

**T.C.
İZMİR DEMOKRASİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS
PEYZAJ MİMARLIĞI
ANABİLİM DALI**

**İZMİR KARŞIYAKA İLÇESİ KENTSEL ALANI
ÖRNEĞİNDE YAĞMUR SUYU TUTMA
POTANSİYELİNİN INVEST MODELİ İLE
BELİRLENMESİ**

Ayşenur TOPAL

**Danışman
Doç. Dr. Nurdan ERDOĞAN**



İZMİR-2023

TAAHHÜTNAME

Bu tezin İzmir Demokrasi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ayşenur TOPAL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLO DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Ekosistem Servisleri	3
2.1.1. Ekosistem Servislerinin Sınıflandırılması	4
2.1.1.1. Tedarik Servisleri	6
2.1.1.2. Kültürel Servisler	7
2.1.1.3. Düzenleyici Servisler	8
2.1.1.4. Destekleyici Servisler	10
2.1.2. Ekosistem Servislerinin Haritalanması ve Modellenmesi	10
2.2. Yağmur Suyu Yönetimi	13
2.2.1. Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi	15
2.2.2. Dünyada Geliştirilen Sistemler	18
2.2.3. Kentsel Yağmur Suyunu Anlamaya Yönelik Araçlar	22
2.2.3.1. InVEST (Entegre Ekosistem Hizmetleri ve Değerlendirme)	23
2.2.3.1.1. InVEST Modelinin Özellikleri	24
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	26
3.1. Materyal	26
3.1.1. Araştırma Alanının Genel Özellikleri	26
3.1.2. Veri Setleri	27
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Model Veri Girişleri	29
3.2.1.1. Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Haritası	29
3.2.1.2. Hidrolojik Toprak Grupları	30
3.2.1.3. Yağış Verisi	33
3.2.1.4. Biyofiziksel Tablo	33
3.2.1.5. Yol Merkez Çizgileri	35
3.2.1.6. Tutma Yarıçapı	35
3.2.1.7. Alt Havza Sınırları Belirlenmesi	36

4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	37
4.1. Alan Kullanım / Arazi Örtüsü Haritası	37
4.2. Toprak Grupları Haritası.....	39
4.3. Biyofiziksel Tablo	41
4.4. Eğim Haritası.....	43
4.5. Alt Havza Sınırları.....	44
4.6. Yol Haritası	45
4.7. Akış Oranı Haritası	46
4.8. Akış Hacmi Haritası.....	48
4.9. Su Tutma Hacmi Haritası.....	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	51
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	65



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
ARIES	Ekosistem Hizmetleri için Yapay Zekâ
BMP	En İyi Yönetim Uygulaması
BTG	Büyük Toprak Grubu
CICES	Ekosistem Hizmetlerinin Uluslararası Ortak Sınıflandırma Sistemi
CN Method	Eğri Numarası Yöntemi
CNT	Mahalle Teknoloji Merkezi
CRC	Suya Duyarlı Şehirler İçin Kooperatif Merkezi
CTCC	CUFR Ağaç Karbon Hesaplayıcısı
DEM	Dijital Yükseklik Modeli
DURMM	Delaware Kentsel Akış Yönetim Modeli
EcoINFORMA	Ekoinformatik tabanlı Açık Kaynaklar ve Makine Erişilebilirliği
EDK	Eğim – Derinlik Kombinasyonu
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
GI	Yeşil Altyapı
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemi
IAHR	Uluslararası Hidrolik Mühendisliği ve Araştırma Birliği
InVEST	Entegre Ekosistem Hizmetleri ve Değerlendirme
IWA	Uluslararası Su Birliği
İNGEV	İnsani Gelişme Vakfı
JCUD	Kentsel Drenaj Ortak Komitesi
LID	Düşük Etkili Geliştirme
LIUDD	Etkili Kentsel Tasarım ve Geliştirme
LULC	Alan Kullanım / Arazi Örtüsü
MEA	Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi
MOHURD	Konut ve Kırsal-Kentsel Kalkınma Bakanlığı
MÖ	Milattan Önce
MWR	Maliye Bakanlığı ve Su Kaynakları Bakanlığı
MUSIC	Kentsel Yağmursuyu İyileştirme Kavramsallaştırma Modeli
NatCap	Doğal Sermaye Projesi
NRCS	Doğal Kaynakların Korunması
PRC	Çin Halk Cumhuriyeti

QGIS	Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (GIS) Kullanılan Program
RCN Numarası	Akış Eğrisi Numarası
SCS	Toprak Koruma Hizmeti
SSM	Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetimi
StormWISE	Yağmursuyu Yatırım Stratejisi Değerlendiricisi
SUDS	Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemi
SUSTAIN	Kentsel Yağmur Suyu Arıtma Analizi ve Entegrasyonu için EPA Sistemi
SWAT	Toprak ve Su Değerlendirme Aracı
TEEB	Ekosistemlerin Biyoçeşitliliğinin Ekonomisi
TRGM	Reformu Genel Müdürlüğü
UFORE	Kent Ormanı Etkileri Modeli
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Dairesi
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
VRRM	Virginia Akış Azaltma Yöntemi
WERF	Su Çevresel Araştırma Vakfı
WSUD	Suya Duyarlı Kentsel Tasarımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Zaman içinde kentsel drenaj yönetiminin artan entegrasyonu	15
Şekil 2.2. Geçirimsiz örtü ve yüzey akışı arasındaki ilişki	16
Şekil 2.3. Uluslararası düzeyde kentsel su yönetiminin gelişimi	19
Şekil 3.1. Araştırma alanı coğrafi konumu	26
Şekil 3.2. Kentsel yağmur suyu dengesindeki ana hidrolojik akışlar	28
Şekil 4.1. Karşıyaka ilçesi alan kullanım / arazi örtüsü haritası	38
Şekil 4.2. Karşıyaka ilçesi hidrolojik toprak grupları haritası	40
Şekil 4.3. Karşıyaka ilçesi eğim haritası	44
Şekil 4.4. Karşıyaka ilçesi alt havza sınırları	45
Şekil 4.5. Karşıyaka ilçesi yol haritası	46
Şekil 4.6. Karşıyaka ilçesi yağmur suyu akış katsayıları	47
Şekil 4.7. Karşıyaka ilçesi yağmur suyu tutma katsayıları	48
Şekil 4.8. Karşıyaka ilçesi akış hacmi haritası	49
Şekil 4.9. Karşıyaka ilçesi su tutma hacmi haritası	50

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Ekosistem hizmetleri sınıflandırması	5
Tablo 2.2. Yüksek yoğunluklu kentsel havzalarda alıcı su ortamlarında görülen sorunlar	17
Tablo 3.1. Şehir atlası alan kullanım/arazi örtüsü ana ve alt sınıfları	29
Tablo 3.2. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM)’nün hazırladığı büyük toprak grubu ve toprak özellikleri kombinasyonu	31
Tablo 3.3. Büyük toprak grupları ve toprak özelliklerinin kombinasyonuna göre hidrolojik toprak grupları	31
Tablo 3.4. Şehirleşme alanları için yüzey akış eğri numaraları.....	34
Tablo 4.1. Karşıyaka yüzey örtüsü tipleri ve alanları	38
Tablo 4.2. Büyük toprak gruplarının alansal dağılımı	40
Tablo 4.3. Biyofiziksel tablo	42
Tablo 4.4. Karşıyaka ilçesi eğim gruplarının alansal dağılımı	44

TEŞEKKÜR

Akademik çalışma süreçlerime ilk adımımı atma fırsatı sunan İzmir Demokrasi Üniversitesi'ne minnetlerimi sunuyorum. Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nurdan ERDOĞAN'a, sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bana yol gösteren Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nün çok değerli öğretim üyeleri Prof. Dr. Hakan DOYGUN ve Doç Dr. Aslı GÜNEŞ GÖLBEY'e verdikleri emeklerden dolayı çok teşekkür ediyorum.

Değerli katkıları ve yorumları ile tez çalışmamın geliştirilmesini sağlayan jüri üyeleri Doç. Dr. Birsen KESGİN ATAK ve Doç. Dr. Ebru ERSOY TONYALOĞLU'na güler yüzlü tavırlarıyla yanımda oldukları için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Çağrı KARACA'ya, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan canım annem Güler TOPAL'a ve aileme yürekten teşekkür ederim.

Ayşenur TOPAL
İzmir, 2023

ÖZET

Yüksek Lisans

İzmir Karşıyaka İlçesi Kentsel Alanı Örneğinde Yağmur Suyu Tutma Potansiyelinin InVEST Modeli ile Belirlenmesi

Ayşenur TOPAL

İzmir Demokrasi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Peyzaj Mimarlığı
Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurdan ERDOĞAN

Kentsel alanlarda yağmur suyu yönetimi büyüyen bir sorun haline gelmiştir. İklim değişikliği, ekosistemlerin bozulması, çevre kirlilikleri gibi küresel sorunlar, nüfus, kentleşme ve geçirimsiz yüzey kaplamasındaki artışlar yaşam kalitesinde düşüşe neden olmaktadır. Kentlerde yaşanan bu zorluklar karşısında kentsel ekosistem servislerinin miktarının, kalitesinin ve çeşitliliğinin belirlenmesi önem kazanmıştır. Ekosistem servislerini desteklenmesi sürdürülebilir ve dirençli kentlerin oluşturulmasında oldukça önemlidir. Son yıllarda ekosistem servislerinin kentlerde hesaplanması, haritalanması ve modellenmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Bu çalışma kentsel alanlarda ekosistem hizmetlerine katkıda bulunmak amacıyla kullanılan InVEST aracının Kentsel Yağmur Suyu Tutma Modeli'nin Karşıyaka ilçesi örneğinde performansının değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda Karşıyaka İlçesi'nin, alan kullanım / arazi örtüsü, toprak ve yol verileri, alt havzaları gibi modelin ihtiyaç duyduğu veriler QGIS yazılımı yardımıyla belirlenerek InVEST aracı ile alanın yağmur suyu tutma potansiyeli hesaplanmış ve haritalanmıştır.

Bulgular sürekli kentsel dokunun hakim olduğu alanlarda yağmur suyunun neredeyse tamamının (%98'den fazla) yüzeysel akışa geçtiğini göstermektedir. Model ile hesaplanan yağmur suyu tutma hacimleri, akış hacimleri ve oranları hesaplanmış ve elde edilen bulgular temelinde InVEST Kentsel Yağmur Suyu Tutma Modeli'nin performansı yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler:(InVEST, ekosistem servisleri, yağmur suyu yönetimi, kentsel yağmur suyu)

2023, 76 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Determination of Stormwater Retention Potential in İzmir Karşıyaka District Urban Area Example with InVEST Model

Ayşenur TOPAL

**İzmir Demokrasi University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Landscape Architecture**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nurdan ERDOĞAN

Stormwater management in urban areas has become a growing problem. Global problems such as climate change, degradation of ecosystems, environmental pollution, increases in population, urbanization, and impermeable surface cover cause a decrease in the quality of life. In the face of these difficulties in cities, it has become important to determine the quantity, quality, and diversity of urban ecosystem services. Supporting ecosystem services is very important in creating sustainable and resilient cities. In recent years, studies on the calculation, mapping, and modeling of ecosystem services in cities have gained momentum.

This study aims to evaluate the performance of the Urban Stormwater Retention Model of the InVEST tool, which is used to contribute to ecosystem services in urban areas, in the example of Karşıyaka district. In this context, the data required by the model such as area use/land cover, soil and road data, and sub-basins of Karşıyaka District were determined with the help of QGIS software, and the stormwater holding potential of the area was calculated and mapped with the InVEST tool.

The findings show that almost all of the stormwater (more than 98%) passes into the surface runoff in areas dominated by a continuous urban pattern. Stormwater retention volumes, flow volumes, and rates calculated with the model were calculated and the performance of the InVEST Urban Stormwater Retention Model was interpreted based on the findings.

Keywords:(InVEST, ecosystem services, stormwater management, urban stormwater)

2023, 76 pages

1. GİRİŞ

Dünya, mevcut doğal yeşil alanların geçirimsiz yüzeylere dönüştüğü bir kentleşme sürecinden geçmektedir (Li ve ark., 2019). Dünya nüfusunun %50'si kentlerde yaşamaktadır ve 2050 yıllarında bu oranın %60'a çıkması beklenmektedir (Akman, 2021). Aşırı nüfus artışı, ekosistemlerin bozulmasında ve iklim değişikliğinin yaşanmasında hızlandırıcı faktörlerden biri olduğu için (István, 2020; Elmqvist, 2013), çevresel baskıya dikkat çekmek daha önemli bir durum haline gelmiştir (Vignoli et al., 2021). Daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler oluşturmak için, ekosistem servisleri çerçevesinin kentsel politikalara ve planlamaya entegre edilmesinin gerekli ve umut verici bir yol olduğu düşünülmektedir (Cortinovis vd., 2018; McPhearson vd., 2015; MEA, 2005). Ekosistemler, uygun şekilde yönetilirse, toplum ve insanlık için hayati önem taşıyan değerli hizmetler sağlayabilir (Reeth, 2013).

MEA (Binyıl Ekosistem Değerlendirmesi)'ya göre ekosistem hizmetleri; insanlara ekosistem fonksiyonlarından sunulan faydalar veya insanların refahı için ekosistemlerin doğrudan ve dolaylı katkıları olarak tanımlanabilir. Ekosistem hizmetleri, insanların yaşam kalitesi ve ekosistemler arasındaki ilişkiyi doğrudan etkiler. Kentlerde yaşayan insanların yaşam kalitesinin artmasında ekosistem hizmetlerinin büyük bir önemi vardır. Bu nedenle insanların refah seviyesi yüksek bir ortamda yaşamlarını devam ettirmeleri ekosistemin hizmetlerine ve sunduğu imkanlara bağlıdır (Esringü, A. ve ark. 2021). Ekosistem hizmetlerinin toplum için değerinin anlaşılmasıyla birlikte ekosistem hizmetlerini yönetme çabaları artmış ve şehir planlamalarına dahil edilme gerekliliği önem kazanmıştır (Ahern ve ark., 2014).

Şehir bölgelerinde çok karşılaşılan bir sorun olan yağmur suyu akışı oluşumu, toprak geçirgenliği, yağış yoğunluğu, eğim ve bitki örtüsünden etkilenen karmaşık bir süreçtir. Bu tip karmaşık hidrolojik süreçleri simüle edebilen hidrolojik modeller suyla ilgili ekosistem servislerinin değerlendirilmesinde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır (Yang ve ark., 2019). Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) (Kusreveark., 2010; Baker ve Miller, 2013), Ekosistem Hizmetleri için Yapay Zeka

(ARIES) (Villa ve ark., 2014), Entegre Ekosistem Hizmetleri ve Değerlendirme (InVEST) gibi su verimini tahmin etmek için nicel yöntemler sağlamaktadır (Vigerstol ve Aukema, 2011; Bai ve ark., 2013; Leh ve ark., 2013). Bunların arasında InVEST modeli, grid haritada nispeten düşük veri ihtiyacı olan ancak uzmanlık gerektiren bir yaklaşımdır ve ortalama bir yıllık zaman diliminde çalışmaktadır. Bu nedenle arazi kullanımı değişikliğinin çoklu ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için uygundur (Mingyue ve ark., 2021).

InVEST özellikle kentsel alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmış, ekosistem hizmetleri ile ilgili veri ve haritalar oluşturarak, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesini kolaylaştıran bir araçtır. Bu araç ekosistem hizmetleri teriminin Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi (2005) tanımını kullanmaktadır: "insanların ekosistemlerden elde ettiği faydalar." (Natural Capital Project, 2022).

Bu çalışma, InVEST aracının Kentsel Yağmur Suyu Tutma Modeli üzerinden, kentsel yağmur suyu tutma potansiyelini belirlemek için mevcut ve gelişmekte olan özelliklerine, modelin çalışması için gerekli verilere ve çıktı verilerine genel bir bakış sunmaktadır.

Çalışmada, ekosistemin su koruma hizmetlerini görsel ve nicel olarak değerlendirmek amacıyla İzmir Karşıyaka ilçesindeki kentsel su tutma potansiyeli belirlenmiştir. Potansiyelin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için yerel parametrelere sahip, ekosistem hizmetlerinin yönetilmesine yardımcı, yeni ama güçlü bir ekosistem hizmet modeli olması nedeniyle Entegre Ekosistem Hizmetleri ve Değerlendirme (InVEST) aracının kentsel su tutma modeli kullanılmıştır. Bu çalışma ile InVEST Kentsel Yağmur Suyu Tutma Modeli'nin potansiyelinin değerlendirilmesinin yanı sıra yaklaşımın kullanılabilirliği ve formatına ilişkin yapıcı yorum ve öneriler sunulmasına olanak sağlamak amaçlanmıştır. Aracın hala geliştirme aşamasında olduğunu belirtmek önemlidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ekosistem Servisleri

Ekosistem Servisleri kavramı bilimsel olarak ilk kez 1970’li yılların sonlarında ortaya çıkmıştır. Westman W.E.’nin 1977’de “doğal servisler” olarak ele aldığı bu terim, daha sonra Ehrlich P. ve Ehrlich A. tarafından “ekosistem servisleri” olarak 1981 yılında kullanılmıştır (Braat ve de Groot, 2012). Ekosistemler pek çoğu toplumun refahı ve sağlığı için hayati önem taşıyan sayısız hizmet üretmektedir (Comino vd., 2014). Ekosistemlerden elde edilen faydalar su, gıda, rekreasyon, temiz hava, tıbbi hammadde ve kültürel değerler gibi pek çok farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Doğanın bu faydaları tüm canlılar için hayati öneme sahiptir (Albayrak, 2012). 1990’larda ekosistem hizmetleri konusunda literatürde yer alan çok sayıda çalışma, ekosistem servislerinin ekolojik, sosyal ve ekonomik değerlerini tahmin etmeye yönelik çalışmalarda(Costanza ve Daly, 1992; Costanza vd., 1997; Daily, 1997; Toman, 1998; Wilson ve Carpenter, 1999) artış görülmüştür.

Daha sonra Dünya Kaynakları Enstitüsü tarafından 2005 yılında yayınlanan Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi (MEA) raporunda ekosistem hizmetlerinin, ekosistemlerden elde edilen faydaları ifade ettiği tanımı esas alınarak son yıllarda bilim dünyasında ekosistem hizmetleri konusuna verilen önem ve farkındalık artmıştır (Muhacir ve Tazebay, 2017). Ekosistem servisleri değerlendirmesi için önemli bir kaynak olan MEA(Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi), 1300'den fazla bilim insanının bir arada bulunduğu bir çalışmadır. Bu çalışmanın önemli noktalarından biri, araştırılan 24 ekosistem servisinden 15'inin küresel olarak bir düşüş durumunda olduğunun ve bunun gelecekte insan refahını olumsuz etkileyeceğinin ortaya konulmasıdır. Bu nedenle ekosistem servislerinin ölçülmesi, modellenmesi ve haritalandırılması için ekosistem servislerinin ne olduğunun ve nasıl sınıflandırılacağına açık bir şekilde ifade edilmesi gerekmektedir (Fisher vd., 2007; Engin F., 2022).

2.1.1. Ekosistem Servislerinin Sınıflandırılması

Ekosistem servislerinin sınıflandırılmasının tanımlarında farklılıklar görülmektedir. Bunlar; düzenleme, taşıyıcı, yaşam alanı, üretim ve bilgi hizmetleri gibi işlevsel gruplar (Lobo 2001; de Groot ve diğerleri 2002); belirli türlerle ilişkili, bazı dışsal girdileri düzenleyen veya biyotik varlıkların organizasyonu ile ilgili hizmetler gibi örgütsel gruplamalar (Norberg 1999); ve yenilenebilir kaynak malları, yenilenemeyen kaynak malları, fiziksel yapı hizmetleri, biyotik hizmetler, biyojeokimya hizmetleri, bilgi hizmetleri ve sosyal ve kültürel hizmetler gibi tanımlayıcı gruplamalar (Moberg ve Folke 1999).

Nitekim 2013 yılında yayınlanan Avrupa Komisyonu Teknik Raporuna göre kullanılabilecek ekosistem servislerine yönelik literatürde üç ana uluslararası sınıflandırma vardır (Engin F., 2022; Vatandaşlar, 2021). Bunlar; Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi (MEA), Ekosistem Hizmetlerinin Uluslararası Ortak Sınıflandırma Sistemi (CICES) ve Ekosistemlerin Biyoçeşitliliğinin Ekonomisi (TEEB)'nin yaptığı sınıflandırmalardır (Erdoğan B. U., 2020).

Bu uluslararası sınıflandırmaların ortak noktası ekosistemlerin sağladığı faydaları genel itibarıyla tedarik, düzenleyici ve sosyo-kültürel olarak nitelendirilebilecek üç temel başlıkta ele almalarıdır. TEEB sınıflandırmasında destek servisleri yerine, ekosistemlerin göçmen türlere habitat sağlaması ve gen havuzu oluşturmalarının önemini vurgulamak için habitat servisleri adında ayrı bir kategori tanımlanmıştır (European Commission Technical Report, 2013). CICES ise Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi'nde önerilen ekosistem servislerinin tipolojisini başlangıç noktası olarak almasına rağmen, kapsam olarak 'neyin nihai hizmet' olarak değerlendirildiğinin belirlenmesine odaklanmıştır. Sınıflandırma yapısı, bölüm, küme, grup, 3 sınıf ve sınıf türü olarak ana ve alt kategorilerden oluşan 5 kademedir (HainesYoung ve Potschin, 2018).

Milenyum Ekosistem Değerlendirme Raporu (MEA, 2003; 2005), ekosistem hizmetlerinin sınıflandırılması için geliştirilen ilk büyük ölçekli ekosistem değerlendirme sistemi olup daha sonraki TEEB (2010) ve CICES (2013) sınıflandırmalarında kabul görmüş ve seviyelendirilmiştir (Erdoğan B.U., 2020). Bu

nedenle TEEB ve CICES tarafından da benimsenen ilk büyük ölçekli ekosistem değerlendirmesi olan ve literatürde en yaygın kullanılan Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi (MEA) sınıflandırması temel alınmıştır.

Bu sınıflandırmaya göre ekosistem servisleri 4 ana başlık altında 30 gruba ayrılarak ele alınmıştır. Bunlar; düzenleyici servisler, destekleyici servisler, tedarik servisleri ve kültürel servislerdir (Tülek ve Mirici, 2019) (Tablo 2.1.). Aynı zamanda Trabucchi ve ark. (2012)'nin araştırmasında ekosistem hizmetlerine açıkça atıfta bulunan 13 çalışmada da bu dört hizmet kategorisinin ele alındığı belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Ekosistem hizmetleri sınıflandırması (MEA, 2005).

Tedarik Servisleri Ekosistemlerden elde edilen ürünler	• Besin • Temiz Su • Biyolojik Hammadde • Lifli Ürünler • Biyokimyasallar • Genetik Kaynaklar
Kültürel Servisler Ekosistemlerden elde edilen maddi olmayan faydalar	• Manevi ve Etik Değerler • Rekreasyon ve Eko-turizm • Estetik Değerler • İlham • Eğitici Değerler • Mekan Duygusu • Kültürel Miras
Düzenleyici Servisler Ekosistem süreçlerinin düzenlenmesinden elde edilen faydalar	• İklimi Düzenleme • Hastalık Regülasyonu • Su Regülasyonu • Su ve Atık Madde Arıtma • Tozlaşma
Destekleyici Servisler Diğer tüm ekosistem hizmetlerinin üretimi için gerekli hizmetler	• Toprak Oluşumu • Besin Döngüsü • Birincil Üretim

2.1.1.1. Tedarik Servisleri

Tedarik servisleri (Provisioning Ecosystem Services), ekosistemlerden doğrudan sağlanan ürünler ve hizmetleri ele alır. Çalışmanın en çok yapıldığı alandır. Bunlara örnek olarak, besin, temiz su, biyolojik hammadde (odun vb.), lifli ürünler, biyokimyasallar, genetik kaynaklar verilebilir (Esringü vd., 2021).

İnsan, su, enerji ve gıda gibi temel ihtiyaçlarını karşılamada doğal kaynaklara yüksek oranda bağlıdır. Su yaşamın devam ettirilmesi için temel öğelerden biri olmasının yanı sıra bir yaşam ortamıdır (Akın M. ve Akın G., 2007). Bu nedenle düzenleyici servislerin içinde yer alır. Tedarik servisi olarak, içme suyu, sulama ve endüstriyel amaçlı kullanılmaktadır. İnsanların temel ihtiyacı olan gıda, tarım alanlarından ve ormanlardan; mantar, meyve, baharat ve hayvan eti gibi orman ürünleri olarak sağlanabilir. Arazi kullanımlarının kalitesi yükseldikçe sağlanan hizmetlerin kalitesi ve miktarı da artacaktır (Pamukçu, 2015).

Biyolojik hammadde; odun, odun dışı orman ürünleri, lif ve biyo-yakıt gibi ürünler ekosistemlerin sunduğu biyolojik hammaddelerdir. Odun ve odun dışı orman ürünleri yani; reçine, bitkisel yağ vb. ürünler orman ekosisteminden sağlanmakta olan en önemli hammaddelerdir. Talebe göre, yapı, mobilya, ısınma, kağıt ve kağıt ürünleri gibi çeşitli sektörlerde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Biyokimyasallar; ilaçlar, gıda katkı maddeleri, tıbbi ürünler ve diğer biyolojik malzemeler gibi kaynaklar sağlar. Ekosistemlerin kaynak sağlayan hizmetleri arasında ayrıca ilaç yapımında kullanılan bazı doğal tıbbi maddelerin elde edilmesi ve biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliği için genetik kaynakların sağlanması da yer almaktadır. Genetik kaynaklar; bitki, hayvan yetiştiriciliği ve biyoteknolojiden elde edilen genler ve genetik bilgileri kapsamaktadır (Albayrak, 2012). Ayrıca hayvanlardan ve bitkilerden sağlanan dekoratif amaçlı ürünler (deri, çiçek, inci gibi) ile tüm bitkilerin peyzaj düzenlemelerinde ve dekoratif amaçlı kullanılması da ekosistemlerin kaynak sağlayan hizmetleri arasında yer alır.

2.1.1.2. Kültürel Servisler

İnsanlık tarihi boyunca sahip olduğumuz kültürel kimlikler, ekosistemlerden güçlü bir şekilde etkilenmişlerdir. Kùltürler ekosistemlere göre,ekosistemler ise insanların genellikle belirli ve değerli hizmetlerin kullanılabilirliğini arttırmak için çevresini etkilemesi ile şekillenmiştir (de Groot vd., 2005).

Kùltürel servisler (Cultural Ecosystem Services), rekreasyon ve turizm olanakları sağlayarak insanlar için kentsel alanların estetik değerini arttırmakta, yerel kimliği ve mekan duygusunu korumakta, kùltürel bir zenginleşme olanağı sunmakta, bu sayede insan ve toplum refahı için gerekli bir dizi fayda sağlamaktadır (Geneletti vd., 2020). Şehirler insanlar adına stresli bir yaşam ortamı olabilmektedir. Bu nedenle kent parkları, kentsel ormanlar ve nehirler gibi ekosistemlerin çeşitli rekreasyon aktiviteleri için olanaklar sağlaması, insan sağlığı ve refahı üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadır (Konijnendijk et al.2013). MEA (2005) raporunda, kùltürel servisler; insanların ruhsal olarak zenginleşmesi, derinlemesine düşünme, bilişsel gelişim, eğlenme ve estetik deneyimler yoluyla ekosistemlerden elde ettiği maddi olmayan faydalar şeklinde tanımlanmıştır.

Manevi ve etik değerler, toplumların ekosistemlere ve bileşenlerine manevi ve dini anlamlar yüklemesidir (MEA, 2005). İnsanların kendinden daha büyük bir şeyin parçası olduklarını hissetmesi ve doğaya daha bağlı hissetmeleri (Bryce ve diğerleri, 2016) gibi sıfatların ortak anlamı manevi değerlerin, ekosistemlerin getirdiği psikolojik faydalardır (Cooper vd., 2016).

Estetik Değerler insanların memnuniyet derecesiyle ilgilidir. Estetik nitelikleri ve çeşitli manzaraları ile doğal ve kültürel alanlar kampçılık, yüzme, doğa yürüyüşü, binicilik gibi birçok doğa aktivitesi imkanı sunar (de Groot vd., 2005).

Kültürel miras değerleri,kolektif ve bireysel olarak insanoğlunun tarihsel kökleriyle ilişkili, karakteristik özelliklere sahip ekosistemlerle bağlantılıdır(de Groot vd., 2005). Birçok toplum, tarihsel veya kültürel değerlere sahip yerlere önem vermektedir. Antik çağdan kalan bir yapı ve anıt bir ağaç bunlara örnek verilebilir (Bertiz, 2022). Bu hizmetlere duyulan talep sosyo-ekonomik, demografik ve sosyo-kültürel yapı ile bağlantılı olarak değişim gösterdiği gibi, kırsal, yarı kentsel ve kentsel alanlarda yaşayan insanlara göre de değişmektedir (Pamukçu, 2015).

Ekosistemler tarih boyunca bilimsel, sanatsal ve mimari açılarından insanlar için sınırsız bir ilham kaynağı olmuştur (Albayrak, 2012). İlham; özellikle yaratıcı bir şeyler yapmak adına zihinsel olarak uyarılma sürecidir. Örneğin ilham verici bir değeri somutlaştıran ve diğer insanlar için daha fazla kültürel fayda kaynağı sağlayabilecek bir eylem veya bir sanat eseri olabilir (Coscieme, 2015). Kültürel ekosistemlerin ilham değeri, sanat için ilham kaynağı olmak veya doğayla sanat yaratmak gibi yönleri içermektedir (Riechers vd., 2016).

2.1.1.3. Düzenleyici Servisler

Düzenleyici ekosistem servisleri, hava kalitesinin korunması, iklimin düzenlenmesi, erozyon kontrolü, su ve atık madde arıtımı, tozlaşmanın düzenlenmesi, salgın hastalık önleme, atmosfere salınan kimyasalların önlenmesi, su akışının ve zamanlamasının düzenlenmesi, doğal afet kontrolü, zararlıların azaltılması gibi ekosistemlerin doğal süreçlerinden elde edilen faydalardır (MEA, 2005; Smith et al., 2013).Haines-Young ve Potschin (2018)'e göre düzenleyici servisler; canlı organizmaların dış çevreyle etkileşime girerek insanların yaşamını güvence altına aldığı tüm hizmetlerdir.

İklim düzenlenmesi en kritik düzenleyici servisleri arasında yer almaktadır. Ekosistemler iklimi yerel ve küresel olarak etkiler. Örneğin, yerel ölçekte, arazi örtüsündeki değişiklikler yağış miktarını ve sıcaklığı etkileyebilir.

Ekosistem servislerinin hastalıkların önlenmesindeki rolü, ekosistem yapısındaki değişikliklerle ilgilidir. İnsanların çevresi ile etkileşimi yüksek olduğu için yaşadığı mekan ve yaşam kalitesi arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir (MEA,2005). Bu ilişkinin Hipokrat’tan itibaren hastalıklarla bağlantılı olduğu savunulmuştur (Yiğit, 2011). Hipokrat yaklaşık 2500 yıl önce iklimin halk sağlığı üzerinde gözlemler yapmış, “Hava, Su ve Yer” adlı kitabında ani iklim değişikliklerinin ve olağanüstü hava koşullarının çeşitli bulaşıcı hastalıklara neden olabileceğini belirlemiştir (Falagas vd., 2010). Aynı zamanda ekosistemdeki değişimler bitki ve hayvanlardaki hastalık ve zararların yayılımını da arttırmaktadır (Burkhard ve Maes, 2017).

Su akışının düzenlenmesi ve yüzey akışının hafifletilmesi düzenleyici servislerin sağladığı bir diğer önemli faydadır. Özellikle tarım alanı olan ormanlar ve kentsel alanlar içeren tarım alanlarının dönüştürülmesi dahil olmak üzere arazi örtüsündeki değişiklikler sistemin su depolama potansiyelini büyük ölçüde etkilemektedir (MEA, 2005).

Atıklar, insan faaliyetlerinin yan ürünüdür. Endüstriyel, tıbbi, kimyasal, tarımsal ve evsel kullanımlarla oluşurlar. İnsan refahına ve ekosisteme zarar vermeden atıkları absorbe etme kapasitesi, ortamın ekosisteminin atık işleme, ayrıştırma ve izole etme yeteneğine bağlıdır (Ahmed ve Osibanjo, 2005). Kent içindeki yeşil alanlar, yağmur suyu ile birlikte azot ve fosfor gibi maddeleri de tutarak atık suyun arıtılmasını ve temizlenmesini sağlamaktadır (Yang ve ark., 2015).

Ekosistem hizmetlerinin düzenleyici hizmetleri arasında bitkilerin tozlaşmasını sağlaması da yer almaktadır. Doğal karasal ekosistemler, hayvanlar için yaşam alanı sağlarken aynı zamanda bitkilerin hayvanlar aracılığıyla tozlaşmasına, dolayısıyla insanlara besin sağlamasına ve biyoçeşitliliğin korunmasına yardımcı olmaktadır (Pamukçu, 2015).

2.1.1.4. Destekleyici Servisler

Destekleyici servisler (Supporting Ecosystem Services), diğer tüm ekosistem servislerinin var oluşunu ve sürdürülebilirliğini destekleyen servislerdir. Diğer sınıflardan farklı olarak insanlar üzerindeki etkileri dolaylı ve uzun dönemde görülmektedir (Bertiz, 2022; Engin, 2022). Ekosistemlerdeki madde döngüsü (besin, su, karbon döngüsü gibi), toprak oluşumu, oksijen üretimi ve türler için habitat oluşumunu sağlar (Çokçalışkan, 2016).

Birçok tedarik servisinin toprak verimliliğine bağlı olmasından dolayı toprak sınıfları ve çeşitliliği insan refahını birçok yönden etkilemektedir. Yaşamın devamlılığı tüm canlılar için bir şekilde toprağa bağlıdır. Ekosistem hizmetlerinin gerçekleşmesi de toprağa ve toprak verimliliğine bağlıdır.

Ekosistemler öncelikle üretilen enerjiyi ve besini ifade etmektedir. Besinler farklı oranlarda ve ekosistemlerin farklı kısımlarında döngü içindedir. Ekosistemlerin başlıca işlevlerinden biri madde döngüsü ve enerji akışıdır. Besin döngüsü de fotosentez ile gerçekleşen sürekli bir ekolojik süreçtir.

2.1.2. Ekosistem Servislerinin Haritalanması ve Modellenmesi

İnsan faaliyetlerinin neden olduğu çevresel değişimlerin ekosistem servisleri üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için ekosistem servislerinin hesaplanması, haritalanması ve modellenmesine yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır. Bu kapsamda ekosistem servislerini hesaplamak için kullanılan; CUFR Tree Carbon Calculator (CTCC), Enviro Atlas, I-tree Eco, UFORE (Urban Forest Effects Model) ve inVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) gibi modeller ve denklemler geliştirilmeye odaklanılmıştır (Tallis ve ark., 2011; CUFR, 2008; Pickard ve ark., 2015; Hepcan C. Ve Hepcan S., 2018; USDA Orman Hizmetleri, erişim: 2023).

EnviroAtlas, evresel, ekonomik ve demografik verileri bir ekosistem hizmetleri çerçevesinde bir araya getirerek çeşitli ihtiyaçları karşılamayı amaçlayan web tabanlı, açık erişimli bir araçtır. Amerika Birleşik Devletleri, Çevre Koruma Ajansı (US EPA) ve ortakları tarafından geliştirilen EcoINFORMA'nın önemli bir bileşenidir. Bu model, kullanıcıların ekosistem servislerini ölçmek ve haritalamak için çeşitli bilgi erişimine, bunların görüntülenmesine ve analiz edilmesine olanak sağlar. Ayrıca bu model çeşitli ekosistem servisleri veri görselleştirme ve analiz araçlarına ek olarak, InVEST ve ARIES gibi diğer ekosistem servis araçlarında kullanılmak üzere veri indirme olanağı sağlar (Pickard ve ark., 2015).

UFORE (Urban Forest Effects Model) modeli, yeni adıyla i-Tree Eco, kentsel ağaçlarının maliyetini ve faydalarını tahmin etmek için kullanılır. 1990 yıllarının son çeyreğinde Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Orman Hizmetleri tarafından kentsel ormanlarının yapısını, değerini ve işleyişini ölçmelerine yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Şehre özgü bitki yapısını ve işleyişini ölçmek için, bitki örtüsü verilerini, yerel saatlik meteoroloji verilerini ve kirlilik konsantrasyonu ölçümlerini birleştirir. (Nowak ve Crane, 2000).

Kent ağaçlarının karbon tutma, azaltma potansiyeli, düzenleyici bir ekosistem hizmeti olarak kabul edilmektedir (Escobedo ve ark., 2011). Mevcut başka bir model, USDA Orman Hizmetleri, Pasifik Güneybatı Araştırma İstasyonu'nun geliştirdiği, Kent Ormanı Araştırma Merkezi'nin (CUFR) Ağaç Karbon Hesaplayıcısıdır (CTCC; Kent Ormanı Projesi Raporlama Protokolü, 2008). CTCC, şehir ağaçlarının CO² tutmasını ve binaların ısıtma ve soğutma enerji tasarruflarını tahmin eden bir modeldir (Russo ve ark., 2014).

Russo ve ark. (2014) çalışmalarında, mevcut iki karbon tahmin modeli olan UFORE (Kentsel Orman Etkileri Modeli) ve CUFR Ağaç Karbon Hesaplayıcısı (CTCC) araçlarını kullanarak yer üstü karbon depolamasını ve tutulmasını ölçmek için bir protokol geliştirdi. Çalışmanın amacı İtalya'nın Bolzano kentindeki ağaçların yer

üstü karbon depolamasını ve tutulmasını tahmin etmek ve Avrupa'da giderek artan bu yöntemin performansını, ABD'den alınan karbon depolama ve ayırma modelleri ile karşılaştırmaktır. Bu doğrultuda karbon denkleştirme potansiyelini en üst düzeye çıkarmak, ekosistem hizmetleri sağlamak için Kuzey İtalya'daki kentsel ormanları planlamak, tasarlamak ve yönetmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Eğri Numarası Yöntemi (Curve Number Method-CN Method), Toprak Koruma Hizmetleri (Soil Conservation Service-SCS), günümüzdeki adıyla Doğal Kaynakları Koruma Hizmetleri (Natural Resources Conservation-NRCS), tarafından 1954 yılında geliştirilen ve yağış verisi kullanılarak yüzey akışı tahmini yapılabilen bir modeldir (Özeren Alkan, M., &Hepcan, Ş., 2022). Eğri Numarası Yöntemi bir çok çalışmada kullanılmıştır (Ho et al., 2001; Huang et. al., 2006; Özdemir, 2007; Eraydın vd., 2015; VojtekandVojteková, 2016; Hepcan C. ve Hepcan S., 2018; Alphan ve Coşkun Hepcan, 2019; Özeren Alkan, M., &Hepcan, Ş., 2022).

Özeren Alkan, M., &Hepcan, Ş. (2022) çalışmalarında, “Eğri Numarası Yöntemi” (NRCS CurveNumber (CN) Method)’ni(NRCS, 1999c) temel alan ve Sharpleyand Williams (1990)tarafından ortaya koyulan “Eğim Entegrasyonlu CN Hesaplama Yöntemi” (TheModified NRCS CN Method) kullanılarakBornova Çayı Havzası’nda ne kadar suyun yüzey akışa geçtiği hesaplanmıştır. Şehir planları incelenmiş ve mevcut arazi kullanımlarının plan kararları ile uyumu irdelenerek havza için arazi kullanım değişim senaryoları oluşturulmuştur. Bu sayede sürdürülebilir bir yağmur suyu yönetim anlayışı ve bu anlayışın uzantısı olarak suya dayalı, akılcı, sürdürülebilir planlama öneri ve çözümleri geliştirilmiş ve havzada yüzey akışa geçen yağmur suyu miktarının kontrol edilmesinin mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

Hepcan C. ve Hepcan S., (2018) araştırmasında, kentsel yeşil alanların bir parçası olarak, İzmir Ege Üniversitesi, Rektörlük bahçesi alanında USDA NRCS tarafından geliştirilen SCS-CN yöntemini kullanarak, binalar, kaldırımlar, yeşil alanlar ve çıplak topraklar için yağmur suyu akış tutma hesaplamaları yapmıştır.

Çakmak, M. H., & Melda, C. A. N. (2020) çalışmasında kentleşmenin hareketli olduğu ve çokça tahribata uğramış Mamak İlçesinin hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem servislerinin hesaplanması amacıyla Birleşik Devletler Tarım Departmanı'na bağlı Orman Hizmetleri birimi (USDA-United States Department of Agriculture, U.S. Forest Service) tarafından geliştirilen I-treecanopy V 6.1 modelini kullanmıştır. Model ile elde edilen arazi örtüsü sonuçları kullanılarak yine model üzerinden taç örtüsünden sağlanan yararlarla ilişkin atmosferden uzaklaştırılan zararlı kirleticiler ekosistem hizmetleri kapsamında tahmin ve analiz edilmiştir. Sonuçta çalışma kapsamında hesaplanan değerler; yeşil alanların, ormanların, ağaçların vb. alanların ekolojik ve ekonomik açıdan ne kadar önemli olduğunu ve neden korunması gerektiğini ortaya koyulmuştur.

Ekosistem hizmetlerinin hesaplanması çalışmalarının sayısının özellikle kentsel alanlarda artırılması, şehirlerin plan kararlarına yol gösterecek altlıklar olarak kullanılabilirliği anlamında önemli bir yol gösterici olabilir (Çakmak, M. H., & Melda, C. A. N., 2020).

2.2. Yağmur Suyu Yönetimi

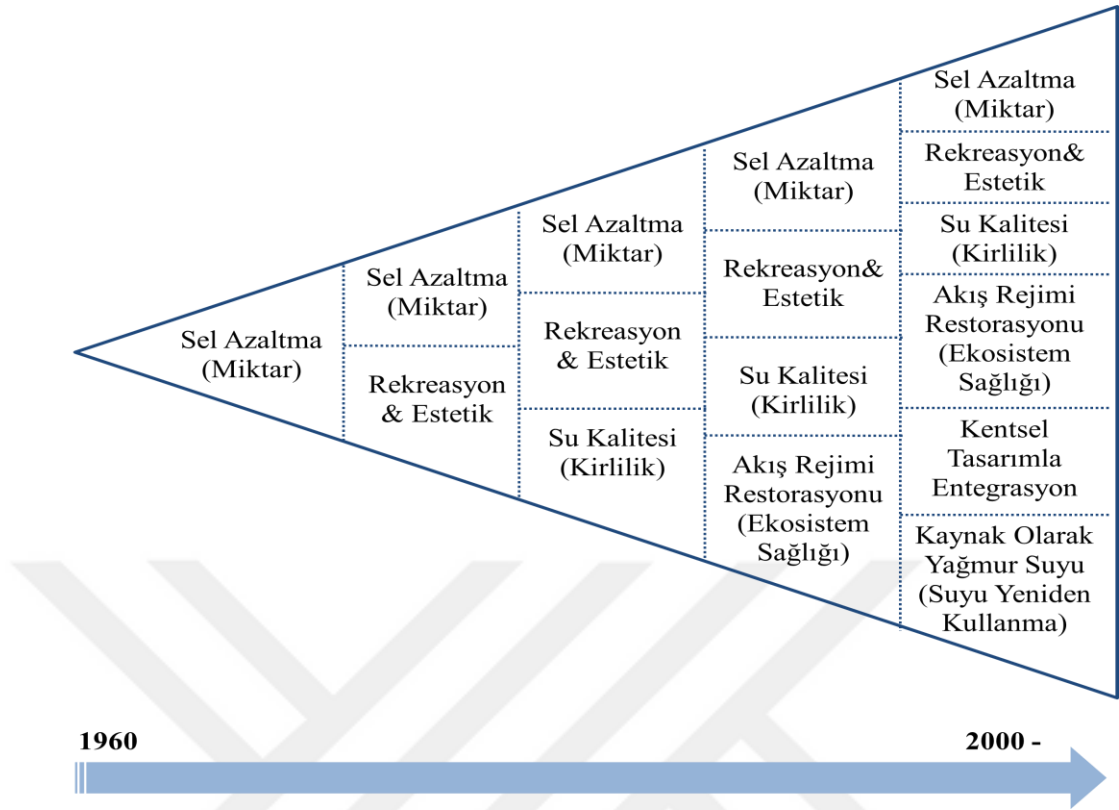
Doğada yağmur suyu hidrolojik döngüdeki suyun ilk halidir (Sert, 2013). Yağış, suyun bulutlardan kar, yağmur, ya da dolu şeklinde yeryüzüne düşmesi olayıdır. Bu durum atmosferdeki suyun yeryüzüne geri dönüşünün başlıca yoludur (Doğangönül Ö. ve Doğangönül C., 2009).

Yağmur suyu ile ilgili uygulamalar milattan önceki devirlere kadar uzanmaktadır. Bu da kentleşmenin daha ivme kazanmadığı yıllarda da insanoğlunun su yönetim ile ilgilendiğini göstermektedir. Bu konudaki ilk örneklerin, MÖ. 1. Yüzyılın başlarında İranlılar alçak rakımlı tarım arazilerini sulama amacıyla geçirimli katmanlar aracılığıyla su taşıyan yatay yeraltı suyolları olduğu kabul edilmektedir (Staddon,

2010). MÖ. 2. Yüzyılda ise Mezopotamya’da atık yönetimi, sel kontrolü, yağmur sularının evsel kullanımı ve sulama amaçlı depolanma gibi amaçlarla yağmur suyunu kullanılmıştır (Algaze, 2001; Tamburrino, 2010; Bulut E. Ve ark., 2020). Kazılarda ulaşılan bilgiler ışıında 2000 yıl öncesine ait olduğu düşünölen su sarnıçları bulunmuştur (Doğangönöl Ö. ve Doğangönöl C., 2009).

Kentlerin oluşumıyla modern drenaj sistemlerine geçilmiş ve insanların suya erişimi kolaylaştırmıştır. Bunun sonucunda yağmur suyu depolama bir süre unutulmuştur (Gölcü, 2021). Bu arada kentlerin zamanla büyümesi ile kentsel yüzey alanları gittikçe daha fazla bina, otopark, yollar gibi kentsel altyapı ile kaplanmıştır ve bu da sıkıştırılmış topraklarda ve geçirimsiz yüzeylerde artışa yol açmıştır. Bu, kentlerin infiltrasyon kapasitesi ve yeraltı suyunun deşarjı azalırken, buharlaşmayı arttırarak kentin hidrolojik döngüsünü bozmuştur (Rodriguez ve ark., 20018; Wang ve ark., 2018). Devam eden iklim değışikliği ve hızlı kentleşme ile geleneksel yağmur suyu yönetim sistemlerinde büyük zorluklar yaşanmaya başlamıştır ve kentsel alanlarda sık sık taşkınların meydana gelmesine neden olmuştur (Herslund ve Mguni, 2019). 1960’larda taşkın önleme için sadece yağmur suyu miktarının yönetimi anlayışı benimsenirken, sonraki yıllarda yağmur suyu yönetimi için hedefler çeşitlenmiştir (Roy ve ark., 2008). Şekil 2.1.’deki gibi önce rekreasyon ve estetik kaygılar ön plana çıkmaya başlamış daha sonra zaman içinde yeni terimler geliştirilip benimsenerek bütöncöl bir yaklaşıma doğru evrime uğramıştır(Fletcher ve ark., 2015).

Geleneksel yağmur suyu yönetiminin sürdürülemez olmasının anlaşılmasıyla sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi (SSM) teşvik edilmeye başlamıştır. Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi yeşil altyapıyı kullanarak yağmur suyu akışını yönetmeyi ve yağmur suyunu yerinde arıtarak iklim değışikliğine uyum sağlamayı amaçlar. Aynı zamanda sürdürülebilir kentler elde etmenin önemli bir yönü olan sosyal, ekonomik ve çevresel amaçlar için birçok ekosistem servisini sağlamayı hedefler (Herslund ve Mguni, 2019; Habtemariam ve ark., 2019).



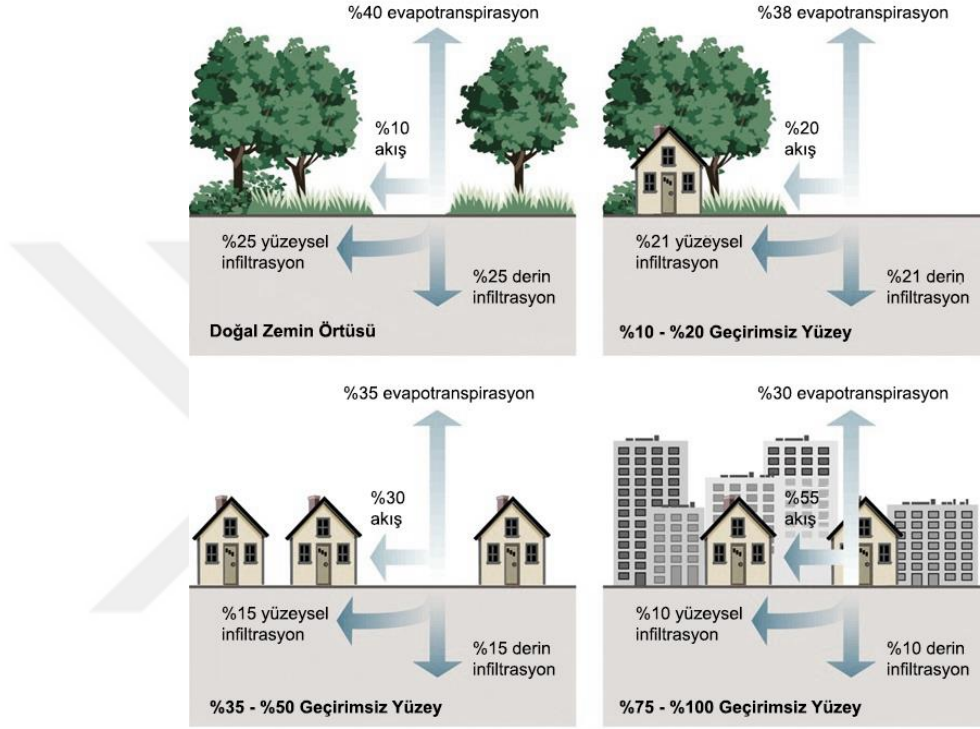
Şekil 2.1. Zaman içinde kentsel drenaj yönetiminin artan entegrasyonu (Roy ve ark., 2008 ve Fletcher ve ark., 2015’den uyarlanmıştır).

2.2.1. Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi

1950’li yıllardan itibaren kentlerin nüfusundaki artışa bağlı olarak kentsel yağmur suyu yönetimindeki mevcut drenaj sistemleri yetersiz kalmaya başlamış olmasına rağmen, 1970’li yıllara kadar kentlerin su politikalarında benimsenen geleneksel yaklaşımlar kullanılmaya devam etmiştir. Bu nedenle aşırı yağışlarda, kanalizasyonların taşması ile halk sağlığının bozulmasına neden olabilecek maddelerin çevreye yayılması, alıcı sularda kirliliğin artması, sellerin görülmesi gibi kentsel çevreyi kirleten olumsuzluklar yaşanmıştır (Şevket, 2005).

Kentlere düşen yağmur suları geniş açık arazilere, akarsu yatakları yerine çatılara, beton ya da asfalt yüzeylere düşmekte ve bu nedenle de yağmur sularının

buharlaşması ve infiltre olması beklenirken, büyük bir kısmı yüzeysel akışa geçmektedir (HuaandLiu, 2012). Yağmur suyunun geçirimsiz yüzeyler üzerinde yüzeysel akışa geçmesi, suyun kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Hızla yüzey akışa geçen su, yapıları alanlardaki kirleticiler ve atık suların karışması nedeniyle yağmur suyu kirletici kaynak hali gelmektedir (ButlerandDavies, 2011) (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Geçirimsiz örtü ve yüzey akışı arasındaki ilişki (Schueler, 1995).

Ayşenur Topal (2023) tarafından Türkçeye çevrilmiştir.

Yıllardır yağmur suyu yönetimi ile ilgili yapılan çalışmalarda yağış ile oluşan su miktarı kontrol edilmeye çalışılmış ve selden korunma önlemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. İnsanların evlerinin aşırı ve ani yağışlardan etkilenmemesi, sel riskinden korunması amacı ile hareket ettikleri için suyun yüzeye düştüğü yerden en yakın su kaynağına ulaştırılması temel prensip olmuştur. Kentsel peyzajlarda yağmur suyu, ortadan kaldırılması gereken bir atık su sorunu olarak görülmüş, suyun en kısa sürede uzaklaştırılmasına odaklanılmıştır. Bu süreçte suyun kalitesinin ve su kaynaklarındaki debinin korunması göz ardı edilmiştir (Methods ve Durrans, 2003).

Yakın zamanda yağmur suyunun istenmeyen bir varlık olma durumundan, özenli bir şekilde yönetilmesi gereken doğal bir kaynak olduğu bilincine varılmıştır. Son yıllarda yağmur suyunun en kısa sürede uzaklaştırılması üzerine odaklanan yönetim stratejilerinin yerini suların yeraltına sızdırılması ve yağmur suyunun yerinde değerlendirilme stratejisi almıştır (Echols ve Pennypacker, 2015).

Yağmur suyu yönetimi, yağmur suyu akışını yönetmeyi, yerinde yağmur sularını arıtmayı ve iklim değişikliğine uyum sağlamanın, sürdürülebilir ve dayanıklı şehirler elde etmenin önemli bir yönü olarak görülen sosyal, ekonomik ve çevresel amaçlar için diğer birçok ekosistem hizmetini sağlamayı amaçlamaktadır. (Qiao, Kristoffersson ve Randrup, 2018; Habtemariam, Herslund ve Mguni, 2019 ; Herslund ve Mguni, 2019).

Bir çok araştırmacı, geleneksel drenaj çözümlerinin kentsel çevreler üzerindeki olumsuz etkilerini araştırarak, uzun vadede sürdürülebilirliği konusunda endişelerini dile getirmiştir (Roy ve ark., 2008; Zevenbergen ve ark., 2008). Geleneksel sistemlerin kurulum ve restorasyonu maliyet ve zaman açısından zorlayıcı unsurlardır (Wilderer, 2004). Bu sistemler esnekliğe sahip olmadığı için sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayamayabilir (Stewart ve ark., 2008; Zhou, 2014).

Methods ve Durrans (2003)'in çalışmasında kentsel havzalarda alıcı su ortamlarının sorunları ele alınmıştır (Tablo 2.2.).

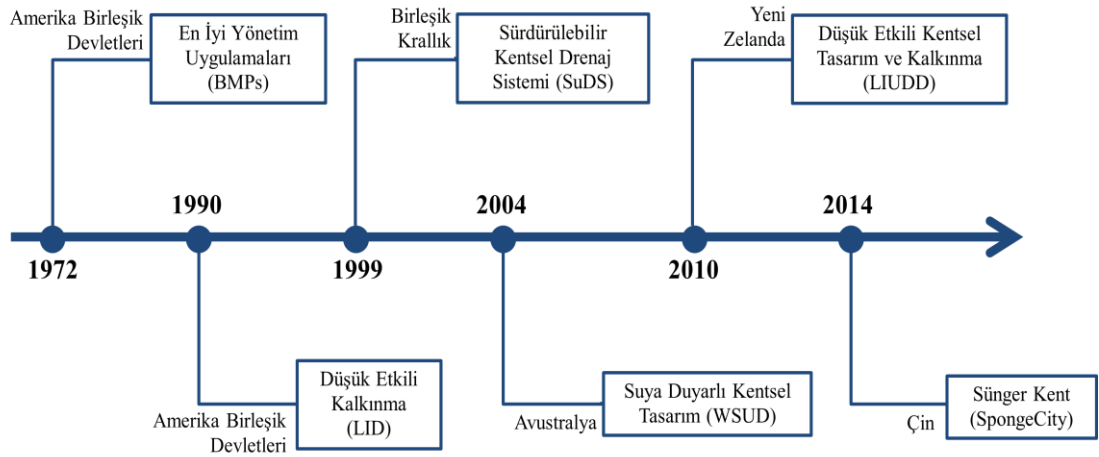
Tablo 2.2. Yüksek yoğunluklu kentsel havzalarda alıcı su ortamlarında görülen sorunlar (Methods ve Durrans, 2003).

Kentsel Havzalarda Alıcı Su Ortamlarının Sorunları
Yağmur suyu iletim sistemlerinde çökelti ve moloz birikimi
Su kalitesinin bozulması
Alg oluşumu ve gelişimi
Balık ve su besinlerinin tüketilemez hale gelmesi

Kentsel Havzalarda Alıcı Su Ortamlarının Sorunları
Alıcı su koridorlarında çöp ve çökelti birikimi
Habitatların yok olması
Şiddetli suyun akarsu tabanını oyması ve tabanda yaşayan canlı organizmaları sürükleyerek akarsu erezyonu yaratması
Su taşıyan altyapı sistemlerinde yaşanabilecek sel olayları nedeniyle yerleşim alanlarının zarar görmesi
Patojenik organizmalar nedeniyle halka açık yüzme alanlarının kullanılamaz hale gelmesi
Akuatik organizmaların, ağır metal ve organik toksinlere karşı zamanla daha az duyarlı olması

2.2.2.Dünyada Geliştirilen Sistemler

Yağmur suyu akışı ile ortaya çıkan olumsuz etkileri hafifletmek ya da ortadan tamamen kaldırmak adına zaman içinde farklı ülkelerde sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi kapsamında teknolojik gelişmeler yaşanmıştır (Hadhinata ve ark., 2021; Gülcü, 2021) (Şekil 2.3.). Sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi ile dünya çapında büyük araştırma projeleri başlatılmıştır. Sürdürülebilir sistemlerin teknikleri, şekil 1.1’de gösterildiği gibi dünyanın birçok yerinde farklılık göstermekle birlikte benzer tasarım felsefeleri ile uygulanmaktadır (Zhou, 2014). Tüm dünyada giderek yaygınlaşan bu sistemler yalnızca su yönetimi sağlamakla kalmayıp su kaynaklarının korunmasına, yağmur sularının kullanılmak üzere geri dönüştürülmesine, ekosistemlerin ve biyoçeşitliliğin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Bu sistemlerin genel çalışma prensibi hidrolojik döngüyü devam ettirebilmek için yağmur suyunun doğal veya yapay su göllerine bırakılana kadar akış oranını azaltmak ve kısa bir süre yüksek kapasiteli tutma havzalarında ya da sulak alanlarda bekletilmesine dayanmaktadır (Gülcü, 2021).



Şekil 2.3.Uluslararası düzeyde kentsel su yönetiminin gelişimi (Hadhinata ve ark., 2021).

Yağmursuyu akış hacmini ve sel riskini azaltmak için, merkezi olmayan sel yöntemi dünya çapında kademeli olarak kabul edilmektedir (Hamel, Daly ve Fletcher, 2013). Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada’da Düşük Etkili Geliştirme (LowImpact Development), (LID), su yönetimi, ekosistemleri korumak ve yeniden oluşturmak için doğal süreçlerin kentsel çevre ile etkileşimini teşvik eden bir yaklaşım benimser. LID kavramı ilk kez Amerika Birleşik Devletleri Vemort’ta arazi kullanım planlaması üzerine bir raporda kullanılmıştır (Barlow ve ark., 1977). LID, büyük havza restorasyonu yerine yeşil çatılar, biyolojik tutma ve geçirgen yüzeyler gibi küçük ölçekli yağmur suyu arıtma eğilimindedir (Ahiablame ve ark. 2012). Kavram zamanla değişerek yaygınlaşmıştır ve 2009’da North Carolina Eyalet Üniversitesi tarafından yayınlanan kılavuzda kentsel gelişim için hidrolojik tasarımlar oluşturulmuştur (Perrin ve ark. 2009). Benzer yaklaşım örnekleri Amerika Birleşik Devletleri’nde, En İyi Yönetim Uygulaması (BMP), ve Yeşil Altyapı (GI)’dır (Dagenais, Thomas ve Paquette, 2017).

ABD, dağınık kirlilik sorununu yıllar önce fark ederek 1987’de Temiz Su Yasası’nda yapılan büyük bir değişiklikle, konuyu ele almak için ulusal eylem programlarına yol açan hükümlerde bulunmuştur. Son yıllarda su kalitesini iyileştirme ihtiyacına ilişkin artan farkındalık, kirlilik sorunlarına sahada pratik bir çözüm sağlamayı amaçlayan

önlemler olan En İyi Yönetim Uygulamaları (BMPs) kavramıyla sonuçlanmıştır. BMP, kirleticilerin deşarjını azaltmak ve alıcı sular üzerindeki potansiyel etkileri en aza indirmek için uygulanan operasyonel faaliyetlerdir. Fiziksel kontrolleri veya eğitim önlemlerini ifade eder ve buna göre, kirleticilerin salınması, taşınması veya boşaltılması üzerinde doğrudan etkileri olan yapısal ve yapısal olmayan uygulamaları ifade etmektedir (Field R. Ve Tafuri A., 2006).

Yeşil Altyapı (Green Infrastructure - GI), yeşil alan ağı olarak hem peyzaj mimarisinde hem de peyzaj ekolojisinde kökeni bulunan bir kavramdır. Yeşil çatıların, geliştirilmiş infiltrasyon sulak alanların, hendeklerin, geçirgen kaldırımların, yağmur bahçelerinin, yeşil alanların ve kentsel doğal bitki örtüsü koridorlarının birleştirilmesi, kentsel rahatlığı iyileştirmeyi, sel ve kirlilik risklerini azaltmayı hedeflemiştir (Radcliff, 2019; Gülcü, 2021).

İngiltere'nin Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemi (Sustainable Urban Drainage System), (SUDS), değerli su kaynaklarının kirlilikten korunmasına, biyolojik çeşitliliğin ve doğal kaynakların ihtiyaçlar için korunmasına ve halk sağlığının sürdürülebilirliğine odaklanmıştır. Benzer şekilde, Avustralya'nın Suya Duyarlı Kentsel Tasarımı (Water Sensitive Urban Design), (WSUD) (Wong 2006), SUDS'ın bir parçası olduğu ve temel olarak çevresel bozulmayı en aza indirmek için kentsel su yönetimini şehir peyzajına sürdürülebilir bir şekilde entegre etmeye yönelik bir planlama ve mühendislik yaklaşımını ifade eden havza çapında bir yaklaşımdır. Amaçları arasında akış kontrolü, taşkın kontrolü, su kalitesinin iyileştirilmesi ve suyun yeniden kullanımı yer almaktadır. Günümüzde WSUD kullanımı artık Avustralya ile sınırlı olmayıp Kentsel Drenaj Ortak Komitesi (JCUD), 2004 yılında özel bir WSUD çalışma grubu kuran Uluslararası Su Birliği (IWA) ve Uluslararası Hidrolik Mühendisliği ve Araştırma Birliği (IAHR) tarafından ortaklaşa yürütülmektedir (Wong, 2006; FeiranLi, Jianfeng Zhang, 2022).

Avustralya'da sürdürülebilir drenaj çözümleri konusundaki en büyük araştırma faaliyetlerinden biri kentin daha yaşanabilir hale dönüştürülmesi için sürdürülebilir

su stratejilerini sunmak adına 70'in üzerinde disiplinler arası çalışma ile Suya Duyarlı Şehirler İçin Kooperatif Merkezi (CRC) yaklaşımı bulunmaktadır (Langenbach, 2008; Wong, 2009).

Yeni Zelanda'nın Düşük Etkili Kentsel Tasarım ve Geliştirme (Low Impact Urban Design and Development), (LIUDD) (Ignatieva, Stewart ve Meurk, 2008), kirlilik akışından çok kirlilik kontrolüne önem vermektedir. LIUDD'nin ilkeleri ve yöntemleri bazı ülkelerde politika çerçevesi olarak geliştirilmiştir (Ignatieva ve ark. 2008 ; vanRoon 2011). Bu fikirlerin tümü, doğal hidrolojik yöntemler ve ekolojik önlemlerle kaynaktaki yüzey akışını kontrol etmeye odaklanmıştır (Zhou, 2014). Bu gelişimlerin anlaşılması, diğer ülkelerin tekrarlanan hatalardan kaçınmasına ve yağmur suyu yönetim sistemlerinin geliştirilmesini teşvik etmeye yardımcı olabilir (Jensen ve ark., 2020).

Çin'in Sünger Kent (Sponge Cities) yaklaşımı, yağmur suyunun doğal birikimi, doğal sızması ve doğal arıtımı ile kentsel yağmur suyu yönetim sistemi olarak yorumlanan kentsel gelişim vizyonudur (FeiranLi, Jianfeng Zhang, 2022). ChanF. ve ark., (2018)'na göre Sünger Kent konseptinin amacı; Amerika Birleşik Devletleri'nin geliştirdiği LID yaklaşımı benimsemek ve geliştirmek, sellere karşı dayanıklı altyapı malzemeleri kullanarak geleneksel drenaj sistemlerini yükseltip yağmur suyu deşarjını dengelemek, bu sistemlere göller, sulak alanlar gibi doğal su kütlelerini entegre ederek ek olarak yapay su kütleleri ve yeşil alanlar oluşturmak ve ekosistem hizmetlerini geliştirmek gibi çok işlevli hedefleri teşvik etmektir.

Bu kavram ilk olarak Aralık 2013'te Merkezi Kentleşme Çalışma Konferansı'nda sunulmuş olup, resmi olarak 2014 yılının sonunda Çin Cumhuriyeti (PRC) hükümetinde Konut ve Kırsal-Kentsel Kalkınma Bakanlığı (MOHURD), Maliye Bakanlığı ve Su Kaynakları Bakanlığı (MWR) rehberliğinde başlatılmıştır. Öncelikle belirlenen 16 pilot bölge için projeler başlatılarak, 2020 yılına kadar yüzey akışını absorbe edebilen kentsel arazi alanını %20 oranında arttırmak, kentsel yağmur suyunun yaklaşık %70'ini tutmak ve yeniden kullanmak; 2030 yılına kadar ise

yağmur suyunun %80'e kadar yeniden kullanılması amaçlanmıştır. Bu kavram ile yalnızca kentsel sel riski ele alınmamış olup aynı zamanda kuraklık gibi gelecekteki aşırı iklim koşulları düşünülerek kentlerde yağmur suyunun toplanması, arıtılması ve yeniden kullanılmasına yönelik yaklaşım benimsenmiştir (Xia J. Ve ark., 2017; Chan F. ve ark., 2018). Xia J. ve ark. (2017), Sünger Kent kavramını Çin'deki kentsel planlama için bir dönüm noktası olarak tanımlamaktadır. Araştırmalarına göre, kavram ve uygulanan politika sürdürülebilirlik ilkesini geliştirme potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda su kaynakları yönetimini ve kentsel planlamayı teşvik etmektedir (Xia J. ve ark., 2017). Sünger Kentlerin inşa edilmesinden sonra artan mevcut su kaynaklarının geri kazanılarak kentte çeşitli sektörde kullanılması, iklim, ekoloji, peyzaj, yaşam ve üretim alanlarında birçok yararı bulunmaktadır (Jia ve ark., 2022).

2.2.3.Kentsel Yağmur Suyunu Anlamaya Yönelik Araçlar

1960'ların ortalarından beri su kaynakları yönetimi için yazılım araçları kullanılmaktadır. 1970'lerin başında yağmur suyu kalitesini ve akış miktarını simüle etme yeteneğine sahip modeller ortaya çıkmaya başlamıştır (Zoppou 2001). Yağmur suyu yönetimi modelleri, yağmur suyu ile ilgili çeşitli yönleri anlamak için profesyoneller tarafından kapsamlı olarak kullanılmaktadır. Bu modeller, havza boyutu, ölçek, insan faaliyetleri, iklim ve doğal özellikler gibi sahaya özgü farklı parametrelere ihtiyaç duyarlar (Jayasooriya ve ark., 2014).

Joyasooriya ve ark. (2014) çalışmasında; araştırmacılar tarafından tercih edilen yağmur suyu modelleme araçlarının literatür taramasını yapmıştır. Bu çalışmadan örnekle yağmur suyu yönetimini ele alan modelleme araçları:

- Su Çevresel Araştırma Vakfı (WERF) BMP SELECT Modeli,
- Virginia Akış Azaltma Yöntemi (VRRM),
- Mahalle Teknoloji Merkezi (CNT) Yeşil Değerler Ulusal Yağmursuyu Yönetimi Hesaplayıcısı,

- CNT Yeşil Değerler Yağmursuyu Yönetimi Hesaplayıcısı,
- Chicago Çevre Bakanlığı Yağmursuyu Yönetmeliği Uygunluk Hesaplayıcısı,
- EPA Yağmur Suyu Yönetim Modeli (SWMM),
- Delaware Kentsel Akış Yönetim Modeli (DURMM),
- Yağmursuyu Yatırım Stratejisi Değerlendiricisi (StormWISE) Modeli,
- Çukurlar, Su Birikintileri ve Göletlerden Kirlletici Partikül Geçişini Tahmin Programı (P8 Kentsel Havza Modeli),
- Kentsel Yağmur Suyu Arıtma Analizi ve Entegrasyonu için EPA Sistemi (SUSTAIN),
- Kentsel Yağmursuyu İyileştirme Kavramsallaştırma Modeli (MUSIC),
- MSMA Entegre Yağmur Suyu Yönetimi Eko Hidroloji Tasarım Yardımı ve Veritabanı Sistemi (MSMA KOBİ Tasarım Yardımı ve Veritabanı Sistemi) örnek olarak gösterilebilir.

Gün geçtikçe ekosistem hizmetlerinin devamlılığını ortaya koymak, haritalamak adına modelleme araçları önem kazanmıştır. Bu kapsamda ekosistem servislerini hesaplamak için kullanılan modellerden biri de inVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) modelidir (Tallis ve ark., 2011; CUFR, 2008; Pickard ve ark., 2015; Hepcan C. Ve Hepcan S., 2018).

2.2.3.1. InVEST (Entegre Ekosistem Hizmetleri ve Değerlendirme)

Stanford Üniversitesi, Natural Capital Project kapsamında oluşturulan ücretsiz olarak temin edilebilen bir modelleme paketi olan Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST), ekosistem hizmetlerini mekansal olarak açık bir bağlamda ölçerek karar alma ve planlama süreçlerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır. NatCap projesinin öncelikli hedefi, karar vericiler için açık ve güvenilir ekosistem hizmet bilgileri sağlayarak çevreyi ve insan refahını için alınan kararlara katkıda bulunmaktır (Ruckelshaus ve ark., 2015).

InVEST modeli, farklı demografik, arazi kullanımı ve iklim senaryoları altında biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetlerindeki değişiklikleri tahmin etmek için üretim

fonksiyonlarını kullanan, tatlı su, karasal ve deniz ortamlarını kapsayan bir dizi modeldir (Arkema ve ark., 2013; Tallis ve ark., 2013). InVEST modeli, çoklu ekosistem hizmetlerini değerlendirmek için birçok ekosistem araştırmasında kullanılmıştır (Polasky ve ark., 2011 ; Goldstein ve ark., 2012 ; Hamel ve Guswa, 2015 ; Tao ve diğerleri. , 2015). Bunların arasında, su ile ilgili ekosistem hizmetlerinin, kapsamlı ve güvenilir araştırma sonuçları sağlamıştır (Mingyue ve ark., 2021).

InVEST modelinin yayınlanan kullanım kılavuzuna göre; InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), insan yaşamını sürdüren ve tamamlayan doğadaki mal ve hizmetleri haritalamak ve değerlendirmek için kullanılan, ekosistem hizmetiyle ilgili çıktılar üreten, ücretsiz, açık kaynaklı bir yazılım modelleri paketidir. InVEST modelleri, bilgi kaynağı olarak haritaları kullanarak çıktı olarak yine haritalar üretir. Aynı zamanda biyofiziksel terimlerle (örneğin, tutulan karbon miktarı) veya ekonomik terimlerle (örneğin, tutulan karbonun net bugünkü değeri) sonuçlanabilir. Analizlerin mekânsal çözünürlüğü de esnektir ve bu sayede kullanıcıların yerel, bölgesel veya küresel ölçeklerdeki sorularını ele alabilmesine olanak tanır. Araç, yazılım paketindeki tüm ekosistem hizmetlerini modellemeniz gerekmediği, bunun yerine yalnızca ilgilenilenleri seçebileceğiniz anlamında modüler şekilde tasarlanmıştır.

2.2.3.1.1.InVEST Modelinin Özellikleri

- Veriler sınırlı olduğunda veya analiz için zaman çizelgesi kısa olduğunda kullanımı kolaylaştırmak için nispeten basit veri gereksinimine sahip bir modeldir.
- Pek çok durumda ve yerde kullanılabilecek kadar genişletilmiş, tüm dünyada uygulanabilecek bir modeldir.
- Mekansal olarak açıktır. Hem girdiler hem de çıktılar jeo-uzamsal verilere dayalıdır, bu da bir kara veya deniz peyzajındaki farklılıkları görselleştirmemize olanak tanır.

- Giriş verileri tarafından yönlendirilen çözünürlüklerde yerelden küresel ölçeklere esnek bir şekilde uygulanabilir.
- Yazılım çoklu hizmet değerlendirmelerine izin verir. Yani bir model paketine sahip olmak, birden çok ilgilenilen hizmetin incelenmesine olanak tanır.
- İndirmesi ve kurulumukolaydır ve kaynak koduna herkesin erişebileceği ücretsiz ve açık bir kaynaktır.

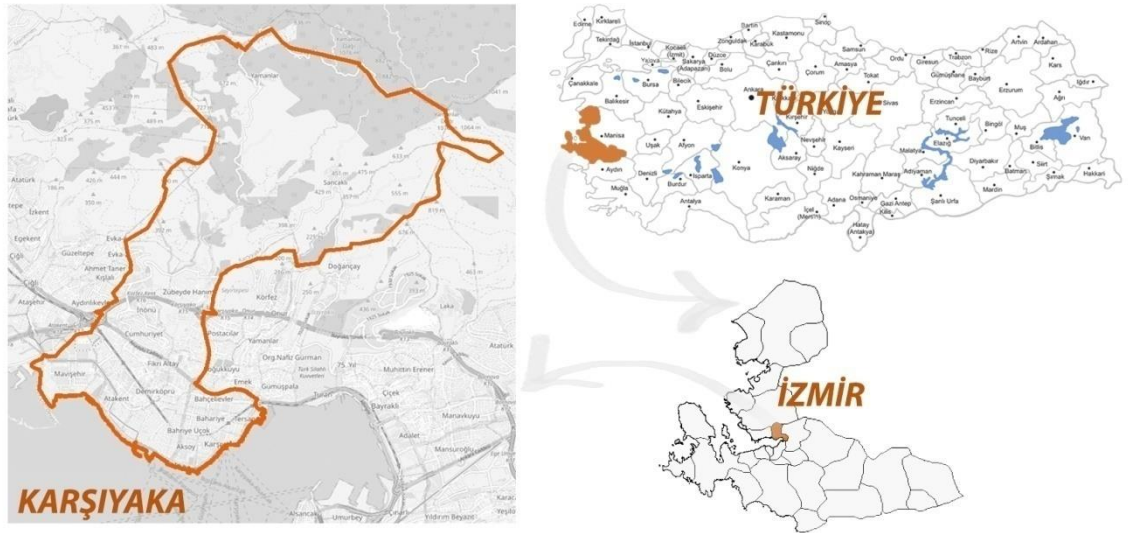
QGIS gibi Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları, InVEST modellerine mekansal girdiler hazırlamak, model çıktısını görüntülemek ve anlamak ve anlamlı sonuçlar sağlamak için çıktıyı sonradan işlemek için kullanılır. Ancak InVEST modellerini çalıştırmak için bir CBS yazılımı gerekmemektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Alanının Genel Özellikleri

Araştırma alanı İzmir ilinin Karşıyaka İlçesi olarak belirlenmiştir. Karşıyaka, İzmir Körfezi'nin kuzeyinde $38^{\circ}34'$ - $38^{\circ}26'$ kuzey enlemleri ve $27^{\circ}03'$ - $27^{\circ}11'$ doğu boylamları arasında ve ilçenin kuzeydoğusunda Bornova, doğusunda Bayraklı, batısında Çiğli, kuzeyinde Menemen ilçeleri, güneyinde İzmir Körfezi bulunmaktadır (<https-I>). Karşıyaka, 1865 yılında İzmir-Menemen demiryolunun hizmete girmesiyle yerleşime açılmıştır. Özellikle 1874 sonrasında Konak ile Karşıyaka arasında vapur seferlerinin başlatılmasıyla gelişmiş bir yerleşim yeri haline gelmiştir. İlçe yaklaşık 51 km'lik bir alana yerleşmiştir. Rakımı 1 ila 700 m arasında değişmektedir (Karşıyaka Belediyesi, 2022). İnsani Gelişme Vakfı (İNGEV)'nin araştırmalarına göre Karşıyaka Türkiye'nin en gelişmiş 7. İlçesi konumundadır (<https-II>).



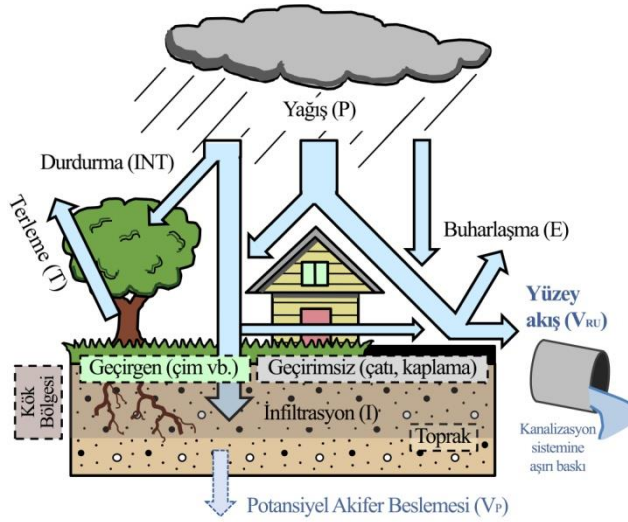
Şekil 3.1. Araştırma alanı coğrafi konumu

3.1.2. Veri Setleri

Bu çalışmada Karşıyaka ilçesi örneğinde kentsel yağmur suyu yönetimine yönelik ekosistem servislerinin modellenmesinde InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs - Entegre Ekosistem Hizmetleri ve Değerlendirme) modelleme aracından yararlanılmıştır. Çoklu ekosistem servislerinin modellenmesine olanak tanıyan aracın kentsel su tutma modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışmada kullanılan veri setleri modelin veri gereksinimi çerçevesinde şekillenmiştir. InVEST modelinin veri gereksinimi incelendiğinde modelin çalıştırılmasına yönelik zorunlu ve tercihe yönelik veriler olmak üzere iki gruptan oluştuğu görülmektedir. Çalışmada modelleme yaklaşımının daha iyi anlaşılabilmesi ve değerlendirmelerin yapılabilmesi için model zorunlu verilerin kullanımı ile temel düzeyde çalıştırılmıştır. Bu kapsamda çalışmada alan kullanım/arazi örtüsü haritalarının oluşturulmasında Avrupa Çevre Ajansı'nın açık erişimli olarak sunduğu Şehir Atlası (Urban Atlas) veri tabanından, hidrolojik toprak gruplarının oluşturulmasında Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) eski adıyla Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM)'nin hazırlamış olduğu, 1/25000 ölçekli ulusal toprak verisinden, yol haritalarının oluşturulmasında Open Street Map platformundan, çalışma alanına ait alt havzaların belirlenmesinde ise USGS Explorer'dan indirilen Küresel Sayısal Yükseklik Modeli'nden yararlanılmıştır. Verilerin işlenmesinde açık kaynak coğrafi bilgi sistemi yazılımlarından QGIS ve InVEST modelinin uygulanmasında kullanılan arayüzden yararlanılmıştır.

3.2. Yöntem

InVEST modeli ile Karşıyaka ilçesinin yıllık yağmur suyu tutma hacmi hesaplanmıştır. Bu çalışma Şekil 4.1.'deki sistematik göz önünde bulundurularak tamamlanmıştır.



Yıllık Su Dengesi:

$$\text{Yağış (P)} = \text{Tutma (V_{RE})} + \text{Yüzey akış (V_{RU})}$$

$$\text{Tutma (V_{RE})} = \text{Durdurma (INT)} + \text{İnfiltrasyon (I)} + \text{Buharlaşma (E)} + \text{Terleme (T)}$$

$$\text{Yüzey akış (V_{RU})} = \text{Yağış (P)} - \text{Tutma (V_{RE})}$$

$$\text{Akış Katsayısı (RC)} = V_{RU} / P$$

$$\text{Tutma Katsayısı (RE)} = V_{RE} / P = 1 - RC$$

$$\text{Potansiyel Akifer Dolumu (V_P)} = \text{İnfiltrasyon (I)} - \text{Terleme (T)}$$

$$\text{Süzülme Oranı (PE)} = V_P / P$$

Şekil 3.2. Kentsel yağmur suyu dengesindeki ana hidrolojik akışlar (Natural Capital Project, 2022).

Ayşenur Topal (2023) tarafından Türkçeye çevrilmiştir.

Akış katsayısı (RC), yıllık yüzey akışı (V_{RU}) ile yıllık yağış (P) arasındaki oran olarak tanımlanır. 0 ile 1 arasında bir değer alır. Her bir alan kullanım arazi örtüsü için Tutma Katsayısı (RE) = 1 - Akış Katsayısı (RC)'dir.

Çalışmada alan kullanım arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu rasterlerine dayanarak her bir piksele yağmur suyu tutma katsayısı atanmıştır. Ardından her bir piksel için tutulan hacim ($m^3 / \text{yıl}$) hesaplanmıştır.

Çalışmada, son yıllarda ekosistem servislerinin modellenmesinde kullanım oranı artan InVEST aracının Yağmur Suyu Tutma Modeli kullanılarak, Karşıyaka ilçesinin yağmur suyuna yönelik durumu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yağmur Suyu Tutma Modeli bir yıllık yağışa arazi tarafından sağlanan genel hidrolojik hizmetleri değerlendirmeye odaklanan model yüzey akış hacmi, yağmur suyu tutma oranı ve yeniden şarj değerlerini yıllık zaman ölçeğinde belirlemektedir. Ayrıca model, akışa geçen suyun miktarı yanında suyun kalitesine de odaklanmaktadır. Ancak, yüzey kirlilik değerlerine yönelik sağlıklı veriye ulaşılamadığı için, su kalitesi çalışmada dikkate alınmamıştır.

3.2.1.Model Veri Girişleri

3.2.1.1.Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Haritası

Birçok InVEST modeli, her hizmetle ilgili bitki örtüsü ve arazi kullanımının özelliklerini haritalamak için kullanılan bir arazi kullanımı/arazi örtüsü (LULC) rasterine ihtiyaç duyar. LULC model girdilerinin zorunlu raster verilerinden birisidir.

Çalışmada Karşıyaka ilçesi AK/AÖ haritasının oluşturulmasında Avrupa Çevre Ajansı'nın açık erişimli olarak sunduğu Şehir Atlası (Urban Atlas) veri tabanından yararlanılmıştır. Avrupa Birliği bünyesindeki kentsel bölgelere yönelik mekânsal veri ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak hazırlanan şehir atlası ile kentlere yönelik yüksek çözünürlüklü ve güvenilir alan kullanım verisi üretilmektedir. 2006 yılında Avrupa Birliği üye ülkelerindeki 100.000'den büyük nüfusa sahip olan 300 Büyük Kent Bölgesi için hazırlanan şehir atlası verisi, 2012 ve 2018 yılında nüfusu 50.000'in üzerinde olan Fonksiyonel Kent Alanları için hazırlanmıştır. 2012 yılında Türkiye kentlerinin de dahil edildiği veri tabanında ülkemizin 85 kenti için veri sağlanabilmektedir. “Yapay Alanlar”, “Tarımsal, Yarı-doğal ve Sulak Alanlar”, “Orman Alanları” ve “Su Alanları” olmak üzere 4 ana sınıf içerisinde kentsel alan kullanımlarını sınıflandıran şehir atlasında 17 alt sınıf bulunmaktadır.

Tablo 3.1. Şehir atlası alan kullanım/arazi örtüsü ana ve alt sınıfları (https-V).

Ana Sınıflar	Alt Sınıflar	Sınıf UA Kodu
Yapay Alanlar	Sürekli Kentsel Doku	11100
	Süreksiz Yoğun Kentsel Doku	11210
	Süreksiz Orta Yoğun Kentsel Doku	11220
	Süreksiz Düşük Yoğun Kentsel Doku	11230

Ana Sınıflar	Alt Sınıflar	Sınıf UA Kodu
	Sürekli Çok Düşük Yoğun Kentsel Doku	11240
	İzole Yapılar	11300
	Endüstriyel, Kamu, Ticari, Askeri Tesisler	12100
	Hızlı Transit Yollar ve İlgili Alanlar	12210
	Diğer Yollar ve İlgili Alanlar	12220
	Demir Yolları ve İlgili Alanlar	12230
	Limanlar	12300
	Havaalanları	12400
	Maden Çıkarma ve Döküm Alanları	13100
	Şantiyeler	13300
	Anlık Kullanımı Olmayan Alanlar	13400
	Kentsel Yeşil Alanlar	14100
	Spor ve Eğlence Tesisleri	14200
Tarımsal, Yarıdoğal ve Sulak Alanlar		20000
Orman Alanları		30000
Su Alanları		50000

3.2.1.2.Hidrolojik Toprak Grupları

Toprak hidrolojik gruplarının haritası, gerekli raster girdi verileri içinde yer almaktadır. Çalışmada Karşıyaka ilçesine ait hidrolojik toprak grupları verisinin oluşturulmasında Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) eski adıyla Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM)'nin hazırlamış olduğu, 1/25000 ölçekli ulusal toprak verisinden yararlanılmıştır. Hidrolojik toprak grupları toprak veri tabanı içerisinde büyük toprak grupları ve toprak özellikleri kombinasyonunun birlikte değerlendirilmesi ile elde edilmiştir (Tablo 3.2., Tablo 3.3.).

Tablo 3.2. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM)’nün hazırladığı büyük toprak grubu ve toprak özellikleri kombinasyonu (Yalçın M., 2012).

Büyük Toprak Grubu (BTG)		Eğim – Derinlik Kombinasyonu (EDK)					
SEMBOL	Anlamı	Eğim %	Derinlik (cm)				Litozolik
			Derin 90+	Orta Derin 90-50	Sığ 50-20	Çok Sığ 20-0	
P	Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar	A 0 – 2	1	2	3	4	25
G	Gri Kahverengi Podzolik Topraklar						
K	Koluvyal Toprak	B 2 – 6	5	6	7	8	26
M	Kahverengi Orman Toprakları						
N	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları						
CE	Kestanerengi Topraklar	C 6 – 12	9	10	11	12	27
D	Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar						
T	Kırmızı Akdeniz Toprakları	D 12–20	13	14	15	16	28
E	Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları						
B	Kahverengi Topraklar	E 20–30	17	18	19	20	29
U	Kireçsiz Kahverengi Topraklar						
F	Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	F 30 +	21	22	23	24	30
R	Rendzinalar						
V	Vertisoller						
Z	Sierozemler						
L	Regosoller						
X	Bazaltik Topraklar						
Y	Yüksek Dağ Çayır Toprakları						

Tablo 3.3. Büyük toprak grupları ve toprak özelliklerinin kombinasyonuna göre hidrolojik toprak grupları (Özer, 1990- Öztürk, D., 2009- Yalçın M., 2012).

Hidrolojik Toprak Grubu	Büyük Toprak Grubu	Arazi Tipi	Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu
A Grubu Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 7,5-10 mm/sa	L		1-11, 13-15, 17-19, 21, 22
	A		3, 6, 9, 10
	E,T		1-16
	O		m, p , r ya da bunlarla birlikte h, s, a, k, v sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
		KK, SK, IY	

Hidrolojik Toprak Grubu	Büyük Toprak Grubu	Arazi Tipi	Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu
B Grubu Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 3-7,5 mm/sa	P,G		1, 2, 5, 6, 9, 10
	C, D, M, N		1-10
	E,T		17-24
	B, F, R, Y		1-8
	U		1,2,3
	L		12, 16, 20, 24
	X		1-4
	K		4-6, 13-15, 22-24
	A		3, 6, 9, 10 ile h, s, a, k, v sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
C Grubu Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 0,8-3 mm/sa	P,G		3, 4, 7, 8, 11-22
	C, D, M, N		11-18
	B, F		9-23
	U		4-21
	R		9-21
	L, E, T		25
	Y		9-25
	X		5-20
	K		1-3, 10-12, 19-32
	Ç		3,6,9
	A		2, 5, 8 ile h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
D Grubu Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 0-0,8 mm/sa	P,G		23, 24, 25
	C, D, M, N		9-25
	B,F		24, 25
	R, U		22-25
	V		1-25
	Z		1-4
	A		1, 4, 7 ya da h, s, a, k, v, y sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
	H		H veya h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
	S		S veya h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
	X		21-25
	Ç		1, 2, 4, 5, 7, 8
		SB, ÇK	

Hidrolojik toprak gruplarının sınıflandırılmasında kullanılan A, B,C, D gruplarının özellikleri kısaca şu şekildedir (Özer, 1990);

A grubu hidrolojik topraklar (Minimum infiltrasyon derecesi: 7,5-10 mm/sa); bu tür topraklar başlıca kumlu ve çakıllı topraklardır. Dolayısıyla nemli olsalar dahi yüksek geçirgenlik değerine sahiptirler.

B grubu hidrolojik topraklar (Minimum infiltrasyon derecesi: 3-7,5 mm/sa); orta derecede geçirgenlik özelliklerine sahip olan bu topraklar, yine orta derecede ince ve kaba tekstür içermektedir. Özellikleri A grubu topraklarına yakın, su geçirgenliği orta düzeydedir.

C grubu hidrolojik topraklar (Minimum infiltrasyon derecesi: 0,8-3 mm/sa); bu tür topraklar orta-ince ve ince tekstür içerir ve geçirgenlikleri oranı düşüktür. Su iletkenlikleri A ve B grubuna göre düşüktür.

D grubu hidrolojik topraklar (Minimum infiltrasyon derecesi: 0-0,8 mm/sa); bu topraklar düşük geçirgenlik özelliklerine ve yüksek kil içeriğine sahiptir. Kil tabakasından dolayı su iletkenliği en düşük toprak grubudur.

3.2.1.3.Yağış Verisi

Modelin gereksinin duyduğu temel verilerden bir tanesi yağış verisidir. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre çalışma alanının yıllık ortalama yağış miktarı 713,8mm olarak kabul edilmiştir (<http-III>).

3.2.1.4.Biyofiziksel Tablo

Biyofiziksel Tablo (tablo): her bir alan kullanım/arazi örtüsü sınıfı ile hidrolojik toprak gruplarına yönelik biyofiziksel koşulları içeren bir tablodur. Bu tabloda özellikle hidrolojik toprak gruplarına yönelik yağmur suyu akış katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Akış katsayılarının belirlenmesinde Özalp, (2009) ve Yüksel, (2022)'in yapmış olduğu çalışmalardan yararlanılmış, kentleşme alanları için belirlenen yüzey akış eğri numaraları dikkate alınmıştır (Tablo 3.4.).

Tablo 3.4. Şehirleşme alanları için yüzey akış eğri numaraları

Yüzey Örtüsü Tipi ve Hidrolojik Koşul	A	B	C	D
Açık alanlar (çimenlik, park ,golf alanları, mezarlıklar vb.)				
Kötü koşullar (çim örtüsü < %50)	68	79	86	89
Ortalama koşullar (çim örtüsü %50-%75)	49	69	79	84
İyi koşullar (çim örtüsü > %75)	39	61	74	80
Çıplak Toprak	77	86	91	94
Ekilebilir Araziler	66	77	85	89
Ağaçlık alanlar	45	66	77	83
Meralar, çayır veya doğal otluklar	68	79	86	89
Otsu bitki toplulukları	57	70	78	82
Doğal Alanlar	57	73	82	86
Yeni tesviye edilmiş alanlar (geçirgen bitki örtüsü olmayan alanlar)	77	86	91	94
Çalılık – çalı-çırpının hakim olduğu çalı-yabani ot-çimen karışımı alanlar	48	67	77	83
Su Kütlesi	100	100	100	100

Çevrilmiş park yerleri, çatı ile kaplı alanlar, ara yollarla bölünmüş alanlar	A	B	C	D
Sokaklar ve caddeler				
Kaplanmış su yolları ve taşkın dirençleri	98	98	98	98
Kaplanmış açık alanlar	83	89	92	93
Çakıllar	76	85	89	91
Toprak	72	82	87	89

Şehirleşme Bölgeleri	Ortalama Geçirimsiz Alan %'si	A	B	C	D
Ticari ve iş merkezleri	85	89	92	94	95
Endüstriyel alanlar	72	81	88	91	93
Spor Alanı		68	79	86	89
Yerleşim Bölgeleri (ortalama alan)					
0.05 ha veya daha az (şehir evleri)	65	77	85	90	92
0.10 ha	38	61	75	83	87
0.20 ha	25	54	70	80	85

0.40 ha	20	51	68	79	84
0.80 ha	12	46	65	77	82
Gelişmekte olan şehirleşme alanları					
Yeni tesviye edilmiş alanlar (geçirgen bitki örtüsü olmayan alanlar)	-	77	86	91	94

Not: Değerler ortalama yüzey akış koşulları içindir ve $I_a = 0.2S$. Gösterilen ortalama geçirimsiz alan yüzdeleri karışık (composite) RCN'leri geliştirmek için kullanılmıştır.

Diğer kabuller; Geçirimsiz alanlar doğrudan deşarj sistemine bağlıdır, geçirimsiz alanlar RCN numarası 98'dir ve geçirimli alanlar iyi hidrolojik koşullara sahip açık alanlar olarak düşünülmüştür.

3.2.1.5. Yol Merkez Çizgileri

Modelde opsiyonel olarak tutma oranlarını ayarlama seçeneği bulunmaktadır. Ayarlama algoritması, yapay kentsel drenaj kanallarına (tipik olarak yollar, otoparklar, vb.) doğrudan bağlı olan yakındaki geçirimsiz yüzeylerin drenaj etkilerini hesaba katar. Bağlantılı geçirimsiz yüzeyler, biyofiziksel tablodaki is_connected sütunu ve/veya yol merkez çizgileri vektörü ile gösterilir. Tutma oranlarını ayarlama seçeneği seçildiğinde yol merkez çizgileri haritası da koşullu olarak gereklidir. Çalışma alanına ait yol haritası oluşturulurken OpenstreetMap uygulamasından yararlanarak QGIS programında alanın yol verisi elde edilmiştir.

3.2.1.6. Tutma Yarıçapı

Modelin opsiyonel girdilerinden bir diğeri ise tutma yarıçapıdır. Tutma yarıçapı, tutma oranlarını ayarlamak için her pikselin etrafındaki yarıçapı ifade eder. Raster koordinat sistemi birimlerinde ölçülür. Ayarlama algoritması için, bir piksel, merkez noktası bağlı-geçirimsiz Alan kullanım/arazi örtüsü (LULC) 'nün ve/veya bir yol

merkez hattının bu yarıçapı içindeyse, bağlantılı geçirimsiz bir yüzeye yakındır. Çalışmada, örnek çalışmalar incelenerek tutma yarıçapı 2 piksel, diğer bir ifadeyle 20 m olarak alınmıştır (Natural Capital Project, 2022) ([https-VI](https://VI)).

3.2.1.7.Alt Havza Sınırları Belirlenmesi

Havzalar, belirli bir ilgi noktasına katkıda bulunan analiz alanını tanımlayan havza veya alt havzaların çokgenlerini içeren vektör katmanıdır. Özellikle geniş alanların su tutma potansiyellerinin haritalarının üretilmesinde birtakım zorluklar yaşanmaktadır. Verilerin temini, hassasiyeti ve analiz edilerek model oluşturabilecek kapasiteye sahip bilgisayar gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kısıtlamalar karşısında açık kaynaklı verilere sıkça başvurulmaktadır. Bu verilerin kullanılması zaman kazanmayı da sağlamaktadır (Elbaşı, 2022). Çalışmada kullanılan alanı alt havzalarına ayırmak için NASA'nın internet sitesinden elde edilen yüksek çözünürlükte DEM (Dijital Yükseklik Modeli) verisi tercih edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Alan Kullanım / Arazi Örtüsü Haritası

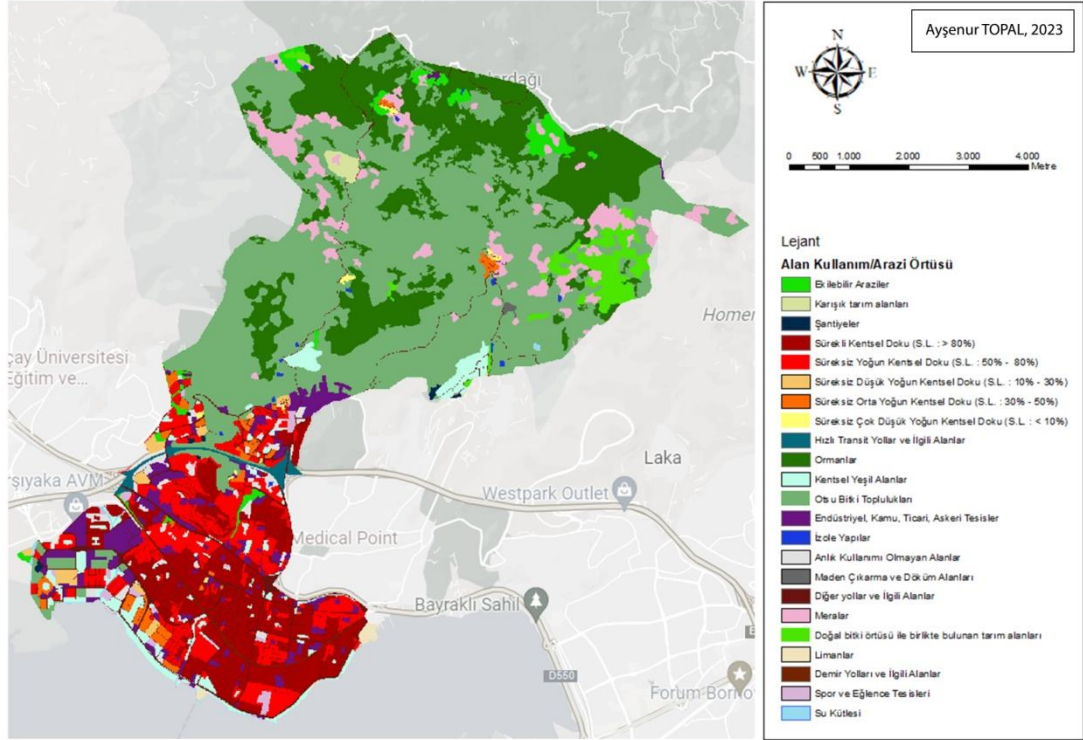
Arazi kullanım sınıflandırması Urban Atlas ([https-V](https://v)) adresinde bulunan ‘geçirimsizlik’ yüksek çözünürlüklü katman (HRL) veritabanı kullanılmıştır. Bu veri tabanı USDA sınıflarına dayandırılır. Copernicus çerçevesinin bir parçası olarak, referans yılı olarak 2012 olmak üzere üretilen yüksek çözünürlüklü katman (HRL), toprak sızdırmazlığı ve doğal örtü (orman, otlak, sulak alan ve kalıcı su kütleleri) gibi önemli çevre sorunlarına yardımcı olmak için Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından geliştirilmiştir (Congedo ve ark., 2016).

Bu harita kapsamında alanda 23 farklı yüzey örtüsü tipi tanımlanmış ve alansal dağılım tablosu oluşturulmuştur (Tablo 4.1.). Alanın denize kıyısı olan ve eğimin en az olduğu güney bölgesinde kentleşmenin yoğun olduğu görülmektedir. Eğimin arttığı kuzey bölgelere doğru, orman, maki vejetasyonu ve otsu bitki topluluklarını içeren doğal alanlar artmaktadır. Şehir Atlası (Urban Atlas) veri tabanı ile hazırlanan alan kullanım sınıflandırmasına göre, orman, maki vejetasyonu ve otsu bitki topluluklarını içeren doğal alanlar 30,41 km² yüzey alanına sahiptir. Kentsel gelişim bölgeleri dışında bulunan bu alanlar Karşıyaka ilçesinin %58,04’ünü oluşturarak en çok yüzey alanına sahip bölgedir.

İlçe sınırları içerisinde yapılaştırılmış alan 16,20 km² olmakla birlikte toplam alanın %39,92’sini kaplamaktadır. Bu yapılaştırılmış alanların içerisinde geçirimsiz yüzeylerin en fazla olduğu kesintisiz sürekli kentsel doku 4,76 km²’dir. Sürekli kentsel dokuyu 4 km² alan ile süreksiz yoğun kentsel doku takip eder.

Meralar genellikle ilçenin kuzeyinde bulunur, 2,29 km² alana sahiptir ve toplam alanın %4,37’sini kaplar. Ekilebilir, doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan ve karışık tarım alanları toplamda 2,16 km²’dir. İlçe yüzölçümünün %4,1’i bu alanlardan oluşur.

Açık alanlar, çimenler, parklar, golf sahaları ve mezarlıklar gibi kentsel yeşil alanlar 1,66 km² büyüklüğünde yüz ölçümüne sahiptir. Bu ilçenin %3,1'lik bir alanını kaplamaktadır. Anlık olarak kullanılmayan alanlar ise ilçenin %1,2'lik oranı oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Karşıyaka ilçesi alan kullanım / arazi örtüsü haritası

Tablo 4.1. Karşıyaka yüzey örtüsü tipleri ve alanları

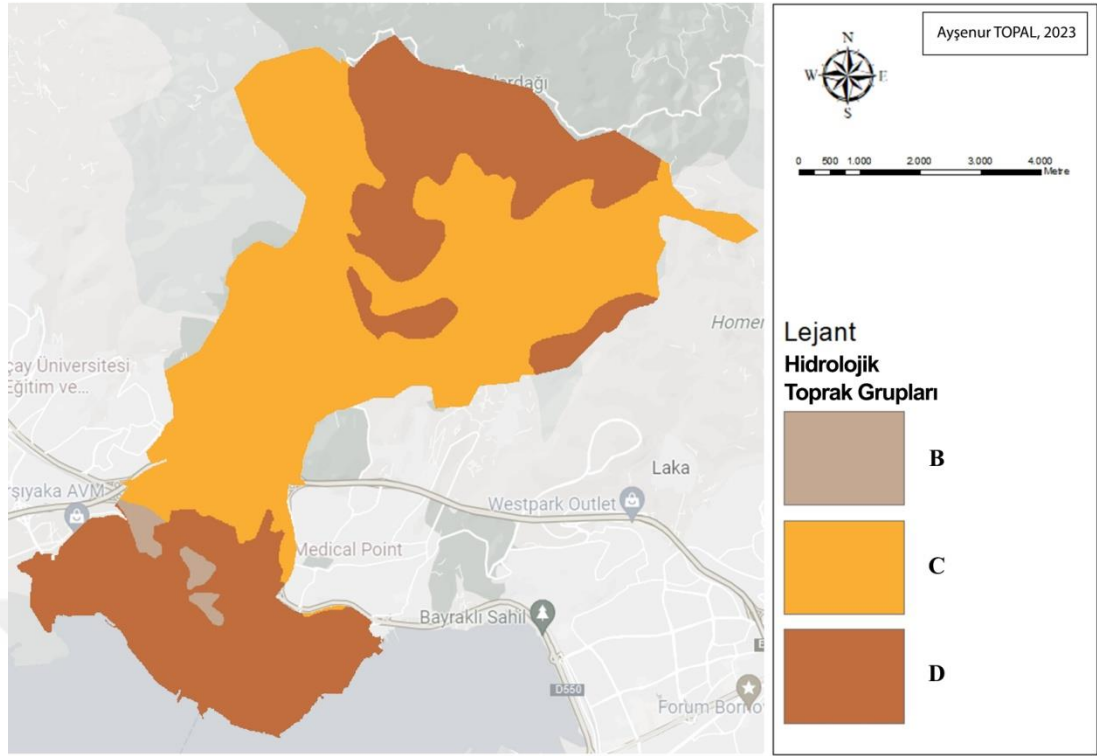
Karşıyaka Yüzey Örtüsü Tipleri	Alan (km ²)	
Süreksiz yoğun kentsel doku	4,0089	km ²
Endüstriyel, kamu, ticari, askeri tesisler	2,0698	km ²
Anlık kullanımı olmayan alanlar	0,6636	km ²
Ekilebilir araziler	0,8331	km ²
Ormanlar	9,0678	km ²
Meralar	2,2945	km ²
Otsu bitki toplulukları	21,3429	km ²
Diğer yollar ve ilgili alanlar	2,1488	km ²
Sürekli kentsel doku	4,7675	km ²
Süreksiz orta yoğunluklu kentsel doku (30% - 50%)	0,6345	km ²
Süreksiz düşük yoğunluklu kentsel doku (10% - 30%)	0,3391	km ²
Süreksiz çok düşük yoğunluklu kentsel doku (<10%)	0,0895	km ²

Karşıyaka Yüzey Örtüsü Tipleri	Alan (km²)	
Demiryolları ve ilgili alanlar	0,1104	km ²
Kentsel yeşil alanlar	1,6627	km ²
İzole yapılar	0,0772	km ²
Doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanları	1,1316	km ²
Spor ve eğlence tesisleri	0,2757	km ²
Su	0,1272	km ²
Hızlı transit yollar ve ilgili alanlar	0,3224	km ²
Limanlar	0,1217	km ²
Maden çıkarma ve döküm alanları	0,0334	km ²
Şantiyeler	0,071	km ²
Karışık tarım alanları	0,198	km ²

4.2. Toprak Grupları Haritası

Biyofiziksel tablo oluşturmada kullanmak üzere alana ait toprak özelliklerine bağlı olarak hidrolojik toprak grupları çıkarılmıştır. A, B, C ve D olmak üzere dörde ayrılan bu toprak grupları, eğim ve arazi örtüsünden bağımsız bir şekilde hidrolojik içeriklerine bağlı olarak oluşturulmuştur (Wanielista, 1997-Özalp, 2009).

Çalışma alanında B, C ve D hidrolojik toprak grupları bulunduğu tespit edilmiştir. Toprakların alansal dağılımına bakıldığında B grubu hidrolojik topraklar 0,76 km²'dir. Çalışma alanının yalnızca %1,45'ini kaplar ve büyük toprak grubu Koluvyal toprak olup toprak özellikleri kombinasyonu 8,11 ve 12'dir. Hidrolojik toprak grubu C olan ve 28,94 km² ile çalışma alanının en büyük bölümünü oluşturan büyük toprak grubu kireçsiz kahverengi topraklardır. Bu grubun toprak özellikleri kombinasyonu 11-12, 14, 16, 20 şeklindedir. Son olarak D grubu hidrolojik toprakların toprak özellikleri kombinasyonu 16 ve 23 olan büyük toprak grubu kireçsiz kahverengi orman toprakları ve toprak özellikleri kombinasyonu 22 olan kireçsiz kahverengi topraklardır. Bu grup alanın 22,68 km²'sini kaplamaktadır. Çalışma alanında bulunan hidrolojik toprak gruplarının büyük toprak gruplarına göre dağılımı ve büyük toprak gruplarının çalışma alanındaki oranı Tablo 4.2.' belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Karşıyaka ilçesi hidrolojik toprak grupları haritası

Tablo 4.2. Büyük toprak gruplarının alansal dağılımı

Hidrolojik Toprak Grupları	Büyük Toprak Grupları		Toprak Özellikleri Kombinasyonu	Alan (km²)	Alan (%)
B	K	Koluvyal toprak	8,11,12	0,75	1,45%
C	U	Kireçsiz Kahverengi Topraklar	11-12,14,16,20	28,93	55,25%
D	N	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları	16,23	22,67	43,30%
	U	Kireçsiz Kahverengi Topraklar	22		
			Toplam: 52,35 km²		

Hidrolojik grubu C olan büyük toprak grubu kireçsiz kahverengi topraklar İlçenin büyük kısmını oluşturmaktadır. Kireçsiz kahverengi topraklar; genellikle İç bBt1 Anadolu'da 1000 m'nin üzerindeki ormanlarda görülmektedir. Yıllık ortalama 400-600 mm arasında yağış görülmektedir. Genellikle besin maddesi yönünden fakirdir (Ünal M., 2011). Alanda B hidrolojik grubu içinde büyük toprak grubu Kolüvyal toprak olan topraklar; dağların yamaçlarından taşınan toprak, taş ve çakıl gibi malzemelerin eteklerde birikmesiyle oluşmaktadır. Derinliği fazla olan bu topraklar,

orman, bağ ve bahçeler için uygundur. Çalışma alanının güney kısmında, kentleşmenin yoğun olduğu bölgede görülmektedir (Ünal M., 2011). D grubu topraklar iki büyük toprak grubundan oluşmaktadır. Bunlar; kireçsiz kahverengi topraklar ve kireçsiz kahverengi orman topraklarıdır. Kireçsiz kahverengi orman toprakları; ılıman kuşakta ve yaprak döken orman örtüsü altında görülmektedir. Genellikle organik madde üst topraktaki mineral maddeye karışmıştır (Tümsavaş Z., ve Çelik İ., 2005).

4.3. Biyofiziksel Tablo

Her bir alan kullanım/arazi örtüsü sınıfı ile hidrolojik toprak gruplarına yönelik biyofiziksel koşulları içeren tablonun ilk sütununa Karşıyaka yüzey örtüsü tiplerinin yazılmıştır. Bir sonraki sütunda her biri benzersiz bir tamsayı olacak şekilde alan kullanım ve arazi örtüsü rasterindeki LULC değerleri yer almaktadır.

EMC_P ve EMC_N sütunları farklı kirleticilerin dahil edilmesi durumunda kullanılmak üzere tabloda yer almaktadır. Çalışmada farklı kirleticiler dâhil edilmediği için EMC_P ve EMC_N sütunlarına 0 değeri verilmiştir.

Is connected (bağlantılılık) sütunu ise her bir alan kullanım arazi örtüsü tipi için geçirimsiz bir yüzeyle bağlantılı olup olmadığı ilişkilendirmek için kullanılır. Arazi tiplerinin geçirimsiz yüzeylerle bağlantılı olup olmamasına, alan kullanımına bakılarak manuel olarak karar verilmiştir. Geçirimsiz yüzeyle bağlantılı ise 1 değeri, bağlantılı değil ise 0 değeri girilmiştir. (Örneğin; Sürekli kentsel doku, Endüstriyel, kamu, ticari, askeri tesisler, 1; Otsu bitki toplulukları, Ormanlar, 0).

Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) ’nün hazırladığı Büyük Toprak Grubu ve Toprak Özellikleri Kombinasyonu’na (Yalçın M., 2012) göre alandaki hidrolojik toprak grupları tespit edilmiştir. Hidrolojik toprak grupları tespit edilirken Özer (1990), Öztürk (2009) ve Yalçın (2012)’nin çalışmalarından yararlanılmıştır. Daha sonra hidrolojik toprak gruplarına yönelik yağmur suyu akış katsayıları belirlenmiştir

ve dört toprak grubunun tümü için değerler tabloda istenilen RC_A (A Toprak grubu için yüzey akış oranı), RC_B, RC_C, RC_D sütunlarında kullanılmıştır. RC_A, RC_B, RC_C, RC_D sütunları hidrolojik toprak grupları için yüzey akış katsayılarını ifade eder. Bu bölümde model için 0 ile 1 arasında değişen yüzdelik oran kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle yüzey akış eğri numarası 60 olan bir toprak grubunun değeri tabloya 0.60 olarak girilmiştir.

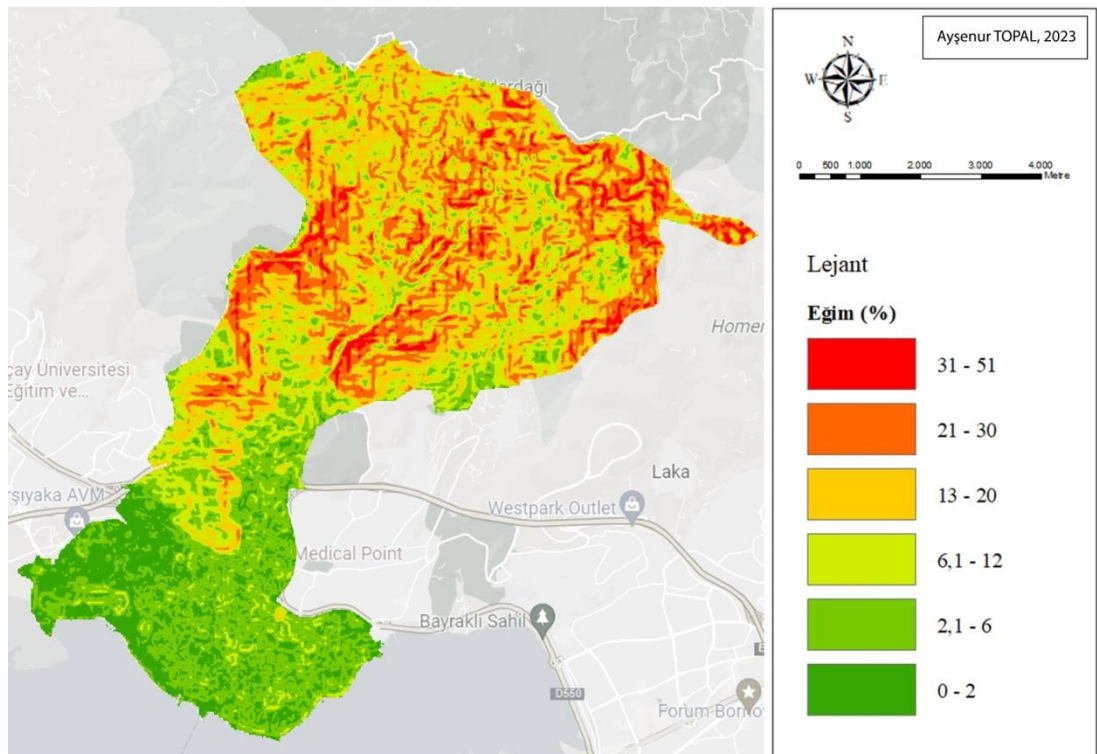
Tablo 4.3. Biyofiziksel tablo

Name	Lucode	EMC_P	EMC_N	is connected	RC_A	RC_B	RC_C	RC_D
Süreksiz yoğun kentsel doku	1	0	0	1	0.61	0.75	0.83	0.87
Endüstriyel, kamu, ticari, askeri tesisler	2	0	0	1	0.85	0.90	0.93	0.94
Anlık kullanımı olmayan alanlar	3	0	0	0	0.77	0.86	0.91	0.94
Ekilebilir araziler	4	0	0	0	0.66	0.77	0.85	0.89
Ormanlar	5	0	0	0	0.45	0.66	0.77	0.83
Meralar	6	0	0	0	0.68	0.79	0.86	0.89
Otsu bitki toplulukları	7	0	0	0	0.57	0.70	0.78	0.82
Diğer yollar ve ilgili alanlar	8	0	0	1	0.83	0.89	0.92	0.93
Sürekli kentsel doku	9	0	0	1	0.77	0.85	0.90	0.92
Süreksiz orta yoğunluklu kentsel doku (30% - 50%)	10	0	0	1	0.54	0.70	0.80	0.85
Süreksiz düşük yoğunluklu kentsel doku (10% - 30%)	11	0	0	1	0.51	0.68	0.79	0.84
Süreksiz çok düşük yoğunluklu kentsel doku (<10%)	12	0	0	1	0.46	0.65	0.77	0.82
Demiryolları ve ilgili alanlar	13	0	0	1	0.83	0.89	0.92	0.93
Kentsel yeşil alanlar	14	0	0	0	0.52	0.70	0.80	0.84
İzole yapılar	15	0	0	0	0.77	0.85	0.90	0.92
Doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanları	16	0	0	0	0.30	0.55	0.70	0.77
Spor ve eğlence tesisleri	17	0	0	0	0.68	0.79	0.86	0.89
Su	18	0	0	0	1	1	1	1
Hızlı transit yollar ve ilgili alanlar	19	0	0	1	0.83	0.89	0.92	0.93
Limanlar	20	0	0	1	0.89	0.92	0.94	0.95
Maden çıkarma ve döküm alanları	21	0	0	1	0.89	0.92	0.94	0.95
Şantiyeler	22	0	0	0	0.77	0.86	0.91	0.94
Karışık tarım alanları	23	0	0	0	0.48	0.67	0.77	0.83

4.4. Eğim Haritası

Çalışmada ArcMap 10.5 programı ile alanın DEM verisi kullanılarak eğim haritası elde edilmiştir. Bu harita bulguları yorumlamada çeşitli karşılaştırmalar yapmak amacıyla, düz (% 0 –2), hafif (% 2 – 6), Orta (% 6 – 12), dik (% 12–20), çok dik (% 20 – 30) ve sarp (% 30-% 51) olarak altı sınıfa ayrılmıştır (Susam ve İrfan, 2006) (Tablo4.3.).

Oluşturulan eğim haritasına göre Karşıyaka ilçesi %0 ile %51 arasında değişen eğim değerlerine sahiptir. Sınıflandırmaya göre %12-20 arasındaki dik olarak nitelendirebileceğimiz eğim grubu toplam 13,38 km² olup alanın %25,56'sını kaplayarak en büyük orana sahip olduğu görülmektedir. Alan kullanım – arazi örtüsüne göre kentsel dokunun hakim olduğu ve denize kıyısı olan alanların eğimi genellikle %0 ile %6 arasında değişirken, otsu bitki topluluklarının, ormanların bulunduğu ve yerleşimin daha az olduğu, ilçenin kuzeyine gidildikçe eğim artmaktadır.



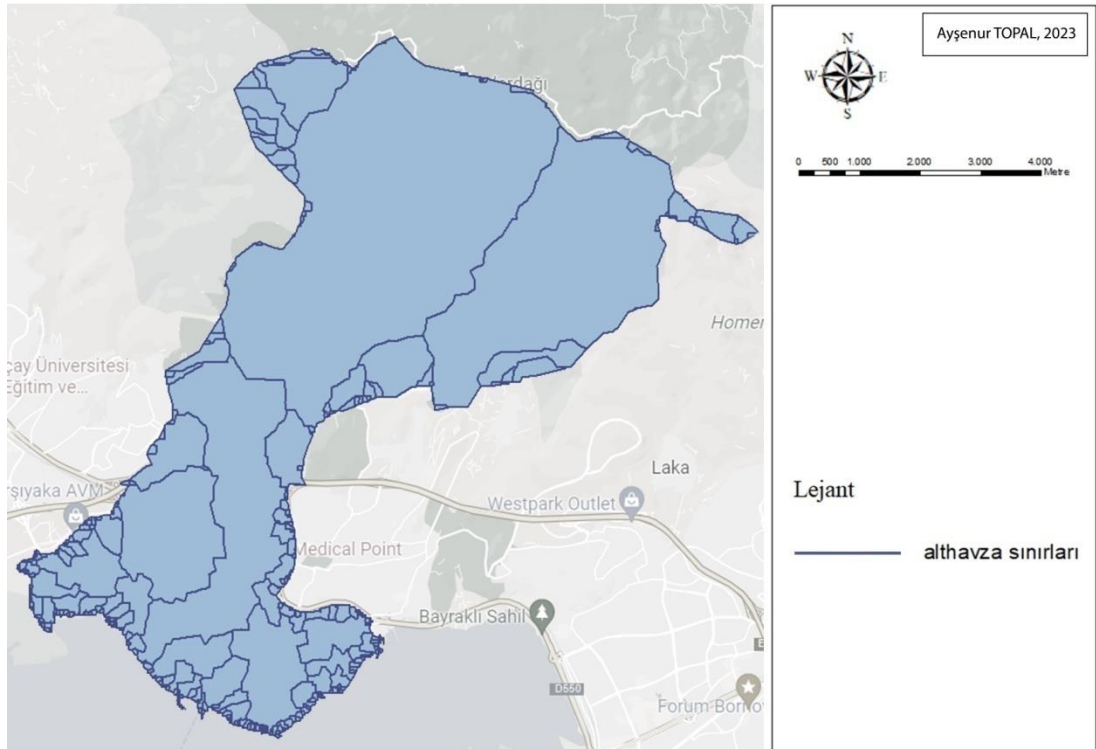
Şekil 4.3. Karşıyaka ilçesi eğim haritası

Tablo 4.4. Karşıyaka ilçesi eğim gruplarının alansal dağılımı

Eğim Grubu (%)		Hücre sayısı	Toplam alan (km²)	Oran (%)
0-2	Düz	8259	5,99 km²	11,44%
2,01-6	Hafif	14215	10,89 km²	20,81%
6,01-12	Orta	14760	11,07 km²	21,14%
12,01-20	Dik	17532	13,38 km²	25,56%
20,01-30	Çok dik	11787	8,94 km²	17,08%
30,01-51	Sarp	2844	2,08 km²	3,97%
Toplam:		69397	52,35 km²	

4.5. Alt Havza Sınırları

Analiz alanlarını tanımlamada, geniş alanların su tutma potansiyellerinin haritalarının üretilmesinde kullanılmak üzere NASA'nın internet sitesinden elde edilen yüksek çözünürlüklü DEM verisi ile çalışma alanının alt havzalar sınırları belirlenmiştir (Şekil 4.4.).

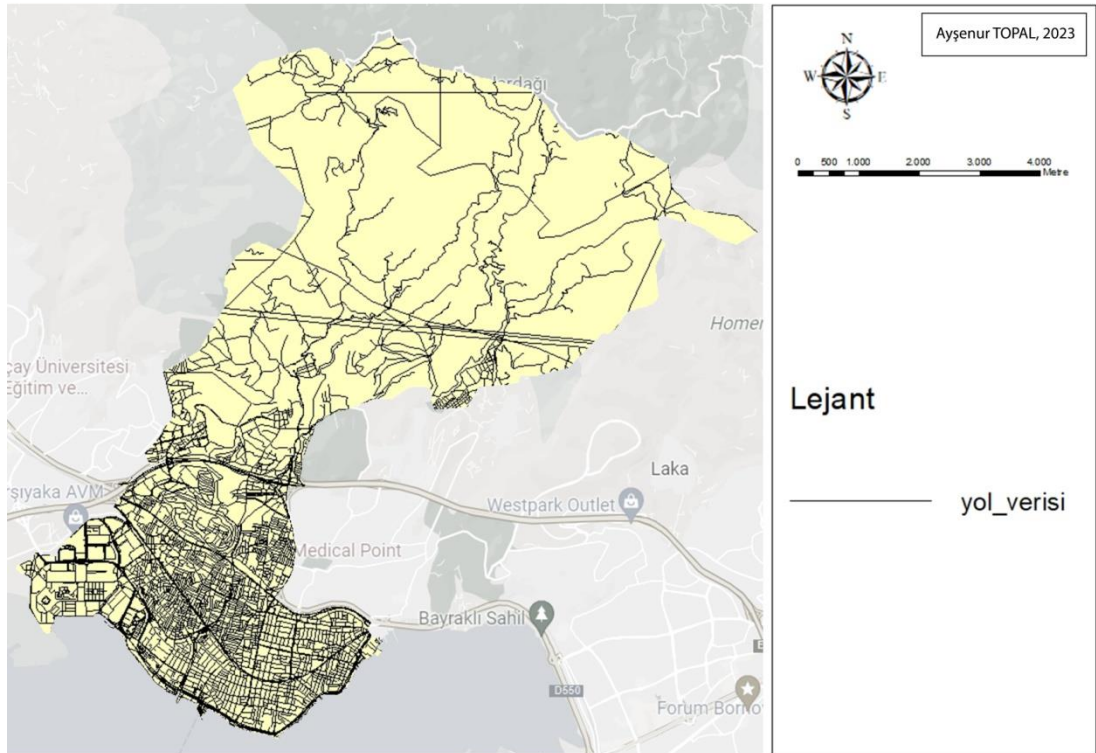


Şekil 4.4. Karşıyaka ilçesi alt havza sınırları

4.6. Yol Haritası

Çalışma alanına ait yol verisinin oluşturulmasında OpenstreetMap uygulamasından yararlanılmıştır. QGIS programında OpenstreetMap haritası ile sınırlandırılmış alan çakıştırılmış ve vektörel veriye dönüştürülerek cadde ve sokakların verisi elde edilmiştir (Şekil).

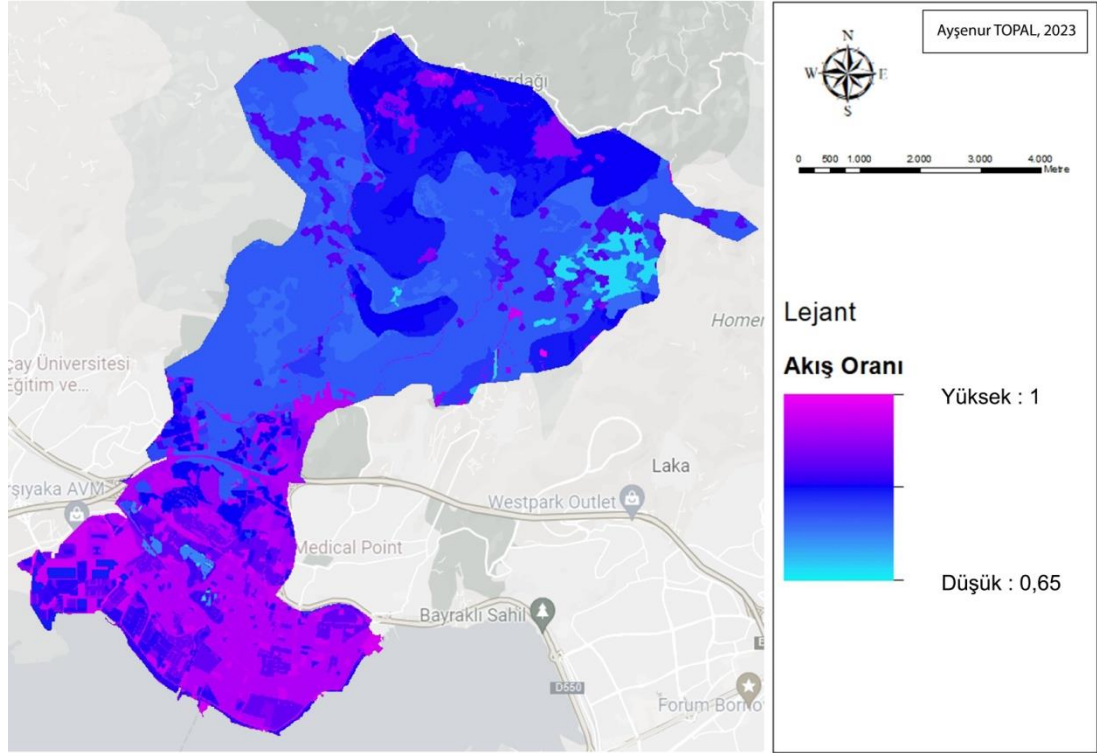
Model için bu seçenek opsiyonel olarak tanımlanmıştır. Tutma oranlarını ayarlama seçeneği seçildiğinde yol merkez çizgileri haritası da koşullu olarak gereklidir. Yol haritalarının modele dahil edilmesiyle birlikte geleneksel yağmur suyu tutma yöntemlerinde kullanılan kentsel yol drenajları ve bunlarla bağlantılı geçirimsiz yüzeylerin drenaj etkileri hesaba katılmış olur.



Şekil 4.5. Karşıyaka ilçesi yol haritası

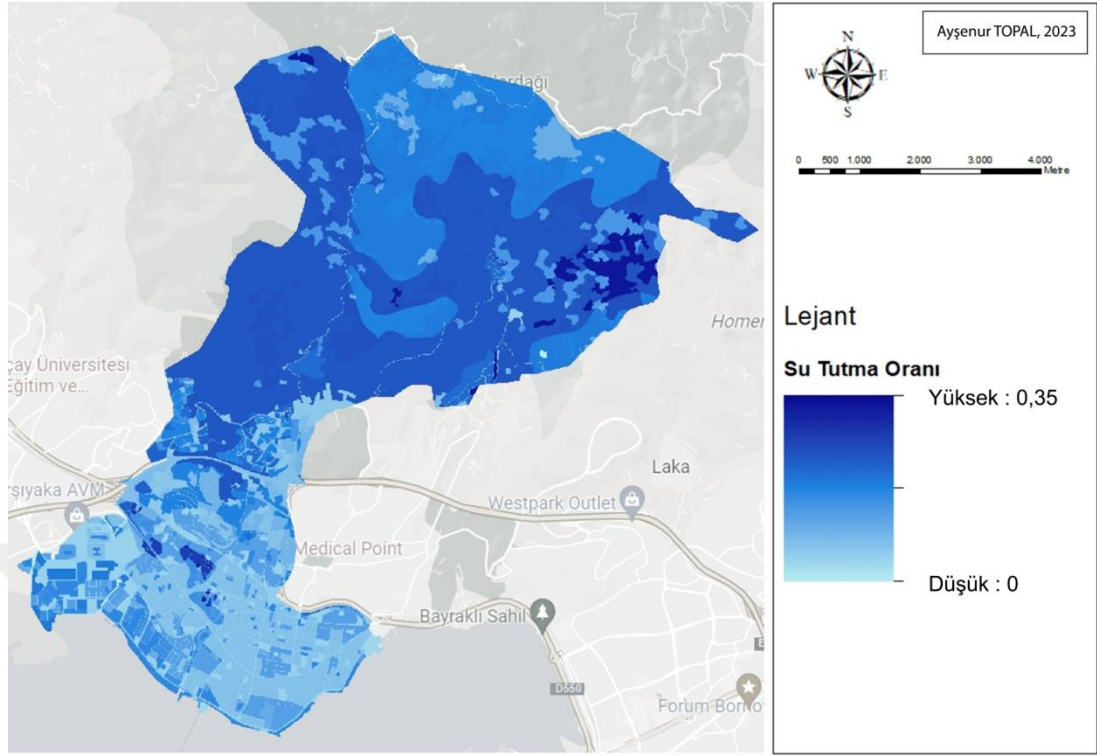
4.7. Akış Oranı Haritası

InVEST yağmursuyu tutma modeli, yağmur suyu akış hacmi ile tutma hacmini belirleyebilmek için yıllık akış katsayısına gereksinim duymaktadır. Akış katsayısı olan alan kullanım/arazi örtüsü tipi ile hidrolojik toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak belirlenmekte ve 0-1 arasında değerler almaktadır. Çalışmada akış katsayılarının belirlenmesinde yüzey eğri numaralarından yararlanılmıştır. Buna göre her bir piksel için atanan akış katsayıları değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.6. Karşıyaka ilçesi yağmur suyu akış katsayıları

Belirlenen akış katsayılarını referans alarak model her bir alan kullanım/arazi örtüsü sınıfı için yağmur suyu tutma katsayısını hesaplamaktadır. Yağmursuyu Tutma Katsayısı= 1- Akış Katsayısı şeklinde hesaplanmakta ve alan kullanım/arazi örtüsü tipi ve toprak özellikleri çerçevesinde her bir piksele değer atanmaktadır. Çalışma alanına ait yağmur suyu tutma katsayıları şekil 4.6'da verilmiştir.

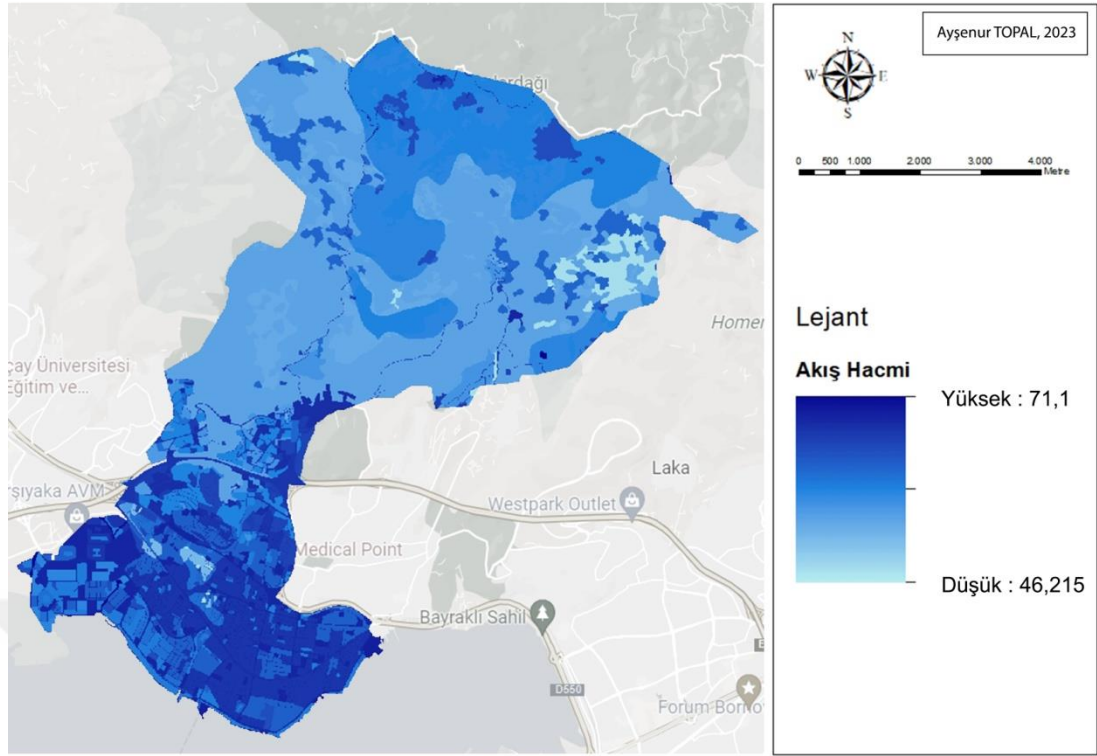


Şekil 4.7. Karşıyaka ilçesi yağmur suyu tutma katsayıları

4.8. Akış Hacmi Haritası

InVEST modeli akış hacmini, akış katsayılarını dikkate alarak her bir piksel için “m³/yıl” cinsinden hesaplamaktadır. Akış hacmi=0,001xYıllık Yağış Miktarı x Akış Katsayısı x Piksel Alanı formülü ile hesaplanan akış hacmi verisi kentsel yağmur suyu çözüm önerilerinin geliştirilmesinde önemli bir yere sahiptir. InVEST modeli ile Karşıyaka ilçesinin akış hacimlerinin haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.7).

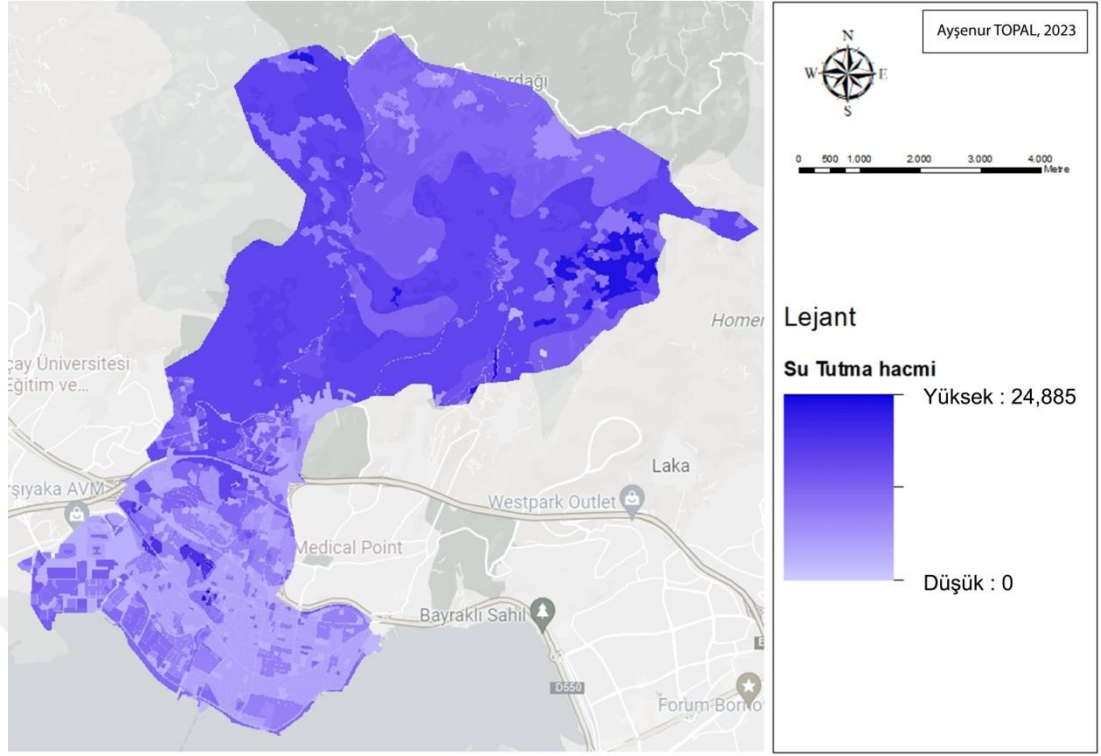
Elde edilen verilere göre yıllık en az 46,215 m³/yıl ile en fazla 71,1m³/yıl arasında değişen yağmursuyu akış hacmi bulunmaktadır. Alan kullanım/arazi örtüsüne göre en az hacim ekilebilir arazi bölgelerinde gerçekleşmektedir. Kent dokusunun yoğun olduğu ve eğimin en az olduğu bölgeler yıllık yağmursuyu akış hacminin en fazla olduğu alanlardır.



Şekil 4.8. Karşıyaka ilçesi akış hacmi haritası ($m^3 / yıl$)

4.9. Su Tutma Hacmi Haritası

InVEST modelinde alan kullanım/arazi örtüsü ve hidrolojik toprak özelliklerine bağlı olarak ve yağmur suyu tutma katsayısı dikkate alınarak yıllık su tutma hacmi “ $m^3/yıl$ ” cinsinden her bir piksel için hesaplanmaktadır. Karşıyaka ilçesi örneğinde bakıldığında alanın yıllık yağmur suyu tutma hacmi 0 ile 24,885 m^3 arasında değişmektedir. Yıllık su tutma hacminin en düşük olduğu bölgelerin kentleşmenin yoğunlaştığı alanlar olduğu görülmektedir. Toprak grupları haritası incelendiğinde hidrolojik toprak grubu B olan kolüvyal toprakların bulunduğu alanlarda su tutma hacminin daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.9. Karşıyaka ilçesi su tutma hacmi haritası ($m^3 / yıl$)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması, yağmur suyu tutma ekosistem servisinin modellenmesinde InVEST modelinin kullanılabilirliğini ve performansını değerlendirebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ekosistem servisleri, insanlara ekosistem fonksiyonlarından sunulan faydalar veya insanların refahı için ekosistemlerin doğrudan ve dolaylı katkıları olarak tanımlanabilir. Ekosistem servisleri, insanların yaşam kalitesi ve ekosistemler arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilemektedir. Kentlerde yaşayan insanların sağlıklı yaşam koşullarının sağlanmasında ve yaşam kalitesinin artmasında ekosistem hizmetlerinin büyük bir önemi vardır. Bu nedenle sağlıklı yaşam ortamlarının sürekliliğinin sağlanması ekosistem servislerine ve bu servislerin sunduğu imkânlarla bağlıdır (Esringü, A. ve ark. 2021).

Ekosistem servislerinin haritalanması ve niceliksel olarak ortaya konması, kentsel alanlardaki sorun ve potansiyelleri belirlemek ve değerlendirmek için önemlidir. Bu kapsamda, ekosistem hizmetlerinin devamlılığını sağlamada haritalama ve modelleme araçları son dönemde büyük bir önem kazanmıştır. Tez çalışmasında farklı ekosistem servislerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlayan InVEST modelinin Kentsel Yağmur Suyu Tutma Modeli kullanılarak, Karşıyaka İlçesi örneğinde kentsel su tutma potansiyeli belirlenmiş ve haritalanmıştır.

InVEST yağmur suyu tutma aracının seçilmesinin ana nedeni özellikle kısıtlı verinin bulunduğu durumlarda etkin olarak kullanılabilen bir araç olmasıdır. Çünkü modelleme çalışmalarının en önemli kısıtlamalarından birisi güvenilir ve güncel veriye erişimin zorluğudur. InVEST yağmur suyu tutma modeli yağmur suyu tutma sürecini alan kullanım/arazi örtüsü ve hidrolojik toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ele almaktadır. Çalışmada alan kullanım/arazi örtüsü dokusunun ortaya konulmasında Avrupa Birliği ülkelerindeki büyük kentlerin mekansal veri ihtiyacını karşılayabilmek için oluşturulan ve açık kaynak olarak sunulan Şehir Atlası veri tabanından yararlanılmıştır. Hidrolojik toprak özellikleri haritasının oluşturulmasında

ise Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM) 1/25000 ölçekli toprak haritasından yararlanılmıştır.

Gruplandırılmış genel alan kullanım/arazi örtüsü tiplerinin alansal dağılımları incelendiğinde ilçenin %4,12'sini tarım, %3,17'sini kentsel yeşil alan, %1,26'sını çıplak alan, %45,11'ini otsu bitki toplulukları ve meralar, %17,30'unu ise orman arazilerinin oluşturduğu görülmektedir. İlçe sınırları içerisinde yerleşim alanları, yollar, limanlar, askeri ve kamu tesisleri %39,92'sini yani 16,20 km²'sini oluşturmaktadır.

Hidrolojik toprak grupları haritası incelendiğinde ise Karşıyaka ilçesi sınırları içerisinde B, C ve D gruplarının yer aldığı görülmektedir. Şekil 4.2.'de sunulan hidrolojik toprak grupları haritasına göre B grubu topraklar 1,45%, C grubu topraklar 55,25%, D grubu topraklar 43,30% 'luk alan kaplamaktadır. Çalışma alanının büyük kısmını hidrolojik grubu C olan büyük toprak grubu kireçsiz kahverengi topraklar oluşturmaktadır. Alanda B hidrolojik grubu içinde büyük toprak grubu Kolüvyal toprak olan topraklar; dağların yamaçlarından taşınan toprak, taş ve çakıl gibi malzemelerin eteklerde birikmesiyle oluşmaktadır. D grubu topraklar iki büyük toprak grubundan oluşmaktadır. Bunlar; kireçsiz kahverengi topraklar ve kireçsiz kahverengi orman topraklarıdır. D grubu topraklar kentleşmenin yoğun bulunduğu alanın en güneyinde ve ormanlarla kaplı kuzey bölümünde yer almaktadır.

Çalışmanın sonraki aşamasında alan kullanım/arazi örtüsü tipleri ve hidrolojik toprak gruplarına göre akış katsayıları (RCN) belirlenmiştir. Yüzey eğri numaraları dikkate alarak belirlenen akış katsayıları Tablo 3.4.'te verilmiştir. Ayrıca çalışmada, yağmur suyu tutma hesaplamasının iyileştirilmesi için yine açık kaynak olan Open Street Map platformu kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca, her bir alan kullanım/arazi örtüsü tipinin geçirimsiz yüzey tipi ile ilişkisi yorumlanmıştır.

Gerekli tüm girdilerin tamamlanması ile her alan kullanım/ arazi örtüsü için, toprak verilerini ve gerekli tüm verileri kullanarak, yüzey akış ve yağmur suyu tutma

oranlarının yanı sıra akış hacmi ve yağmur suyu tutma hacmi m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Model sonuçlarını yorumlayabilmek için Karşıyaka ilçesine düşen ortalama yağış miktarı üzerinde bir hesaplama yapılmıştır. Karşıyaka ilçesinde yıllık m^2 'ye düşen yağış miktarı 713,8mm olarak kabul edilmiştir (http-III). Karşıyaka ilçesinde düşen yağmur suyu miktarını m^3 cinsinde hesaplayabilmek için $1m = 1.000mm$ olduğu için, $1m^2$ de $1.000 \times 1.000 = 1.000.000$ (bir milyon) mm^2 'dir. Bu alana 1mm yüksekliğinde yağışın düşmesiyle de m^2 'ye 1.000.000 (bir milyon) mm^3 yağış düşmüş olur. Bu hesaplama göre Karşıyaka ilçesine yıllık 713.800.000 (yedi yüz on üç milyon sekiz yüz bin) $mm^3 = 0,7138 m^3$ yağış düşmektedir ($1 m^3 = 1 \times 10^9 mm^3$).

Model tarafından, 10m x 10m grid şeklinde raster olarak oluşturulan akış hacmi haritasındaki verilere göre $100m^2$ 'de $71,1m^3$, $1m^2$ 'de ise $0,711m^3$ yağmur akış hacmi bulunmaktadır. Alanın yıllık ortalama yağış hacmi $0,7138 m^3$ iken akışa geçen hacim $0,711m^3$ olması yağın yağmurun neredeyse tamamının akışa geçtiğini göstermektedir. Şekil 4.4.'te görüldüğü gibi sürekli kentsel dokunun olduğu yerleşim alanlarında akışa geçen yağmur suyu hacmi yağış miktarının % 98'inden fazladır. En düşük akış hacmi yıllık $46,215 m^3$ olup alanın kuzey bölgesinde bulunan Doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanlarıdır. Hidrolojik toprak grupları ile kıyaslandığında akış hacminin en düşük olduğu bölgeler C hidrolojik toprak grubuna ait toprakların bulunduğu alanlardır. Bu oran ile en düşük akış hacmi bulunan, doğal bitki örtüsüyle birlikte bulunan tarım alanlarında yağmur suyunun %64,74'ünün akışa geçtiği belirlenmiştir.

Ekosistemlerin doğal süreçlerinden elde edilen faydalar olan düzenleyici ekosistem servisleri açısından Karşıyaka ilçesinin en zayıf bölgeleri, Yalı, Bostanlı, Tersane, Alaybey, Tuna, Bahriye Üçok, Bahariye, Nergis, Goncalar, , Fikri Altay, Demirköprü, Dedebaşı ve alatife Hanım mahalleleridir. Bu alanlar yağmur suyunun tahliye edilememesi ve drenaj kapasitelerinin yetersiz olmasından dolayı yağmur suyu tutma oranının en düşük olduğu mahallelerdir. Beklediği üzere yapılaşma oranı yüksek olan kentsel doku yüzeysel akış açısından daha riskli alanlardır. Bunun aksine alanın yapılaşma olmayan ve bitki dokusu açısından zengin olan kuzey bölgelere gidildikçe yağış tutma kapasitesi artmaktadır ve bu sebeple yüzeysel akış ve sel olaylarına karşı daha dayanıklıdır.

Ayrıca kentleşme bölgelerinde yeşil alan dağılımı eşit olmadığından dolayı mevcut bir yeşil alan sistemi varlığından söz edilemez. Kentsel alanlarda ekosistem servislerinin devamlılığı için, yüzeysel akışa müdahalede kilit noktası olan yeşil alan sistemi kentsel akışların meydana geldiği yollar boyunca oluşturulabilir. Kentsel yeşil alan sistemlerinin güçlendirilmesi aynı zamanda kentsel alanlarda iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasını sağlamaktadır (Maes ve ark., 2021). Karşıyaka ilçesi kentsel dokuda küçük parçalar halinde ve kıyı şeridinde bulunan kentsel yeşil alanlar arasında bağlantı kurulması yeşil alan sistemi oluşturmaya olanak sağlayabilir. Bu sayede kentsel dokunun yoğun olduğu alanlarda yüzeysel akış yavaşlatılıp yönlendirilerek, yüzey akış miktarı azaltılabilir. Şehir planlamaları önceliklerinin belirlenmesinde yeşil alanların niteliklerinin tespit edilmesi ve birbirleri ile bağlantılı olmasına önem verilmelidir. Gelecekte yapılacak olan kentsel planlama ve gelişim politikalarında yapılaşma ve doğa arasındaki dengenin kurulması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle son yıllarda Karşıyaka ilçesinde etkilerini daha fazla hissettiğimiz sel ve taşkın olayları göz önünde bulundurulduğunda kentin mevcut yeşil alanlarının iyileştirilmesi, nehir taşkın yatakları, yapay iç sulak alanlar, biyolojik tutma alanları, kent ormanları, tutma havuzları, geçirimli yüzeyler, yağmur bahçeleri, yeşil duvar ve çatılar gibi doğaya dayalı çözümlerin uygulanması gerektiğini göstermektedir.

Çalışmada kullanılan InVEST modelleme aracı dünyanın tüm bölgelerinde kullanılmak üzere tasarlanmış bir araçtır. Özellikle girdi verilerin yerel ihtiyaçlara ve veri kullanılabilirliğine göre uyarlanabilmesi, çıktı ürünlerin hem kolay yorumlanabilir ve güvenilir olması nedeniyle araç, basit, kullanımı kolay ve anlaşılır bir karar karar destek aracı olarak değerlendirilmektedir.

Çalışmada kullanılan InVEST Kentsel Yağmur Suyu Tutma Modelinin performansı değerlendirildiğinde ise özellikle mekansal veri erişiminin yetersiz olduğu büyük ölçekli çalışmalarda hot spot denilen sorunlu bölgelerin tespit edilmesinde etkin bir araç olarak kullanılabileceği açık bir biçimde görülmektedir. Çalışmada olduğu gibi modelin gereksinim duyduğu verilerin büyük bir kısmı açık kaynak verilerden temin

edilebilmektedir.

Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan ve nispete iyi bir dökümantasyona sahip olan modelleme aracı hızlı değerlendirmelerin zorunlu olduğu durumlarda planlama ve yönetim süreçlerini destekleyecek özelliklere sahiptir. Sonuç ürün olarak sunduğu yüzey akış ve yağmur suyu tutma hacmi verileri ise kolay yorumlanabilir niteliktedir. Özellikle elde edilen çıktı ürünlerin CBS yazılımları ile entegrasyonu sayesinde kolayca yorumlanabilmektedir. Ayrıca, CBS yazılımları entegrasyonun güçlü olması kentsel alan için gerçekleştirilen diğer çalışmalar ile de kolay entegrasyonunu desteklemektedir. Ayrıca, modelleme aracının kullanım kolaylığı özellikle alternatif plan ve yönetim seçeneklerinin yada gelişim senaryolarının kentsel ekosistem servislere etkisinin de modellenmesine olanak tanımaktadır (Ruckelshaus ve ark., 2015).

Yukarıda açıklanan özellikleri nedeniyle InVEST Yağmur Suyu Tutma Modeli'nin ekosistemin sunduğu su yönetimi hizmetlerini görsel ve niceliksel olarak değerlendirme de etkin bir araç olarak kullanılabileceği açıktır. Özellikle de mekansal karar alma süreçlerinin ekosistem servisleri üzerindeki oluşturulacak öngörülere dayalı olarak gerçekleştirilmesi sağlıklı ve sürdürülebilir kentlerin oluşturulmasında büyük bir önem taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- https-I https://tr.wikipedia.org/wiki/Kar%C5%9F%C4%B1yaka#cite_note-2
- https-II <http://m.hurriyet.com.tr/yazarlar/ertugrul-ozkok/gizli-vatandaslara-gore-engelismis-30-ilce-hangisi-41015388>
- http-III - Resmi İstatistikler-İzmir İli Mevsim Normalleri (1938-2021). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=IZMIR> (Erişim tarihi: 09/01/2023)
- httpsVI <https://www.fs.usda.gov/ccrc/tool/cufr-tree-carbon-calculator-ctcc>
- https-V <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-urban-atlas>
- https-VI <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/stormwater.html#estimate-stormwater-retention-recharge-and-runoff>
- Ahiablame L.M., Engel B.A.i ve Chaubey I. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. Water, Air, & Soil Pollution. 2012, 223, 4253–4273.
- Ahmed, M. T., ve Osibanjo, O. “Waste Processing and Detoxification”. Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystemsand Human Well-being: Current Stateand Trends. 2005, 1, 419-438.
- Akın, M. ve Akın, G. “Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları Ve Su Kirliliği”. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi. 2007, 47 (2), 105-118.
- Akman, M.U. Taşkın Koruma ve Kontrol Yapılarının Değerlendirilmesi, Türk Hidrolik Dergisi. 2021, 5(1), 25-31.
- Albayrak, İlke. Ekosistem servislerine dayalı havza yönetim modelinin İstanbul-Ömerli havzası örneğinde uygulanabilirliği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 224, 2012. (Doktora Tezi)
- Algaze, G. “Initial Social Complexity in Southwestern Asia: The Mesopotamian Advantage”, Current Anthropology, 2001, Vol. 42, No 2, 199-203.
- Arkema K., G. Guannel, G. Verutes, S.A. Wood, A. Guerry, M. Ruckelshaus, P. Kareiva, M. Lacayo, J.M. Silver People and property shielded from sea level rise and storms by coastal habitats Nature Climate Change, 2013.
- Baker, T.J., Miller, S.N. Using the Soiland Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. J. Hydrol. 2013, 486, 100-111.
- Bai, Y., Zheng, H., Ouyang, Z., Zhuang, C., Jiang, B., 2013. Modelinghydrologicalecosystemservicesandtradeoffs: a casestudy in Baiyangdianwatershed, China. Environ. Earth Sci. 70, 709-718.
- Barlow D., Burrill G. ve Nolfi J. R., ; Center for Studies in Food Self-Sufficiency 1977 A Research Report on Developing A Community Level Natural Resource Inventory System. Center forStudies in Food Self-Sufficiency, Vermont Institute of Community Involvement, Vermont, CT, 1997.

Bertiz D. Kent parklarından sağlanan ekosistem hizmetlerine yönelik algının incelenmesi Adana merkez park örneği. *Turkish Journal of Forest Science*, 2022, 5(1), 36-45.

Braat L.C. ve de Groot R. "The Ecosystem Services Agenda: Bridging The Worlds of Natural Science and Economics, Conservation and Development, and Public and Private Policy". *Ecosystem Services*, 2012, 4-15. S. 5.

Bryce, R., Irvine, K., Church, A., Fish, R., Ranger, S., Kenter, J.O. Kültürel ekosistem hizmetlerinin geniş ölçekli değerlendirmesi için öznel refah göstergeleri. *Ekosistem servisleri*. 2016, 21, 258–269. Doi:10.1016/j.ecoser.2016.07.015.

Bulut, E., ve Mehmet, K. MÖ 3. ve 2. Binyıllarda Mezopotamya'da Sulama Kanalları ve Toplumsal Yaşama Etkileri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2020, 30(2), 415-426.

Burkhard, B., ve Maes, J. Mapping ecosystem services. *Advanced books*, 2017, 1, e12837

Butler, D. ve Davies, J. W. *Urban Drainage (3 rd Edition)*, SponPress, Oxon, England, 2011, 625 p.

Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y. T. ve Thorne, C. R. "Sponge City" in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land use policy*, 201, 76, 772-778.

Comino, E., Bottero, M., Pomarico, S., Rosso, M. Exploring the environmental value of ecosystem services for a riverbasi through a spatial multicriteria analysis. *Land Use Policy*, 2014, 36: 381-395.

Cortinovis, C., & Geneletti, D. Ecosystem services in urban plans: What is there, and what is still needed for better decisions. *Land use policy*, 2018, 70, 298-312.

Costanza R., Daly H.E. Natural Capital and Sustainable Development, *Conservation Biology*, 1992, 6 (1), 37-46.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B. ve Van Den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 1997, 387(6630), 253-260.

Çoban, A., & Yücel, M. Kent planlamasında ekosistem hizmetlerinin rolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2018, 6(2), 444-454.

Çokçalışkan, Başak. Korunan Alan Planlamasında Ekosistem Hizmetleri. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara, 2016. (Doktora Tezi).

Dagenais, D., I. Thomas, ve S. Paquette . "Siting Green Stormwater Infrastructure in a Neighbourhood to Maximise Secondary Benefits: Lessons Learned from a Pilot Project." *Landscape Research*, 2017, 42: 195–210.

Daily, G. C. (1997). Introduction: what are ecosystem services. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*, Island Press: Washington DC, 1997, 1-10.

De Groot, R.S., M. Wilson, ve R. Boumans. A typology for the description, classification, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. 2002, 41(3), 393–408.

De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 2010, 7(3), 260-272.

Dennedy-Frank, P.J., Muenich, R.L., Chaubey, I., Ziv, G. Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding waterresources decisions. *J. Environ. Manage.* 2016, 177, 331-340.

Doğangönül, Ö., Doğangönül, C. Küçük ve Orta Ölçekli Yağmur Suyu Kullanımı. Teknik Yayın Evi, 3. Baskı, Ankara. 2009.

Echols, S. ve Pennypacker, E. *Artful Rainwater Design*, Island Press, Washington DC, 2015, 284 p.

Ehrlich, P., Ehrlich, A. *Extinction: the Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House: New York. 1981.

Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., ... & Wilkinson, C. (2013). Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment. *Springer Nature*. 2013, 755.

Engin, Filiz. Ekosistem servisleri çerçevesinde kentsel açık-yeşil alanların hava kalitesine etkilerinin belirlenmesi; Çanakkale örneği. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 2022, 117.

Erdoğan, B.U. Ekosistem Hizmetleri Kavramının Havza Ölçeğinde Değerlendirilerek Planlamaya Entegrasyonu. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 2020, 16(2), 196-216.

Esringü, A., Toy, S., & Çağlak, S. Sağlıklı kentlerde ekosistem hizmetlerinin önemi. *Climate ve Health Journal*, 2021, 1(2), 68-73.

Falagas, M. E., Bliziotis, I. A., Kosmidis, J., ve Daikos, G. K. Unusual climatic conditions and infectious diseases: observations made by Hippocrates. *Enfermedades infecciosas y microbiologia clinica*, 2010, 28(10), 716-718.

Li, F., & Zhang, J. A review of the progress in Chinese Sponge City programme: Challenges and opportunities for urban stormwater management. *Water Supply*, 2022, 22(2), 1638-1651.

Field, R., ve Tafuri, A. N. (Eds.). *The use of best management practices (BMPs) in urban watersheds*. DEStech Publications, Inc. 2006.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ve Viklander, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban water journal*, 2015, 12(7), 525-542.

Geneletti, D., Cortinovis, C., Zardo, L., ve Esmail, B. A. *Planning for ecosystem services in cities*, Springer Nature: Switzerland. 2020, 87.

Goldstein, J. H., Caldarone, G., Duarte, T. K., Ennaanay, D., Hannahs, N., Mendoza, G., ... & Daily, G. C. Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109(19), 7565-7570.

Gülcü, Göknur. Kentsel alanlarda yağmur suyu yönetiminin mekânsal bileşenlerinin Üsküdar Meydanı havzası üzerinden değerlendirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi*,

Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, Kentsel Tasarım Programı İstanbul, 2021, 186. (Yüksek Lisans Tezi).

Habtemariam, L. W., Herslund, L. B., ve Mguni, P. What makes a champion for landscape-based stormwater management in Addis Ababa Sustainable Cities And Society, 2019, 46.

Hadhinata, C., Firdaus, N., ve Pratama, M. M. A. Duri Kosambi Sponge Park: The Application of Sponge City concept on green open space in reducing flood intensity in Jakarta. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2021, 847.

Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5. 1): a policy brief. One Ecosystem, 2018, 3, e27108.

Hamel, P., & Guswa, A. J. Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: Case study of the Cape Fear basin, North Carolina. Hydrology and Earth System Sciences, 2015, 19(2), 839-853.

Hamel, P., E. Daly, and D. Fletcher. "Source-control Stormwater Management for Mitigating the Impacts of Urbanisation on Baseflow: A Review." Journal of Hydrology, 2013, 485: 201–211.

Haris, H., Chow, M. F., Usman, F., Sidek, L. M., Roseli, Z. A., & Norlida, M. D. (2016, March). Urban stormwater management model and tools for designing stormwater management of green infrastructure practices. In IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing. 2016, 32, 1).

Hepcan, C. C., ve Hepcan, S. Assessing regulating ecosystem services provided by the Ege University Rectorship Garden. Urban Forestry & Urban Greening, 2018, 34, 10-16.

Herslund, L., & Mguni, P. Examining urban water management practices—Challenges and possibilities for transitions to sustainable urban water management in Sub-Saharan cities. Sustainable Cities and Society, 2019, 48.

Hoyer, R., Chang, H. Assessment of freshwater ecosystem services in the Tualatin and Yam hill basins under climate change and urbanization. Appl. Geogr. 2014, 53, 402-416.

Hua, X. and Liu, Z. Urban Stormwater Landscape: Improvement and Integration. Wageningen Üniversitesi, 2012. (Yüksek Lisans Tezi).

Ignatieva, M., Meurk, C. D., & Stewart, G. H. Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology. 2008, 12: 61–73.

István, P. Avrupa çevre durumu ve görünümü 2020. Sürdürülebilir bir Avrupa'ya geçiş için bilgi, 2020, cilt 60 .

Jayasooriya, V.M., Ng, A.W.M. Tools for Modeling of Stormwater Management and Economics of Green Infrastructure Practices: a Review. Water Air Soil Pollut, 2014, 225, 2055.

Jensen D. M. R., Thomsen A. T. H., Larsen T., Egemose S. & Mikkelsen P. S. From EU directives to local stormwater discharge permits: a study of regulatory uncertainty and practice gaps in Denmark. Sustainability, 2020, 12 (16), 6317.

Jia, B., Huang, M., Li, H. E., Lv, P., & Li, J. Benefit of Sponge City monetization

based on “water footprint theory”: cases of Xi’an and Guyuan. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 1-16.

Kusre, B.C., Baruah, D.C., Bordoloi, P.K., Patra, S.C. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River Basin in Assam (India). *Appl. Energ.* 2010, 87 (1), 298-309.

Langenbach, H.; Eckart, J.; Schröder, G. Water Responsive Urban Design- Conclusions and Principles. *Proceedings of the 3rd SWITCH Scientific Meeting*, Belo Horizonte, Brezilya, 30 Kasım–4 Aralık 2008.

Leh, M.D.K., Matlock, M.D., Cummings, E.C., Nalley, L.L. Quantifying And Mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2013, 165, 6-18.

Maes J., Quaglia A. P., Pereira A. G., Tokarski M., Zulian G., Marando F. And Schade S. Biodivercities: A Roadmap To Enhance The Biodiversity And Green Infrastructure Of European Cities By 2030 Progress Report, European Union, 2021, 76p.

Maurya, S., Srivastava, P.K., Gupta, M., Islam, T., Han, D. Integrating Soil Hydraulic Parameter and Microwave Precipitation with Morphometric Analysis for Watershed Prioritization. *Water Resour. Manag.* 2016, 30 (14), 5385-5405.

McPhearson, T., Andersson, E., Elmqvist, T. ve Frantzeskaki, N. Kentsel ekosistem hizmetlerinin esnekliği. *Ekosistem Hizmetleri*, 2015, 12 , 152-156.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*, Erişim: www.unep.org. (Erişim tarihi: 03.01.2023).

Methods, H. ve Durrans, S. R., *Stormwater Conveyance Modeling and Design* (First Edition), Haestad Press, Waterbury, USA, 2003, 688.

Li, M., Liang, D., Xia, J., Song, J., Cheng, D., Wu, J., ... & Li, Q. Evaluation of water conservation function of Danjiang River Basin in Qinling Mountains, China based on InVEST model. *Journal of environmental management*, 2021, 286, 112212.

Moberg, F. ve C. Folke. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 1999, 29(2), 215–233.

Muhacir, SA ve Tazebay, İ. Kırsal turizm düzenlemesinde bir araç: Ekosistem hizmetleri yaklaşımı. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 2017, 18(1), 74-81.

Natural Capital Project, 2022. InVEST 3.12.1. Kullanım Kılavuzu. Stanford Üniversitesi, Minnesota Üniversitesi, Çin Bilimler Akademisi, The Nature Conservancy, World Wild life Fund ve Stockholm Resilience Centre (Erişim tarihi: 10.01.2023). erişim: <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/stormwater.html#estimate-stormwater-retention-recharge-and-runoff>

Norberg, J. Linking Nature’s services to ecosystems: Some general ecological concepts. *Ecological Economics*, 1999, 29(2), 183–202.

Okaikue-Woodi, F. E., Cherukumilli, K., & Ray, J. R. A critical review of contaminant removal by conventional and emerging media for urban stormwater treatment in the United States. *Water Research*, 2020, 187, 116434.

Özalp, Didem. Dere taşkın risk haritalarının CBS kullanılarak oluşturulması ve CBS ile taşkın risk analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İstanbul, 2009, 156. (Yüksek Lisans Tezi).

Özer, Z. Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber), Ankara. 1990.

Öztürk, D. CBS Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri İle Sel ve Taşkın Duyarlılığının Belirlenmesi: Güney Marmara Havzası Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009. (Doktora tezi).

Pamukçu, P. Ekosistem Hizmetlerinin Peyzaj Planlama Sürecine Entegrasyonu. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015. (Doktora Tezi).

Perrin, C., Milburn, L., Szpir, L., Hunt, W., Bruce, S., McLendon, R., ... ve Eaker, W. Low impact development: a guidebook for North Carolina. AG-716. North Carolina Cooperative Extension Service, Kuzey Carolina Eyalet Üniversitesi, Raleigh Kuzey Karolina., 2009.

Pickard, B. R., Daniel, J., Mehaffey, M., Jackson, L. E., & Neale, A. EnviroAtlas: A new geospatial tool to foster ecosystem services science and resource management. Ecosystem Services, 2015, 14, 45-55.

--

Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D., & Johnson, K. A. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. Environmental and Resource Economics, 2011, 48, 219-242.

Qiao, X.-J., Kristoffersson, A., & Randrup, T. B. Challenges Implementing urban SSM from a governance perspective: A literature review. Journal of Cleaner Production, 2018, 196, 943–952.

Radcliffe, J.C., Approaches To Water Sensitive Urban Design. History of Water Sensitive Urban Design/ Low Impact Development Adoption in Australia and Internationally, 2019, 1-24.

Rodríguez-Sinobas, L., Zubelzu, S., Perales-Momparler, S., ve Canogar, S. Techniques and criteria for sustainable urban stormwater management. The Case Study of Valdebebas (Madrid, Spain). Journal of Cleaner Production, 2018, 172, 402–416.

Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., ... ve Brown, R. R. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. Environmental management, 2008, 42, 344-359.

Ruckelshaus, M., McKenzie, E., Tallis, H., Guerry, A., Daily, G., Kareiva, P., ... ve Bernhardt, J. Notes from the field: lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. Ecological Economics, 2015, 115, 11-21.

Schueler, T. Spatial Planning for Urban Stream Protection. Metropolitan Washington Council of Governments. Washington DC, 1995.

Sert, Esra. Enerji Etkin Kentsel Peyzaj Tasarımında Yağmur Suyu. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İstanbul, 2013, 135. (Yüksek Lisans Tezi).

Smith P., Ashmore M. R., Black H. I. J., Burgess B. J., Evans C. D., Quine T. A., Thomson A. M., Hicks K. and Orr H. G. REVIEW: The Role of Ecosystems and Their Management in Regulating Climate, and Soil, Water and Air Quality, Journal of Applied Ecology, 2013, 50(4), 812-829p.

Staddon, C. Managing Europe's water resources: 21st century challenges, Farnham: Ashgate, 2010, 290 p.

Stewart, R., & Hytiris, N. The role of Sustainable Urban Drainage Systems in reducing the flood risk associated with infrastructure. In 11th International Conference on Urban Drainage , 2008, 1-15.

Susam, T., & İrfan, O. CBS ile Tokat ili arazi varlığının eğim ve bakı özelliklerinin tespiti ve tarımsal açıdan irdelenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2006.

Şevket, I. Türkiye'de kentleşme ve kentleşme modelleri. Ege Coğrafya Dergisi, 2005, 14(1-2), 57-71.

Tallis, H., & Polasky, S. Assessing multiple ecosystem services: an integrated tool for the real world. Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services, 2011, 34-50.

Tallis H., T. Ricketts, A.D. Guerry, S.A. Wood, R. Sharp, E. Nelson, D. Ennaanay, S. Wolny, N. Olwero, K. Vigerstol, D. Pennington, G. Mendoza, J. Aukema, J. Foster, J. Forrest, D. Cameron, K. Arkema, E. Lonsdorf, C. Kennedy, G. Verutes, C.K. Kim, G. Guannel, M. Papenfus, J. Toft, M. Marsik, J. Bernhardt, R. Griffin InVEST 2.5.3 User's Guide The Natural Capital Project, Stanford, 2013.

Tamburrino, A. "WaterTechnology in Ancient Mesopotamia", Ancient Water Technologies (Ed. L. W. Mays), USA, Springer, 2010, 29-52.

Tao, Y., Li, F., Wang, R., & Zhao, D. Effects of land use and cover change on terrestrial carbon stocks in urbanized areas: a study from Changzhou, China. Journal of Cleaner Production, 2015, 103, 651-657.

TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). (03.01.2023). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. Erişim: www.teebweb.org. (Erişim tarihi: 04.01.2023).

Toman M. Special Section: Forum On Valuation Of Ecosystem Services Why Not To Calculate The Value Of The World's Ecosystem Services and Natural Capital, Ecological Economics, 1998, 25, 57-60.

Trabucchi, M., Ntshotsho, P., O'Farrell, P., & Comín, F. A. Ecosystem service trends in basin-scale restoration initiatives: a review. Journal of environmental management, 2012, 111, 18-23.

Tülek, B. ve Ersoy, M. Kentsel sistemlerde yeşil altyapı ve ekosistem hizmetleri. Peyzaj - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi, 2019, 2, 1-11.

Vatandaşlar, C. Orman fonksiyonu mu ekosistem hizmeti mi?. Turkish Journal of Forestry, 2021, 22(2), 171-185.

Vigerstol, K.L., Aukema, J.E. A comparison of tools for modeling fresh water ecosystem services. J. Environ. Manage, 2011, 92 (10), 2403-2409.

Wang, M., Zhang, D. Q., Su, J., Dong, J. W., & Tan, S. K. Assessing hydrological effects and performance of low impact development practices based on future scenarios modeling. Journal of Cleaner Production, 2018, 179, 12–23.

Wanielista, M. P., Kersten, R., ve Eaglin, R. Hydrology: Water quantity and quality control. John Wiley & Sons, 1996.

- Ward, F.A., Pulido-Velazquez, M. Waterconservation in irrigation can increasewateruse. Proc. NatlAcad. Sci. USA, 2008, 105 (47), 18215-18220.
- Westman W. E. How much are nature service's worth? Science, 1977, 197, S. 960.
- Wilderer, P. A. Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: some thoughts about reasons, means and needs. Water Science and Technology, 2004, 49(7), 7-16.
- Wilson, M.A. ve Carpenter, C.R. Economic Valuation of Freshwater Ecosystem Services in the US: 1971-1997. Ecological Applications, 1999, 9, 772-783.
- Wong, T. H., & Brown, R. R. The water sensitive city: principles for practice. Water science and technology, 2009, 60(3), 673-682.
- Wong, T. H. Water sensitive urban design-the journey thus far. Australasian Journal of Water Resources, 2006, 10(3), 213-222.
- Xia, J., Zhang, Y., Xiong, L., He, S., Wang, L., &Yu, Z. Opportunities And Challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. Science China Earth Sciences, 2017, 60(4), 652-658.
- Xiao, Q., Hu, D., Xiao, Y. Assessing changes in soil conservation ecosystem services and causal factors in the Three Gorges Reservoir region of China. J. Clean. Prod, 2017, 163, 172-180.
- Van Roon, M. R. Water sensitive residential developments: Application of LIUDD principles and methods in the Netherlands, Australia and New Zealand. Urban Water Journal, 2011, 8(6), 325-335.
- Villa, F., Bagstad, K.J., Voigt, B., Johnson, G.W., Portela, R., Honzak, M., Batker, D., 2014. A methodologyforadaptableandrobustecosystemservicesassessment. PlosOne 9 (3), e91001.
- Villa, F., Bagstad, K. J., Voigt, B., Johnson, G. W., Portela, R., Honzák, M., & Batker, D. A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment, 2014.
- Yalçın M. Afet Yönetimi-Hazırlık Bileşeni için Kumsal Veri Altyapısı Tasarlanması, Sel ve Taşkına Duyarlı Alanlar: İstanbul AVRUPA yakası Örneği. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, 106. (Yüksek Lisans Tezi)
- Yang, D., Liu, W., Tang, L., Chen, L., Li, X., Xu, X. Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model. Landsc. Urban Plan. 2019, 182, 133-143.
- Yang, L., Zhang, L., Li, Y., Wu, S. Water-related ecosystem services provided by urban green space: A case study in Yixing City (China), Landscape And Urban Planning, 2015, 136, 40-51.
- Yiğit, G.K. "Türkiye'de Sağlık Coğrafyası Çalışmaları Üzerine Bir Değerlendirme". e-Journal of New World Sciences Academy, 2011, 6(1) 30-41.
- Yüksel, A. T. Kentsel Yeşil Alanlarda Ekosistem S ervislerinin Hesaplanması: Karşıyaka Örneği. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İzmir, 2022, 89. (Yüksek Lisans Tezi).
- Zevenbergen, C., Veerbeek, W., Gersonius, B., & Van Herk, S. Challenges in urban

flood management: travelling across spatial and temporal scales. *Journal of Flood Risk Management*, 2008, 1(2), 81-88.

Zhou, Q. A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change urbanization impacts. *Water*, 2014, 6(4), 976-992.

Zoppou, C. (2001). Review of urban storm water models. *Environmental Modelling & Software*, 2001, 16(3), 195-231.

