Kentsel Büyümenin Havza Hidrolojisine Etkisinin Arazi Değişimi Modeli Kullanılarak İncelenmesi: Alibeyköy Havzası Örneği

İsmail Bilal Peker[1], Sezar Gülbaz[2]

[1]*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul,* pekerbilal@iuc.edu.tr

[2]*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul,* sezarg@iuc.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Alibeyköy Havzası'nda meydana gelen hızlı kentleşmenin havza hidrolojisi üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla çalışma iki temel aşamada gerçekleştirilmiştir: i) Kentsel büyümenin arazi değişim modeli kullanılarak gelecek yıllar için tahmin edilmesi, ii) Tahmin edilen arazi kullanımı verilerinin hidrolojik modelleme ile havza hidrolojisine etkisinin incelenmesi. Gelecek yıllara ait kentsel büyüme simülasyonları Çok Katmanlı Algılayıcı-Markov Zinciri (MLP-MC) hibrit yöntemi ile yapılmıştır. 2019 ile 2021 yılları arasındaki arazi kullanımı değişimi potansiyeli 2023 yılı tahminlemesinde kullanılmıştır. Tahmin performansı olarak standart Kappa değeri 0.94 olarak hesaplanmıştır. Ardından, on yıl aralıklar ile 2033, 2043 ve 2053 yıllarına ait arazi kullanımı verileri, yapılan tahmin simülasyonları ile elde edilmiştir. Havzadaki yüzey akışı, akarsu akışı, evapotranspirasyon, sızma ve yer altı akışı değerlerini incelemek amacıyla hidrolojik model kurulmuştur. Hidrolojik modelin akarsu akışlarına göre kalibrasyonu ve validasyonu günlük zaman adımında gerçekleştirilmiştir. Model performansı Nash–Sutcliffe (NS) verimlilik katsayısı değerleri kalibrasyon periyodunda 0.69 ve validasyon periyodunda 0.81 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak 2023 yılında havzanın yaklaşık %41'ini oluşturan yapılaşmış alanların 2033, 2043 ve 2053 yıllarında sırası ile %53, %59 ve %63 olacağı tahmin edilmiştir. Buna karşın, 2023 yılında havza alanının yaklaşık %40'ını kapsayan orman alanının 2033, 2043 ve 2053 yıllarında sırası ile %35, %31 ve %27 olarak azalacağı ön görülmektedir. Bu çalışma ile Alibeyköy Havzası'nda hızla genişleyen yapılaşmış alanların, yüzey akışlarında önemli ölçüde artışa neden olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: *Arazi değişim modeli, Hidrolojik modelleme, Kentsel büyüme, Yüzey akışı.*

GİRİŞ

Arazi kullanımı değişiklikleri, doğal ve insan kaynaklı faktörler tarafından yönlendirilen dinamik süreçlerdir ve hidrolojik sistemleri doğrudan etkiler (Foley vd., 2005). Son yıllarda, kentleşme, tarımsal genişleme ve ormansızlaşma gibi değişiklikler, yer yüzeyini önemli ölçüde değiştirerek ekolojik ve hidrolojik sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Arazi kullanımı değişiklikleri, suyun sızmasını, buharlaşmasını ve akışını etkileyerek su havzalarının hidrolojik özelliklerini değiştirebilir (Patil ve Natajara, 2020; Achugbu vd., 2022), sel risklerini artırabilir (Devi vd., 2019), yeraltı suyu miktarını azaltabilir (Salem vd., 2023) ve su kalitesini düşürebilir (Yao vd., 2023). Bu değişiklikleri anlamak, sürdürülebilir arazi yönetimi ve su kaynakları planlaması için kritik öneme sahiptir.

Gelecek yıllara ait arazi kullanımı değişikliklerine dair analizler, değişikliklere yönelik planlamaların yapılmasında ve önlemlerin alınmasında faydalı olmaktadır. Bu analizlerde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) araçları oldukça etkilidir. Değişiklerin simülasyonları için çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri içeren CBS tabanlı modeller mevcuttur (Çağlıyan ve Dağlı, 2015). Bu modeller, farklı bölgelerdeki havzalarda arazi kullanımı değişikliklerini tespit etmek (Zadbagher, 2018) ve senaryolar

altında hidrolojik tepkileri incelemek için yapılan çalışmalarda kullanılmıştır (Gunacti vd., 2022). Kullanılan çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri arasında Çok Katmanlı Algılayıcılar (MLP: Multi-Layer Perceptron) arazi kullanımı değişimi simülasyonlarında sıkça tercih edilen başarılı bir yöntemdir (Mas, 2004; Aguejdad vd., 2017). Markov Zincirleri (MC: Markov Chain,) zamansal serilerin gelecek tahminlerinde tek başına ya da diğer makine öğrenmesi teknikleri ile hibrit biçimde kullanılmaktadır. MC, değişimlere ait miktar bilgisi sağlamada başarılı iken değişimin yönelimini belirlemede eksik kalmaktadır. Bu sebeple, gelecek simülasyonları için daha anlamlı sonuçlar elde edilmesinde MLP-MC hibrit yöntemi tercih edilmektedir. Söz konusu makine öğrenmesi yöntemlerini içerisinde barındıran Terrset CBS yazılımdaki (Eastman, 2015) Arazi Değişim Modelleyici (LCM: Land Change Modeler) modülü ile bir bölgedeki arazi kullanımı değişiminin gelecek simülasyonları yapılabilmektedir.

Arazi kullanımı değişimlerinin su dengesi bileşenleri üzerindeki etkileri hidrolojik modeller ile analiz edilebilir. Hidrolojik modeller bir su havzasındaki akarsu akışı, yüzey akışı, sızma veya buharlaşma gibi hidrolojik döngü elemanlarının tahminlemesinde faydalı araçlardır. Bu süreçleri matematiksel ifadeler ile modelleyebilen çok sayıda bilgisayar yazılımı mevcuttur (Devi vd., 2015). Bunlar arasında Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT: Soil and Water Assessment Tool) (Arnold vd., 1998) havzadaki hidrolojik süreçlerin simüle edilebildiği, CBS araçlarına entegre kullanılabilen yarı-dağılımlı bir havza modelidir. SWAT'ın dünya genelinde ve Türkiye'deki havzalarda birçok başarılı uygulaması mevcuttur (Gassman vd., 2014; Peker ve Cüceloğlu, 2022).

Bu çalışma, hızlı kentleşen bir havzada meydana gelen arazi kullanımı değişimini tahmin etmeyi ve bu değişimlerin hidrolojik açıdan etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'de İstanbul'un önemli içme suyu havzalarından biri olan Alibeyköy Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Havzanın memba kısmında, dünyanın en büyük havalimanlarından biri olan İstanbul Havalimanı'nın inşa edilmesi, havzanın hızla kentleşen ve yapılaşan alanlarla kaplanmasına neden olmuştur. Yapılaşan yüzeylerdeki endişe verici büyüme eğilimi, havzaya özgü gelecekteki su stratejilerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu gereklilik nedeniyle havzada 2033, 2043 ve 2053 yıllarına ait arazi kullanımı durumları tahmin edilmiştir. Bu tahminler Terrset yardımıyla MLP-MC hibrit yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Arazi kullanımı sınıflarındaki değişimin hidrolojik süreçlere etkisi SWAT yardımıyla incelenmiştir. Böylece, önümüzdeki yıllarda Alibeyköy Havzası'nda kentsel büyüme sebepli meydana gelebilecek etkiler havza hidrolojisi açısından ortaya konmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

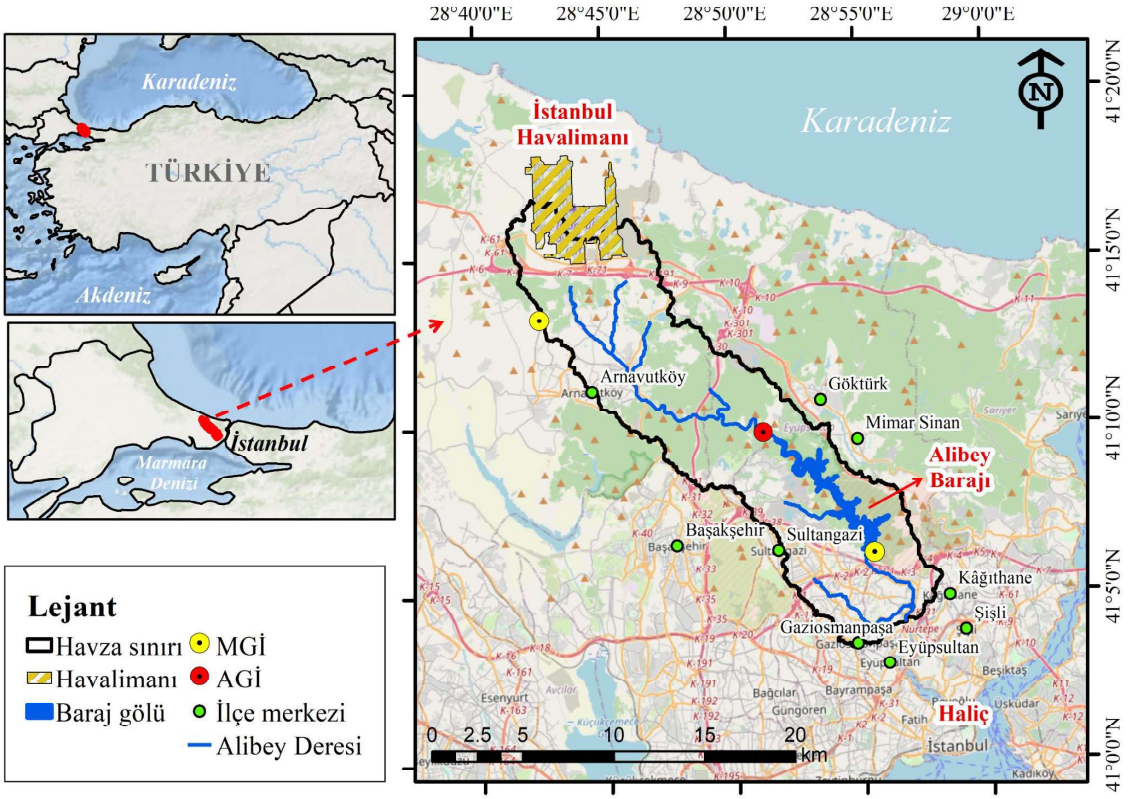
Çalışma Alanı

Alibeyköy Havzası, İstanbul'un önemli su kaynaklarından biri olup şehrin Avrupa yakasında yer almaktadır (Şekil 1). Bu havza özellikle Alibey Barajı ile bilinmektedir ve İstanbul'un su ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, İstanbul'da yer alan barajların şehrin ihtiyacı olan içme ve kullanma suyunu karşılayamadığı düşünüldüğünde İstanbul'da yer alan içme suyu barajlarının önemi daha da artmaktadır. Alibeyköy Havza'sı Haliç'e dökülmekte olup, bu kısma kadar olan drenaj alanı 192 km²'dir. Havzanın yüksekliği deniz seviyesinden yaklaşık 250 m'ye ulaşmaktadır. Ortalama eğim yaklaşık %15'tir. Havza, mevcut arazi kullanımı açısından çoğunlukla orman ve çıplak toprakla kaplı olmasına rağmen, İstanbul Havalimanı, 3. Boğaz Köprüsü ve çevre yolları gibi projeler ile bölgedeki yeni altyapı gelişmeleri havzanın hidrolojik yapısını önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu projeler, nüfus artışıyla birlikte havzada kentleşme baskısını artırmaktadır. Bu nedenle, önümüzdeki on yılda kentleşmede önemli bir artış öngörülmektedir.

Veri

Bu çalışmada arazi kullanımı değişiminin tahmin edilmesi için temel girdi Alibeyköy Havzası'ndaki geçmiş zamanlı ve güncel durumu gösteren arazi kullanımı verileridir. Bunun için Çevre Sistemleri

Araştırma Enstitüsü (ESRI: Environmental Systems Research Institute) tarafından Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak üretilmiş, 10-m mekansal çözünürlüklü 2019, 2021 ve 2023 yıllarına ait veriler tercih edilmiştir (Karra vd., 2021). Bu yılların tercih edilme sebebi havzada inşa edilen havalimanının 2018 senesinde tamamlanmış olması ve seçilen yılların, bu duruma bağlı artışın başladığı dönemi temsil etmesidir. Küresel ölçekte üretilmiş olan ESRI verileri Alibeyköy Havzası özelinde tekrar incelenerek ufak hatalar düzenlenmiş ve arazi kullanımı sınıfları yeniden sınıflandırılmıştır. Sonuçta, 5 farklı arazi kullanımı sınıfı şu şekilde belirlenmiştir: Su, orman, doğal bitki örtüsü, yapılaşmış alan ve çıplak yüzey.



Şekil 1. Çalışma alanı: Alibeyköy Havzası

Arazi kullanımı verilerinin yanı sıra havza modeli çatısının oluşturulmasında mekansal ve meteorolojik verilere ihtiyaç duyulmuştur. Havzaya ait yükseklik verisi için NASA tarafından sağlanan 30-m mekansal çözünürlüklü Mekik Radar Topografya Görevi (SRTM: Shuttle Radar Topography Mission) sayısal yükseklik modeli (SYM) (https://earthexplorer.usgs.gov/), toprak tipi bilgisi için Gıda ve Tarım Örgütü (FAO: Food and Agriculture Organization) tarafından sağlanan 1:5000000 ölçekli Dijital Dünya Toprak Haritası (DSMW: Digital Soil Map of the World) verisi (https://www.fao.org/soils-portal/) kullanılmıştır. Ayrıca, havza modellemesinde hidrolojik denge elemanlarının simülasyonu için gerekli meteorolojik (yağış ve sıcaklık) veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden, model kalibrasyonu ve validasyonu için kullanılan D02A047 kodlu Pirinççi Köyü Alibey Deresi isimli istasyona ait günlük dere akışı verileri ise Devlet Su İşleri (DSİ)'nden temin edilmiştir. Yağış, sıcaklık ve akarsu akışı verileri günlük zaman adımında ölçümlerdir.

Arazi Değişimi Modelleme Yöntemi

Alibeyköy Havzası'nın gelecek yıllara ait arazi kullanımı değişimi TerrSet yazılımında yer alan LCM modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımda, analizler ve değişimin tahminleri için MLP-MC makine öğrenmesi yöntemi tercih edilmiştir.

Arazi değişimi modeli üç aşamada gerçekleştirilmiştir: 1) Değişim analizi, 2) Geçiş alt modellerinin oluşturulması, 3) Gelecek yıllar için tahminler.

Öncelikle, 2019 ve 2021 yıllarına ait veriler kullanılarak arazi kullanımı sınıflarına ait dönüşümler ve bu dönüşümlerin trendleri belirlenmiştir. Böylece, her bir arazi kullanımı sınıfı için diğer sınıflara geçişin miktarı ve yönelimi mekansal veri olarak oluşturulmuştur.

Simülasyonlarda geçiş alt modelleri MLP ile oluşturulmuştur. Parametrik olmayan bir yaklaşım olarak MLP, farklı arazi kullanımı sınıfları arasındaki karmaşık ilişkileri modelleyebilme kabiliyetine sahiptir (Eastman, 2009). Bu aşamada, gelecek yılların tahmini için etkili olabilecek faktörlerin modele tanımlanması gerekmektedir. Bu faktörler, arazi kullanımı sınıfları arasındaki değişimde etkili olabilecek ve değişimi anlamlı olarak yönlendirebilecek itici faktörler olarak bilinmektedir. İtici faktörlerin farklı kombinasyonları ile model birkaç kez yeniden çalıştırılarak en uygun sonuçlara erişilebilir. Bu çalışmada, en etkili olduğu tespit edilen yerleşim alanlarına uzaklık, mahalle merkezlerine uzaklık, otoyollara uzaklık, havalimanına uzaklık, baraj gölüne uzaklık, dere ağına uzaklık ve yükseklik verileri itici faktörler olarak kullanılmıştır.

Modellemenin son aşamasında, oluşturulan geçiş alt modelleri ve itici faktörler kullanılarak 2023 yılına ait simülasyon gerçekleştirilmiştir. 2023 yılı simülasyon çıktısı bu yıla ait ESRI verisi referans alınarak model doğrulanmıştır. Doğrulanan model 2033, 2043 ve 2053 yılları için çalıştırılarak bu yıllara ait tahmin verileri elde edilmiştir.

Hidrolojik Modelleme Yöntemi

SWAT, havzadaki hidrolojik denge bileşenlerini (akarsu akışı, yüzey akışı, sızma, evapotranspirasyon gibi) simüle etmek amacıyla kullanılmıştır. Model kurulumunda ilk olarak SYM ile havza alt havza bölünme biçimleri belirlenmiş ve dere ağı oluşturulmuştur. Ardından, toprak tipi, arazi kullanımı sınıfları ve SYM'den elde edilen eğim bilgileri ile hidrolojik tepki birimleri (HRU: Hydrological Response Units) meydana getirilmiştir. Böylece, modellenen havza, topografik özelliklerine göre 12 alt havzaya ve eğim-arazi kullanımı-toprak sınıflarının kombinasyonu ile oluşturulan 374 HRU'ya ayrılmıştır. Model çatısında; beş farklı arazi kullanımı, iki toprak tipi (C ve D hidrolojik toprak grubu) ve beş farklı eğim (<5%, 5–10%, 10–15%, 15–20% ve >20%) sınıfı kullanılarak HRU'lar meydana getirilmiştir. Model, iki yıl (2011–2012) ısıtma periyodu olmak üzere on yıllık süreç (2013–2022) için çalıştırılmıştır. Evapotranspirasyon hesabı için Hargreaves metodu (Hargreaves ve Samani, 1985) tercih edilmiştir. Dere akışı kalibrasyonu ve validasyonu için Devlet Su İşleri (DSİ)'nden temin edilen D02A047 kodlu Pirinççi Köyü Alibey Deresi isimli istasyona ait günlük veriler kullanılmıştır. Model 2013–2018 yılları arasındaki altı yıl için kalibre edilmiştir. 2019–2022 yılları arasındaki dört yıl ise model validasyonunda kullanılmıştır.

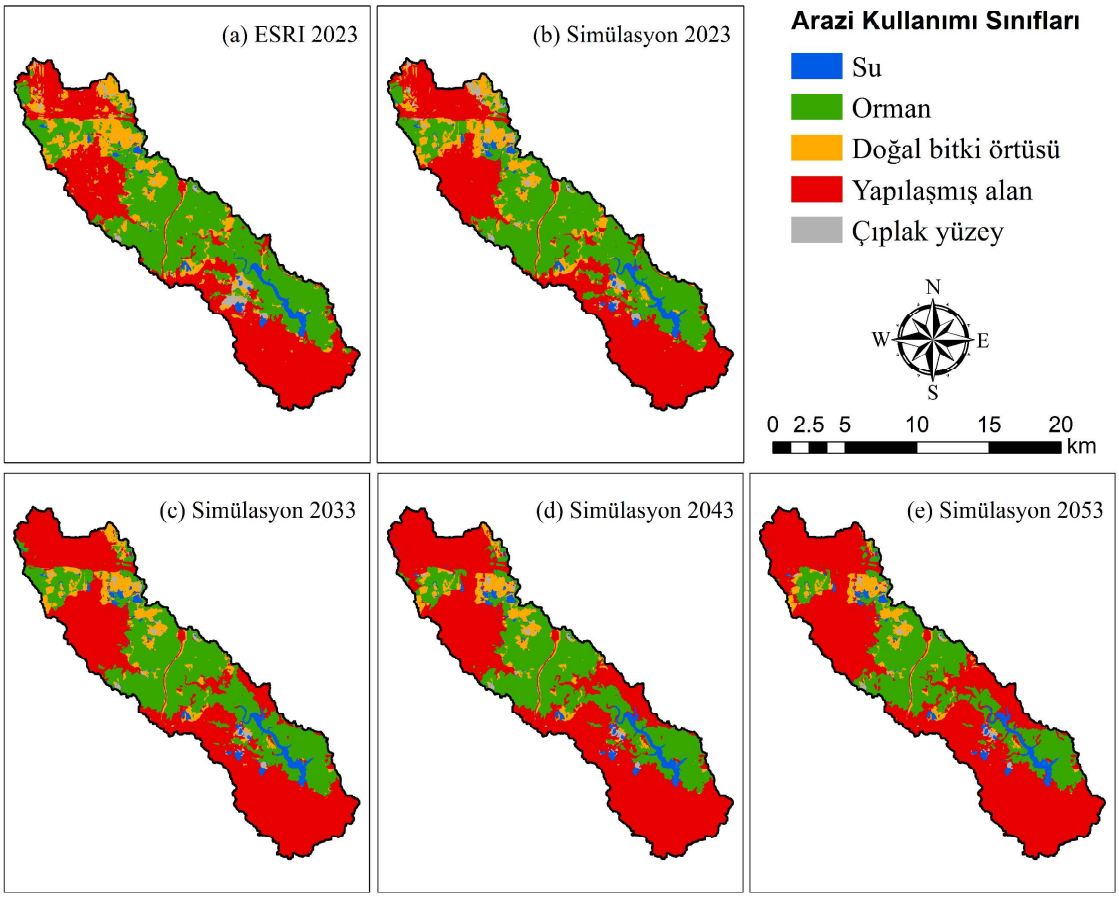
BULGULAR

Arazi değişimi modeli ve hidrolojik modellemeye ait bulgular analiz edilmiştir. Ardından, bu analizlerin sonuçları havza hidrolojisine olan etkisi bakımından incelenmiştir.

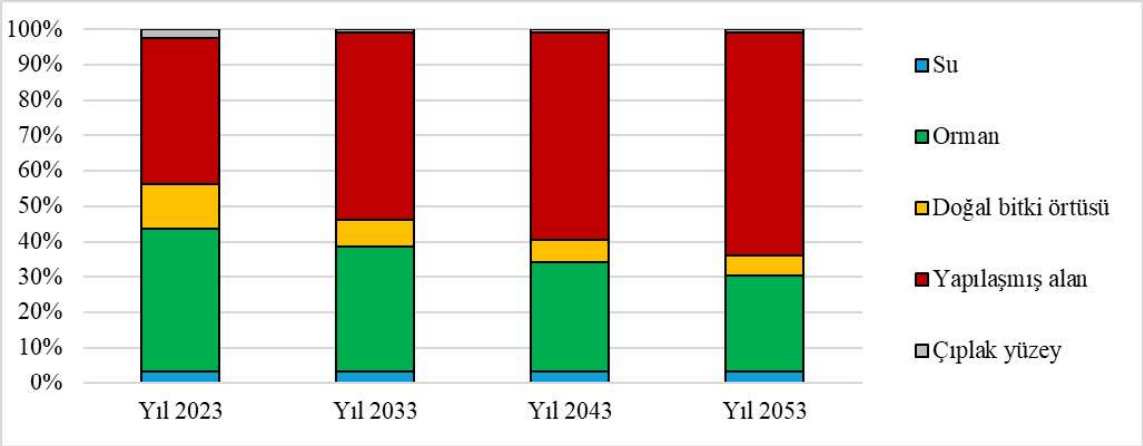
Arazi Değişimi Modeline ait Bulgular

Test verisi olarak kullanılan 2023 yılına ait ESRI verisi ile arazi değişim modelinden elde edilen 2023 yılı simülasyon verisi karşılaştırılmıştır. Görsel olarak yapılan incelemenin yanı sıra gerçekleştirilen arazi değişimi simülasyonlarının başarısı Kappa indeksi ile belirlenmiştir (Pontius, 2000). Performans değerlendirme kriteri standart Kappa değeri 0.95 olarak bulunmuştur. Bu değer simülasyon başarısının çok yüksek olduğunu göstermektedir. 2023 yılına ait karşılaştırılan bu iki veri Şekil 2a ve Şekil2b'de görülmektedir. Sonraki adımda, doğrulanan model kullanılarak gelecek yıllara ait tahmin verileri elde edilmiştir. Şekil 2c, Şekil 2d ve Şekil 2e sırası ile 2033, 2043 ve 2053 yıllarına ait tahmin edilen arazi kullanımı verileri görülmektedir. Böylece, Alibeyköy Havzası'nda kentsel büyümenin şekli incelenebilmektedir. Görüldüğü üzere, havalimanının çevresine yakın Arnavutköy ve Gaziosmanpaşa ilçelerinde yapılaşmış alanlarda genişleme mevcuttur. Ayrıca, havzanın kuzeydoğu sınırında yer alan Mimar Sinan ve Göktürk ilçelerinin havza sınırları içerisine doğru büyümesi dikkat çekmektedir.

Havza sınırları içerisindeki arazi kullanımı sınıflarının 2023 mevcut durumuna kıyasla 2033, 2043 ve 2053 yılları için öngörülen değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre, 2023 yılında havzanın yaklaşık %41'ini oluşturan yapılaşmış alanlar 2033, 2043 ve 2053 yıllarında sırası ile %53, %59 ve %63 olarak tahmin edilmiştir. Buna karşın, 2023 yılında havza alanının yaklaşık %41'ini kapsayan ormanların 2033, 2043 ve 2053 yıllarında sırası ile %35, %31 ve %27 olarak azalacağı ön görülmektedir. Yapılaşmış alanların 2023'ten 2053 yılına kadar yaklaşık %52 oranında artması, ormanların ise yaklaşık %33 oranında azalması beklenmektedir.



Şekil 2. Alibeyköy arazi kullanımını temsil eden (a) 2023 yılı ESRI referans verisi, (b) simülasyon sonucu elde edilen (b) 2023, (c) 2033, (d) 2043 ve (e) 2053 yıllarına ait veriler.



Şekil 3. 2023, 2033, 2043 ve 2053 yılları için arazi kullanımındaki değişim durumu.

Hidrolojik Modele ait Bulgular

Hidrolojik model kalibrasyonu 2013–2018 ve validasyonu 2019–2022 periyotlarında günlük zaman adımında yapılmıştır. Bu periyotlara ait dere akışı gözlemlerine göre model parametreleri R-SWAT paketi (Nguyen vd., 2022) içerisinde bulunan manuel kalibrasyon penceresinde ayarlanmıştır. Amaç fonksiyonu olarak Nash–Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE: Nash–Sutcliffe Efficiency) gözetilmiştir. Ayrıca, Kling–Gupta verimlilik katsayısı (KGE: Kling–Gupta Efficiency) ve determinasyon katsayısı (R^2) metrikleri de kalibrasyon ve validasyon başarısında göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 1'de kalibrasyon sürecinde ayarlanan parametrelerin açıklamaları, değiştirme yöntemi ve kalibre edilen değerleri verilmektedir. Değiştirme yöntemi olarak, mekansal değişkenlik gösteren parametreler yüzde oran olarak ayarlanırken, havza ölçeğindeki diğer parametreler direkt değer değiştirilerek kalibre edilmiştir. Tablo 2'de kalibrasyon ve validasyona ait başarı metrikleri (NSE, KGE ve R^2) görülmektedir. NSE'ye göre dere akışı simülasyonları için model performansı Moriasi vd. (2007) tarafından verilen kriterler referans alındığında kalibrasyon periyodunda "iyi" ve validasyon periyodunda "çok iyi" mertebesindedir.

Tablo 1. Kalibre edilen model parametreleri, açıklamaları, değiştirme yöntemi ve kalibrasyon değerleri.

Parametre	Açıklama	Değiştirme yöntemi	Kalibre edilen değer
CN2.mgt (FRST, RNGE, BARR, WATR)	Nem durumu II için başlangıç SCS akış eğrisi numarası	yüzde oran	–%25
CN2.mgt (URBN)		direkt değer	80
ESCO.hru	Toprak buharlaşma kompanzasyon faktörü	direkt değer	0.65
SOL_Z.sol	Yüzey topraktan alt katmana kadar derinlik (mm)	yüzde oran	+%50
SOL_K.sol	Doymuş hidrolik iletkenlik (mm/saat)	yüzde oran	+%25
SOL_AWC.sol	Toprak tabakasının mevcut su kapasitesi (mm H_2O/mm toprak)	yüzde oran	+%50
SOL_BD.sol	Nemli kütle yoğunluğu (g/cm^3)	yüzde oran	+%20
ALPHA_BF.gw	Baz akış alfa faktörü (1/gün)	direkt değer	0.75

Tablo 2. Dere akışı için kalibre edilmiş modelin başarı ölçütleri.

Periyot	Değerlendirme	Başarı metriği		
		NSE	KGE	R^2
Kalibrasyon (2013–2018)	İyi	0.67	0.83	0.73
Validasyon (2019–2022)	Çok İyi	0.81	0.86	0.82

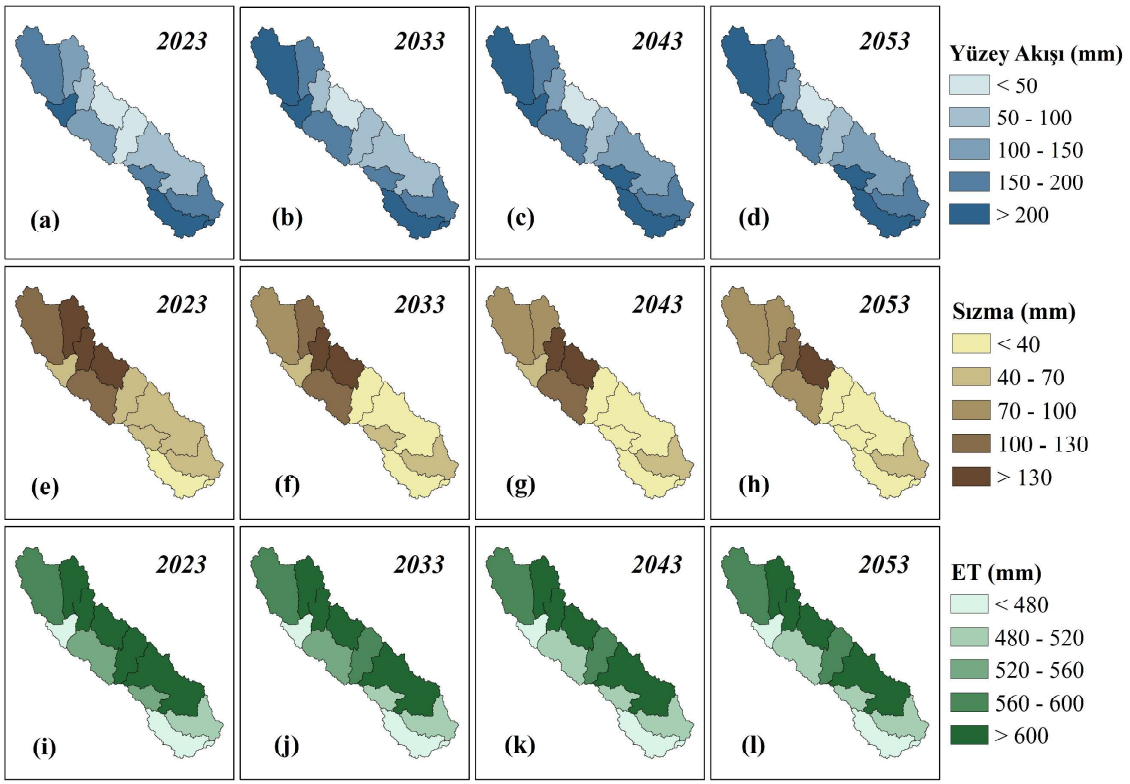
Hidrolojik Denge Elemanlarındaki Değişimin İncelenmesi

Kalibre edilen hidrolojik model simülasyonları, arazi değişim modelinden elde edilen 2033, 2043 ve 2053 arazi kullanımı tahmin verileri kullanılarak çalıştırılmıştır. Su dengesi bileşenleri yıllık ortalama değerleri Tablo 3'te verilmektedir. Buna göre, 2023 yılındaki arazi kullanımı durumunda yıllık ortalama yağışın (826.50 mm) yaklaşık %14'ü yüzeysel akış, %71'i evapotranspirasyon (ET), %11'i sızma ve geri kalan kısım ise diğer bileşenlere (dip akifer geri beslemesi ve revap) ayrılmaktadır. Değişen arazi kullanımı koşulları sonucu yüzeysel akışın 2033, 2043 ve 2053 yıllarında sırası ile %18, %27 ve %34 oranında artacağı öngörülmektedir. Buna karşın, sızma değerlerinde bu yıllar için sırası ile yaklaşık %16, %23 ve %26 oranında azalma olacağı tahmin edilmektedir. ET değerleri ise gelecek yıllarda %1–2.5 mertebesinde artış göstererek nispeten daha az değişmektedir. Toplam su verimine (dereye ulaşan toplam akış) katkı sağlayan toprak altı akışlarının (yanal toprak altı akışı, sığ akiferde yer altı akışı ve dip akifer geri beslemesi) gelecek yıllarda azalması beklenirken yüzey akışlarında tahmin edilen artış nispeten daha fazladır. Yüzey akışlarındaki bu fazla artış toplam su verimi değerlerini %2–5 mertebesinde artırmaktadır.

Şekil 4'te alt havza ölçeğinde yıllık ortalama yüzey akışı, sızma ve ET değerlerinin mekansal analizi görülmektedir. Buna göre, yüzey akışlarının havalimanı çevresindeki bölgelerde nispeten daha fazla artış göstereceği buna karşılık sızma değerlerinin bu bölgelerde azalacağı ön görülmektedir. 2053 yılında memba alt havzalarda yıllık ortalama yüzey akışlarının 80 mm'nin üzerinde artış göstermesi beklenmektedir. Bu durum bu bölgelerdeki hızlı yapılaşan yüzeylerdeki artışın bir sonucudur.

Tablo 3. Mevcut durum (2023) ve gelecek yıllar (2033, 2043, 2053) için su dengesi bileşenlerinin karşılaştırılması.

Su Dengesi Bileşenleri	Değer (mm)				Değişim (%)		
	2023	2033	2043	2053	2023–2033	2023–2043	2023–2053
Yağış	826.50				–		
Yüzeysel akış	122.53	144.31	155.75	163.87	17.78	27.11	33.74
Yanal toprak altı akışı	58.47	54.65	52.74	51.20	-6.53	-9.80	-12.43
Yeraltı akışı (Sığ Akifer)	65.24	52.26	47.25	44.42	-19.90	-27.58	-31.91
Yeraltı akışı (Dip Akifer)	4.37	3.65	3.38	3.21	-16.48	-22.65	-26.54
Revap	19.06	18.89	18.89	18.89	-0.89	-0.89	-0.89
Dip akiferden geri besleme	4.35	3.63	3.36	3.20	-16.55	-22.76	-26.44
Toplam akifer geri beslemesi	86.94	72.68	67.14	63.92	-16.40	-22.77	-26.48
Toplam su verimi	250.61	254.87	259.12	262.71	1.70	3.40	4.83
Sızma	85.86	71.88	66.42	63.24	-16.28	-22.64	-26.35
Evapotranspirasyon	578.5	578.4	574.2	570.8	-0.02	-0.74	-1.33



Şekil 4. Mevcut durum (2023) ve gelecek yıllar (2033, 2043, 2053) için yıllık ortalama (a-d) yüzey akışı, (e-h) sızma ve (i-l) ET değerlerinin alt havza ölçeğinde mekansal değişimi.

SONUÇ

Alibeyköy Havzası çok büyük miktarda su ihtiyacı olan İstanbul'un içme suyu havzalarından biri olması nedeniyle ciddi öneme sahiptir. Ayrıca, havza alanı etrafındaki ormanlar ve yeşil alanlarla doğal bir ekosistemi de içermektedir. Ancak, son yıllarda havza yoğun bir kentleşme baskısı altındadır. Bu çalışmada, söz konusu kentleşme baskısının havza hidrolojisi üzerindeki etkisi arazi değişim modeli ve hidrolojik modelleme araçları kullanılarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen tahminlere göre, 2023 yılında havzanın yaklaşık %41'ini kaplayan yapılaşmış alanların, 2053 yılında %63'e yükseleceği öngörülmektedir. Buna karşılık, 2023'te havzanın yaklaşık %40'ını oluşturan ormanlık alanların, 2053 yılında %27'ye düşmesi beklenmektedir. Bu sonuçlar ile oluşturulan hidrolojik model Alibeyköy Havzası'ndaki hızlı yapılaşmanın 2053 yılında yüzey akışlarını %30'un üzerinde artıracağına işaret etmektedir. Yapay yüzeylerdeki bu artış gelecek yıllarda kentsel bölgelerdeki taşkın pik debilerini büyük oranda artırabilecek etkidedir.

Olası iklim krizi etkileriyle artması beklenen sıcaklıklar ve yağışlardaki ani değişkenlikler dikkate alındığında, hızlı kentleşen böyle bir havzada yüzey akışlarının yol açabileceği ani taşkınlar ciddi sorunlara neden olabilir. Bu havzadaki hidrolojik durumun değişen iklim koşulları ile bütünleşik incelenmesi önemlidir. Ayrıca, havzada sanayi tesislerinin ve yerleşim alanlarının yoğunlaşması su kalitesini de tehdit eden önemli faktörlerdir. Bu sebeplerle, gelecek çalışmalarda bu havzadaki kentsel büyümenin yayılı kirleticiler üzerindeki etkisinin incelenmesi planlanmaktadır. Bu analizlerde, geleceğe yönelik simülasyonlarda iklim değişikliği senaryoları da göz önünde bulundurulacaktır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan verilerin teminini sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ne ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

Achugbu, I.C., Olufayo, A.A., Balogun, I.A., Dudhia, J., McAllister, M., Adefisan, E.A., Naabil, E. (2022) Potential effects of Land Use Land Cover Change on streamflow over the Sokoto Rima River Basin. Heliyon, 8(7), e09779. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09779

Aguejdad, R., Houet, T., Hubert-Moy, L. (2017) Spatial validation of land use change models using multiple assessment techniques: A case study of transition potential models. Environmental Modeling & Assessment, 22(6), 591–606. https://doi.org/10.1007/s10666-017-9564-4

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R. (1998) Large Area Hydrologic Modeling and Assessment - Part 1: Model Development. Journal of the American Water Resources Association, 34, 73–89. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x

Çağlıyan, A., Dağlı, D. (2015) Arazi kullanımında simül-asyon modelleri ve entegre kullanımları. TÜCAÜM VIII.Coğrafya Sempozyumu, 233–244.

Devi, G.K., Ganasri, B., Dwarakish, G. (2015) A review on hydrological models. Aquatic Procedia, 4, 1001–1007. https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126

Devi, N.N., Sridharan, B., Kuiry, S.N. (2019) Impact of urban sprawl on future flooding in Chennai city, India. Journal of Hydrology, 574, 486–496. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.041

Eastman, J.R. (2015) TerrSet Manual. Access. TerrSet Version 2015, 18, 1–390.

Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. (2005) Global consequences of land use. Science, 309(5734), 570–574. https://doi.org/10.1126/science.1111772

Gassman, P.W., Sadeghi, A.M., Srinivasan, R. (2014) Applications of the SWAT Model Special Section: Overview and Insights. Journal of Environmental Quality, 43(1), 1–8. https://doi:10.2134/jeq2013.11.0466

Gunacti, M.C., Gul, G.O., Cetinkaya, C.P., Gul, A., Barbaros, F. (2022) Evaluating impact of land use and land cover change under climate change on the Lake Marmara system. Water Resources Management, 37(6–7), 2643–2656. https://doi.org/10.1007/s11269-022-03317-8

Mas, J.–F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M.T., Houet, T. (2014) Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages. Environmental Modelling & Software, 51, 94–111. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105574

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L. (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885–900. https://doi.org/10.13031/2013.23153

Patil, N. S., Nataraja, M. (2020) Effect of land use land cover changes on runoff using hydrological model: a case study in Hiranyakeshi watershed. Modeling Earth Systems and Environment, 6(4), 2345–2357. https://doi.org/10.1007/s40808-020-00808-8

Peker, İ.B., Cuceloglu, G. (2022) SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Modeline Genel Bir Bakış ve Modelin Türkiye'deki Uygulamaları. Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik, 23(1), 9–26. https://dergipark.org.tr/tr/pub/itucis/issue/68628/1036237

Pontius, R.G.Jr. (2000) Quantification Error Versus Location Error in Comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66(8), 1011–1016.

Salem, A., Abduljaleel, Y., Dezső, J., Lóczy, D. (2023) Integrated assessment of the impact of land use changes on groundwater recharge and groundwater level in the Drava floodplain, Hungary. Scientific Reports, 13(1), 5061. https://doi.org/10.1038/s41598-022-21259-4

Yao, S., Chen, C., He, M., Cui, Z., Mo, K., Pang, R., Chen, Q. (2023) Land use as an important indicator for water quality prediction in a region under rapid urbanization. Ecological Indicators, 146, 109768. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109768

Zadbagher, E., Becek, K., Berberoglu, S. (2018) Modeling land use/land cover change using remote sensing and geographic information systems: case study of the Seyhan Basin, Turkey. Environmental Monitoring & Assessment 190, 494. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6877-y

Karra, K., Kontgis, C., Statman–Weil, Z., Mazzariello, J.C., Mathis, M., Brumby, S.P. (2021) Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning, 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, 2021, ss. 4704–4707, https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499

Hargreaves, N.G.H., Samani, N.Z.A. (1985) Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1(2), 96–99. https://doi.org/10.13031/2013.26773

Nguyen, T.V., Dietrich, J., Dang, D.T., Tran, D.A., Doan, B.V., Sarrazin, F.J., Abbaspour, K., Srinivasan, R. (2022) An interactive graphical interface tool for parameter calibration, sensitivity analysis, uncertainty analysis, and visualization for the Soil and Water Assessment Tool. Environmental Modelling & Software, 156, 105497. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105497