidroloji çalışmalarında arazi kullanım değişimi göz ardı edilmeden gelecek arazi kullanımı belirlenip modellere eklenmelidir. Bu yöntem ile havzanın çıktı hidroloji parametreleri daha doğru sonuç verecektir.

KAYNAKÇA

- Aggarwal, C., A review and assessment of land-use change models: dynamics of
Green, G. M., space, time, and human choice. Bloomington: **Center for the**
Grove, J. M., **Study of Institutions Population and Environmental Change**,
Evans, T. P., & Indiana University.
Schweik, C.
M.: 2002
- Aggarwal, N., Comparative Analysis of Pixel-Based and Object-Based
Srivastava, M., Classification of High Resolution. **In ernational Journal of**
& Dutta, M.: **Engineering Trends and Technology (IJETT)**, 38(1), 5-11.
2016
- Akbaş , A.: Marmara Denizi drenaj havzasında yağış-akış ilişkileri. **Doktora**
2018 **tezi.** İstanbul
- Akbaş, A., What about reservoirs? Questioning anthropogenic and climatic
Freer , J., interferences on water availability. **Hydrological Processes**, 34,
Özdemir, H., 5441-5455. doi: 10.1002/hyp.13960
Bates , P. D., &
Turp , M. T.:
2020
- Anand, J., Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and
Gosain, A. K., attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land
& Khosa, R.: use change using the SWAT model. **Science of the Total**
2018 **Environment**, 644, 503-519.
- Ardel, A.: Marmara Bölgesinin güneydoğu havzalarının morfolojik
1943 karakterleri. **Türk Coğrafya Dergisi**(2), 160-173.

- Ardel, A.: Uludağ morfolojik etüt. **Türk Coğrafya Dergisi**(5-6), 35 - 60.
1944
- Astuti, I. S.: Impact of land use land cover change on runoff and water quality
2017 of an increasingly urbanized tropical watershed in Java, Indonesia.
Athens, Georgia: **Graduate Faculty of the University of Georgia.**
- Baker, W. L.: A review of models of landscape change. **Landscape Ecology**,
1989 2(2), 111-133.
- Bell, E. J.: Markov analysis of land use change--an application of stochastic
1974 processes to remotely. **Socio-Economic Planning Sciences**, 8(6),
311-316.
- Briassoulis , Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches.
H.: 2019 (S. Loveridge, & R. Jackson, Dü) West Virginia, USA: **Regional Research Institute**, West Virginia University.
- Burnham, B. Markov Intertemporal Land Use Simulation Model. **Journal of**
O.: 1973 **Agricultural and Applied Economics**, 5(1), 253-258.
doi:10.1017/S0081305200011110
- Bursa Çevre ve **Bursa ili 2017 yılı çevre durum raporu.** Bursa.
Şehircilik İl
Müdürlüğü.:
2018

Campbell, J. **Introduction to remote sensing** (5 b.). New York, Amerika B., & Wynne, Birleşik Devlet Devletleri: The Guilford Press R.: 2011

Can, T., Assessing impacts of different land use scenarios on water budget Xiaoling, C., of Fuhe River, China using SWAT model. **International Journal Jianzhong, L., of Agricultural and Biological Engineering**, 8(3), 95-109.

Gassman, P.
W., Sabine, S.,
& José-
Miguel, S. P.:
2015

Civco, D. L.: Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. **International Journal of Geographical Information Systems**, 7(2), 173-186. doi:10.1080/02693799308901949

Congalton, R. **Assessing the accuracy of remotely sensed data** (Cilt 2). Boca G., & Green, Raton, ABD: Principles and Practices. K.: (2008)

Di Gregorio , Land cover classification system (LCCS): classification concepts A., & Jansen, and user manual. Rome: **Food and Agriculture Organization of L. J.: 1998 the United Nations.**

Doğaner, S.: Dağ turizmine coğrafi bir yaklaşım:Uludağda turizm. **Coğrafya**
1991 **Araştırmaları**(3), 137-159.

Eastman, J. R.: **IDRISI andes tutorial**. Worcester, MA, Amerika Birleşik
2006 Devletleri: IDRISI Production.

Eastman, J. R.: **TerrSet manual: Geospatial monitoring and modeling system**.
2016 Worcester, USA: Clark University.

Özdemir, H., Benchmarking land use change impacts on direct runoff in
& Elebaşı, E.: ungauged urban watersheds. **Physics and Chemistry of the**
2014 **Earth**, 79-82, 100-107. doi:10.1016/j.pce.2014.08.001

Ertürk, S. A.: Bursa ovası ve çevresinin ziraat hayatı . **Doktora Tezi** . İstanbul
2008 Üniversitesi.

Gao, J., The effect of interactions between rainfall patterns and land-cover
Kirkby, M., & change on flood peaks in upland peatlands. **Journal of**
Holden, J.: **Hydrology**, 567, 546-559. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.10.039
2018

Gibson, L., Future land cover change scenarios in South African grasslands
 Münch, Z., implications of altered biophysical drivers on land management.
 Palmer, A., & **Heliyon**, 4(7), e00693. doi:10.1016/j.heliyon.2018.e00693
 Mantel, S.:
 2018

Githui, F., Estimating the impacts of land-cover change on runoff using the
 Mutua, F., & soil and water assessment tool (SWAT): case study of Nzoia
 Bauwens, W.: catchment, Kenya. **Hydrological Sciences–Journal–des**
 2009 **Sciences Hydrologiques**, 54(5), 899-908.
 doi:10.1623/hysj.54.5.899

Hasan, S., Shi, Future simulation of land use changes in rapidly Urbanizing south
 W., Zhu, X., China based on land change Modeler and remote sensing data.
 Abbas, S., & **Sustainability**, 12(11), 4350. doi:10.3390/su12114350
 Khan, H. U.:
 2020

Heistermann, Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental
 M., Müller, C., to global scale land-use modeling. **Agriculture, Ecosystems and**
 & **Environment**(114), 141–158.
 Ronneberger,
 K.: 2006

Ketin, İ.: 1947 Uludağ masifinin tektoniği hakkında. **Türkiye Jeoloji Bülteni**, 1(1), 60-88.

Koomen, E., & Modelling land-use change; Theories and methods. E. Koomen, J. Stillwell, J.: Stillwell, A. Bakema, & H. J. Scholten içinde, Modelling land-use change progress and applications (s. 1-21). Dordrecht: Springer. 2007 doi:10.1007/978-1-4020-5648-2_1

Köpük, G.: Bursa ve Yakın Çevresi Jeomorfolojisi. **Doktora Tezi**. İstanbul. 2003

Lambin, E. F., Are agricultural land-use models able to predict. **Agriculture, Ecosystems and Environment**(82), 321–331.

M. D., &
Geist, H. J.:
2000

Lantman, J. v., **Core Principles and Concepts in Land-Use Modelling: A Literature Review**. E. Koomen, & J. B.-v. Beurden içinde, Land-Use Modelling in Planning Practice (Cilt 101, s. 35-57). The Netherlands: Springer. doi:10.1007/978-94-007-1822-7
2007

Lillesand, T. **Remote sensing and image interpretation** (5 b.). John Wiley and
M., Kiefer, R. Sons.

W., &

Chipman, J.:

2004

Lin, H., Lu, K. Modeling urban sprawl and land use change in a coastal area– a

S., Espey, M., neural network approach. **American Agricultural Economics**

& Allen, J.: **Association Annual Meeting Providence.**

2005

Liu, J. G., & **Essential image processing and GIS for Remote Sensing** (1 b.).

Mason, P. J.: Londra, Inghilterra: John Wiley & Sons, Ltd.

2009

Mather, P. M., **Computer processing of remotely-sensed images an**

& Koch, M.: **introduction** (4 b.). Chichester, West Sussex: A John Wiley &

2011 Sons, Ltd., Publication.

Meyer, W. B., Human population growth and global land-use/cover change.

& Turner, I. L.: **Annual Review of Ecology and Systematics**(23), 39-61.

1992

Meyer, W. B., **Changes in land use: A global perspective** . Cambridge:
& Turner, I. L.: Cambridge University Press

1994

Mishra, V. N., Prediction of Land Use Changes Based on Land Change Modeler
Rai, P. K., & (LCM) Using Remote Sensing: A Case Study Of Muzaffarpur
Mohan, K. : (Bihar), India. **J. Geogr. Inst. Cvijic.**, 64(1), 111-127.

2014

Neitsch, S. L., **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation**

Arnold, J. G., **Version 2009**. Texas: Texas Water Resources Institute.

Kiniry, J. R., &

Williams, J.

R.: 2011

Öztemel, E.: **Yapay sinir ağları** (2 b.). İstanbul: Papatya Yayıncılık.

2006

Öztürk, M. Z.: Uludağ (Zirve) ve Bursa meteoroloji istasyonlarının
2010 karşılaştırmalı iklimi. **Türk Coğrafya Dergisi**(55), 13-24.

Pandit, M. K., Unreported yet massive deforestation driving loss of endemic

Sodhi, N. S., biodiversity in Indian Himalaya. **Biodiversity and**

Koh , L. P., & **Conservation**(16), 153-163. doi:10.1007/s10531-006-9038-5

Bhaskar , A.:

2006

Pijanowskia, Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land
 B. C., Brown, transformation model. **Computers, Environment and Urban**
 D. G., Shellito, **Systems**, 26(6), 553–575. doi:10.1016/S0198-9715(01)00015-1
 B. A., &
 Manik, G. A.:

2002

Pikounis, M., Application of the SWAT model in the Píniós river basin under
 Varanou, E., different land-use scenarios. **Global NEST Journal**, 5(2), 71-79.
 Baltas, E., doi:10.30955/gnj.000277
 Dassaklis, A.,
 & Mimikou,

M.: 2003

Richards, J. **Remote sensing digital image analysis** (5 b.). Berlin: Springer.
 A.: 2013

Ross, S. M.: **Introduction to probability models** (Cilt 11). United States of
 (2014) America.: Academic Press.

Shade, C., & Predicting land use changes in Philadelphia. **Land**, 8(2), 28. doi:
 Kremer, P.: 10.3390/land8020028

2019

Shang, X., Land use and climate change effects on surface runoff variations
Jiang, X., Jia, in the upper Heihe river basin. **Water**, 11(2), 344.

R., & Wei, C.:

2019

Şengör, A. M., Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach.
& Yılmaz, Y.: **Tectonophysics**(75), 181-241.

1981

Taubenböck, Urbanization in India: Spatiotemporal analysis using remote
H., Wegmann, sensing data. **Computers Environment and Urban Systems**,
M., Roth, A., 33(3), 179-188. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.003

Mehl, H., &

Dech, S.: 2009

Theobald, D. Forecasting rural land-use change: a comparison of regression-and
M., & Hobbs, spatial transition-based models. **Geographical and**
N. T.: 1998 **Environmental Modelling**, 2, 65-82.

Türkeş, M., & Güney Marmara Bölümü'nün (Kuzey Batı Anadolu) klimatolojisi
Deniz , Z. A.: ile yağış ve akım dizilerinde gözlenen değişimler ve eğilimler.

2011 **Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi**, 8(1).

- Wang, S. W., Land Use and Land Cover Change Detection and Prediction in the Kathmandu District of Nepal Using Remote Sensing and GIS. **Sustainability**, 12(9), 3925. doi:10.3390/su12093925
- Gebre, B. M., Lamchin, M., Kayastha, R. B., & Lee, W.-K.: 2020
- Wang, F.: The use of artificial neural networks in a geographical information system for agricultural land-suitability assessment. **Environment and Planning A**(26), 265-284.
- Wang, Y., Jiang, R., Xie, J., & Zhao, Y.: Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: A systemic review. **Journal of Coastal Research**(93), 22–30. doi:10.2112/SI93-004.1
- 2019
- Weng, Q.: Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. **Environmental Management**, 28(6), 737-748.
- XiaoMei , Y., & RongQing, L. Y.: 1999 Change detection based on Remote Sensing information model and its application on coastal line of Yellow River delta. **Earth Observation Research Center,NASDA, China.**

Yan, G.: Pixel based and object oriented image analysis for coal fire.
2003 **International Institute For Geo-Information Science And
Earth Observation Enschede, Hollanda.**

İNTERNET KAYNAKLARI

<https://land.copernicus.eu/>. adresinden alındı (2019, Eylül 12).
<https://data.tuik.gov.tr/>. data.tuik.gov.tr/. adresinden alındı (2020, Haziran 25).
<https://mapio.net/pic/p-24526831/>. mapio.net/pic/p-24526831/. adresinden alındı
(2021, Haziran).
<https://www.bursahayat.com.tr/>. www.bursahayat.com.tr. adresinden alındı (2017).
https://www.mgm.gov.tr. adresinden alındı (2021, Haziran 15).
<https://www.tarimorman.gov.tr/>. tarimorman.gov.tr. adresinden alındı (2018, Mayıs
30).