

İklim Değişikliğine Mekânsal Uyum ve Azaltım Yaklaşımlarında Toprak Ekosistem Servislerinin Rolü

Merve Yılmaz MUTLU¹, Azime TEZER¹
ORCID: 0009-0003-2760-2968, 0000-0003-2008-1189

Öz

Dünya üzerinde kapladıkları %2'lik bir alanla Dünya nüfusunun yarısından fazlasına ev sahipliği yapan kentsel alanlar, ormansızlaşma ve fosil yakıt kullanımını teşvik eden politikalarla iklim krizini olumsuz yönde etkilemektedir. Buna ek olarak kentler iklim krizinin sebep olduğu kırılganlıklara karşı da her geçen gün daha duyarlı bir hal almaktadır. Toprak sunduğu çeşitli ekosistem servisleri ile bu bağlamda öne çıkmakta ve sağladığı faydalarla iklim kriziyle mücadelede kentleri daha dirençli hale getirme gücüne sahiptir. Karbon depolama, tarım, su kaynaklarının yönetimi, doğal tehlikelerin kontrolü ve habitat sağlama toprak ekosistem servislerinin öne çıkan faydalarındandır. Toprak ekosistem servislerinin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini minimize etme kabiliyetleri onları uyum ve azaltma stratejileri ve politikaları geliştirmekte önemli araçlar yapmaktadır. İklim krizine karşı kentlerin direncini artırma yolunda toprak ekosistem servisleri sağladığı faydalar ile mekânsal planlama süreçlerinde yer seçim kararlarında değerlendirilmesi gereken hassas ekolojik alanlardır. Bu çalışmada iklim değişikliğine mekânsal uyum kapsamında planlama aracı olarak toprak ekosistem servislerine dayalı çok kriterli yer seçimi uygunluk analizi yaklaşımı sunulmaktadır. Bu yaklaşım çalışma alanı olarak seçilen Bursa Nilüfer Çayı Havzası'nda uygulanmaktadır. Nilüfer Çayı Havzası, sahip olduğu doğal değerlere rağmen yaşadığı hızlı toprak kaybı ve karşı karşıya olduğu baskılar ile toprak ekosistem servisleri ve mekânsal planlama ilişkisini anlamaya uygun bir araştırma alanı olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda öncelikle toprak ekosistem servisleri tanımlanmakta ve sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar paylaşılmaktadır. Sonraki adımda yerleşime uygunluk analizinde ağırlıklandırılmaya alınması gereken toprak ekosistem servislerinin tespiti için iklim değişikliği ile ilişkili toprak ekosistem servisleri incelenmektedir. Çalışmada toprak ekosistem servislerinin Türkiye'deki mekânsal planlardaki yerini anlamak adına mevzuat incelenmektedir. Mevzuat kapsamında Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, Orman Kanunu, Çevre Kanunu, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği ve İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik değerlendirilmektedir. Toprak ekosistem servislerinin söz konusu mevzuatta nasıl ele alındığı ve paylaşılan toprak ekosistem servisleri sınıflandırılmasına ne kadar katkıda bulunduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak ekosistem servisleri (ToES), iklim değişikliği, mekânsal planlama, iklim değişikliğinin uyum

¹Şehir Planlama. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
* İlgili yazar/Corresponding author: yilmazmer20@itu.edu.tr
Gönderim Tarihi / Received Date: 16.06.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date: 20.11.2023

Bu makaleye atıf yapmak için- To cite this article

Yılmaz Mutlu, M., Tezer A. (2023). İklim Değişikliğine Mekânsal Uyum ve Azaltım Yaklaşımlarında Toprak Ekosistem Servislerinin Rolü. Resilience, 305-324

The Role of Soil Ecosystem Services in Spatial Adaptation and Mitigation Approaches to Climate Change

Abstract

Urban areas, occupying only 2% of the Earth's surface but hosting more than half of the world's population, adversely affect the climate crisis with policies that promote deforestation and fossil fuel use. Simultaneously, they become more vulnerable to the fragilities caused by the climate crisis. In this context, soil stands out for its diverse ecosystem services, offering benefits that can make cities more resilient in combating the climate crisis. Carbon sequestration, agriculture, water resource management, natural disaster control, and habitat provision are among the prominent benefits of soil ecosystem services. Their ability to minimize the adverse effects of climate change positions them as essential tools in developing adaptation strategies and policies. Soil ecosystem services, with the benefits they provide in enhancing urban resilience against the climate crisis, are sensitive ecological areas that should be considered in site selection decisions within spatial planning processes. This study presents a multi-criteria site suitability analysis approach based on soil ecosystem services as a planning tool within the context of climate change adaptation. This approach is applied in the Bursa Nilüfer Stream Basin as the study area. Despite its natural values, the Nilüfer Stream Basin has been selected as a suitable research area due to its rapid soil loss and various pressures. In this context, soil ecosystem services are first defined and classified. Subsequently, steps are shared for identifying soil ecosystem services that need to be weighted in suitability analysis related to settlement, considering their association with climate change. To understand the integration of soil ecosystem services into spatial plans, legislation in Turkey is examined. Within the legislation framework, the Soil Protection and Land Use Law, the Forest Law, the Environmental Law, the Spatial Plans Preparation Regulation, and the Regulation on the Protection of Drinking-Water Basins are evaluated. The extent to which soil ecosystem services are addressed in this legislation and their contribution to the classification of shared soil ecosystem services are assessed. This study emphasizes the potential of integrating soil ecosystem services into spatial planning processes and is considered as a significant step in enhancing urban resilience against climate change.

Keywords: Soil ecosystem services (SoES), climate change, spatial planning, climate change adaptation

1. Giriş

IPCC (Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli) (2023) sanayi öncesi dönemden bu yana, kara yüzeyi hava sıcaklığı küresel ortalama sıcaklığın neredeyse iki katı kadar arttığına vurgu yapmaktadır. Aşırı hava olayların sıklığı ve yoğunluğundaki artışlar da dahil olmak üzere iklim değişikliği, gıda güvenliğini ve karasal ekosistemleri olumsuz etkilemenin yanı sıra birçok bölgede çölleşmeye ve toprak kaybına neden olmaktadır. İklim değişikliği arazi üzerinde ilave baskılar yaratarak geçim kaynaklarına, biyolojik çeşitliliğe, insan ve ekosistem sağlığına, altyapıya ve gıda sistemlerine yönelik mevcut riskleri artırmaktadır (IPCC, 2023). Tüm bu sonuçlar iklim değişikliğini günümüzün en hassas konularından biri haline getirmektedir. İklim değişikliği etkilerine karşı uyum ve azaltım stratejilerinin geliştirilmesi önemli bir öncelik alanı haline gelmiştir.

Toprak, insanların geçim kaynaklarının ve refahlarının temel dayanağını oluşturma, gıda, tatlı su ve çeşitli diğer ekosistem servisleri ile birlikte biyoçeşitlilik sağlama gibi faktörlerin yanı sıra iklim sisteminde de önemli bir rol oynamaktadır (IPCC, 2023). Özellikle kentsel alanlardaki Toprak ekosistem servislerini (ToES) korumak ve bozulmuş ekosistemlerde restorasyon ile

bu ekosistem servislerini (ES) geri kazanmak kentlerin ekolojik ayak izlerini ve ekolojik borçlarını azaltırken, iklim değişikliğine karşı da kentlerin direncini, sağlığını ve yaşam kalitesini geliştirmektedir (Baggethun & Barton, 2013). ToES'lerin iklim değişikliğine mekânsal uyum kadar azaltım politikaları ile olan ilişkileriyle de kentsel politikalarda değerlendirilmesi gerekmektedir (Fossey vd., 2020).

Nitekim topraklar sürdürülebilir olmayan bir şekilde kullanıldığında önemli bir CO₂ ve azot emisyon kaynağı olmakta ve bu gazların atmosferdeki konsantrasyonunu artırmaktadır. Sürdürülebilir ve yeşil altyapıları destekleyen bir mekânsal yaklaşımın ise toprağın sera gazı emisyonlarını depolayabilme kabiliyetlerini desteklemesi ve bu durumun azaltım politikalarına hizmet etmesi beklenmektedir. Toprak ile doğrudan ilişkili tarım faaliyetleri, arazi kullanımı ve arazi kullanımı değişikliğinden kaynaklanan emisyonları artırmakta, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %25'inin, Avrupa'da ise yaklaşık %10'unun kaynağını oluşturmaktadır (Schils vd., 2008; Jónsson & Davíðsdóttir, 2016). Toprak kullanımına ilişkin bu olumsuz etkiler, mekânsal gelişim kararları içerisinde ToES yaklaşımının önemli bir iklim değişikliğine mekânsal uyum ve azaltım aracı olarak değerlendirilmesi fikrini ortaya çıkarmıştır.

Tezer ve arkadaşları (2018) ES'ye dayalı çok kriterli karar alma sürecini daha sürdürülebilir bir kent yaklaşımı sunabileceğini öne sürmekte ve bu kapsamda yerleşime uygunluk analizine araştırmalarında yer vermektedir (Tezer vd., 2018). Yazarlar yerleşime uygunluk analizi oluşturulurken jeoloji, su geçirgenliği, eğim, erozyon, toprak kabiliyeti ve habitat kırılabilirliği verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmaya ek olarak iklim değişikliğine mekânsal uyum ve azaltımda ToES'lerin mekânsal planlara entegrasyonu için öne sürülen yerleşilebilirlik analizinin kriterleri arasında toprağın karbon (C) tutma (Weber, 2007; Lehman & Sahr, 2010; Lal, 2004, Schils. vd., 2008), su döngüsü C depolama ve hammadde üretimi ile doğrudan bağlantısı ortaya konulan toprak derinliği (Buol, Hole, & McCracken, 2011; Hancock, Willgoose, & Cohen, 2015), iklim düzenleme ve hidro-metreolojik afetler (Rincón, Khan, & Armenakis, 2018; Nedkov & Burkhard, 2022; Dewan vd., 2007) gibi iklim değişikliği ile doğrudan bağlantılı servislerin de değerlendirildiği yaklaşımlar sunulmuştur.

Fossey ve arkadaşları (2020) ToES'lerin mekânsal planlamada karar destek bilgisi olarak kullanılmasına yönelik çalışmalarda toprak sınıfları ve mevcut arazi kullanımının çakıştırılması yaklaşımını öne sürmektedir. Franzluebbers (2002), farklı toprak sınıflarının, farklı ES'leri sağlamada önem taşıdığına vurgu yapmaktadır. Örneğin; 1., 2., 3., 4. toprak sınıfları su tutma kapasitesi yüksek olduğu için sel önleme ve su kaynakları koruma servisleri sağlarken; bazı toprak tiplerinin su geçirgenliğinin yüksek olması su tutma kapasitesini düşürmektedir. Bu nedenle, toprak sınıfları, ToES ile ilgili politika kararları alınırken dikkate alınması gereken bir faktör olarak önem kazanmaktadır (Franzluebbers, 2002).

Yerleşime uygunluk analizinde ağırlıklandırılmaya alınan bir diğer parametre de toprak derinliğidir. Toprak derinliği, bitki yetiştirme kapasitesi, su tutma kapasitesi C depolama kapasitesi gibi ES'leri sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Daha derin topraklarda, bitki kökleri daha geniş bir alana yayılabilir ve su ve besin maddelerini daha iyi emmektedir. Bu da bitki büyümesi ve üretkenliğinin artmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, derin topraklar daha fazla su depolama kapasitesine sahip olduğu için, taşkınlar, seller ve kuraklık gibi doğal afetlere karşı daha dirençli hale gelmektedir. Toprağın C tutması, topraktaki organik madde içeriği ve toprak karbon stoklarının korunması veya artırılması ile ilgilidir. C tutan topraklar, organik madde içeriği yüksek, verimli ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına sahip olan topraklar olarak tanımlanmaktadır (Lehman & Sahr, 2010; Weber, 2007).

Bu çalışmada ToES'lere dayalı çok kriterli yerleşime uygunluk analizinin mekânsal planlama süreçlerine dahil edilmesinin iklim değişikliği azaltım ve uyum politikalarına katkısı tartışılmaktadır. Araştırma dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yerleşime uygunluk

analizi kriterlerinin belirlenmesi adına öncelikle ToES'lerin sınıflandırılmasına ilişkin literatür incelemesi yapılmaktadır. Bu çalışmaların ToES'leri dört ana kategori altında gruplandırıldığı görülmektedir: kaynak sağlayan, düzenleyen, destekleyen ve kültürel servisler (Şekil 1). Bu kategoriler altında öne çıkan servisler Şekil 1'de paylaşılmaktadır. İkinci aşamada ToES ve iklim değişikliği ilişkisi incelenmektedir. Üçüncü aşamada ise tanımlanan ToES'lerin Türkiye'de mekânsal planlar ile bağlantılı yasal mevzuatta (Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, Orman Kanunu, Çevre Kanunu, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği ve İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik) nasıl değerlendirildiği incelenmektedir. Son aşamada ise iklim değişikliği ile ilişkileri açısından öne çıkan ToES'lerin haritalandırılması ve bunların mekânsal planlama aracı olarak yerleşime uygunluk analizinde değerlendirilmesine yönelik alan çalışması bulunmaktadır. Çalışma alanı olarak Bursa Nilüfer Havzası seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında uygulanan yerleşime uygunluk analizinde iklim değişikliği ve ToES ilişkisinde öne çıkan toprak C tutma kapasitesi, toprak derinliği, sıcaklık, yağış, taşkın riski, oluşturulurken jeoloji, su geçirgenliği, eğim, erozyon, toprak kabiliyeti verileri kullanılmıştır.

Tablo 1. Toprak Ekosistem Servislerinin Sınıflandırılmasına ilişkin literatür incelemesi.

Toprak ES	Düzenleyen Servisler									Kültürel Servisler				
	Tozlaşma	Zararlıların ve hastalıkların biyolojik kontrolü	İklim düzenlemesi	Hidrolojik kontrol	Gaz regülasyonu	Yüze Suyu Akışı kontrol	Erozyon kontrolü	Atıkların geri dönüşümü ve detoksifikasyon	Besinlerin ve kirleticilerin filtrelenmesi	Miras	Rekreasyon	Bilişsel	Estetik	Sağlık
Jönsson & Daviösdóttir (2016)		X	X	X				X	X	X	X	X		
Haygarth & Ritz (2009)			X	X	X		X			X	X	X		
Sandhu, Wratten, & Cullen (2010)	X	X	X	X			X		X		X		X	
Smit, ve diğerleri (2012)		X	X	X				X	X					
Swinton, ve diğerleri (2007)	X	X	X		X						X			X
Lavelle, ve diğerleri (2006)			X	X		X	X							
Diana H. Wall (2004)		X	X	X	X	X	X			X	X			
Andrews, Karlen, & Cambardella (2004)				X				X	X					
Dominati, Patterson, & Mackay (2010)		X	X		X	X	X	X		X	X		X	
Birgé, ve diğerleri (2016)				X				X						
Pulleman, ve diğerleri (2012)		X	X				X	X						
Bartkowski, ve diğerleri (2020)	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Pavan & Ometto (2018)		X	X	X				X	X	X	X	X	X	
De Groot (2002)	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	
Daily, ve diğerleri (2009)		X	X	X				X		X	X	X		X

Toprak ES	Destekleyen Servisler								Kaynak Sağlayan Servisler						
	Biyoçeşitlilik havuzu	Besin döngüsü	Toprak oluşumu	Toprak verimliliği	Su döngüsü	Karbon Yutak Alanı	Azot bağlanması	Bitki besinlerinin mineralizasyonu	Biyokütle üretimi	İşlenmemiş içerikler	Temiz su temini	Hammadde	Fiziki mekân	Gıda temini	Toprak organik madde mineralizasyonu
Jönsson & Daviösdóttir (2016)	X	X	X		X				X	X	X	X	X		
Haygarth & Ritz (2009)		X	X						X	X	X	X	X	X	
Sandhu, Wratten, & Cullen (2010)			X	X		X	X	X		X					X
Smit, ve diğerleri (2012)		X	X	X											
Swinton, ve diğerleri (2007)	X		X		X	X				X				X	
Lavelle, ve diğerleri (2006)		X	X					X			X				
Diana H. Wall (2004)	X	X		X		X	X			X		X	X	X	
Andrews, Karlen, & Cambardella (2004)	X	X			X						X		X	X	
Dominati, Patterson, & Mackay (2010)	X	X	X	X		X		X		X			X	X	X
Birgé, ve diğerleri (2016)	X		X	X		X				X			X	X	X
Pulleman, ve diğerleri (2012)	X				X								X	X	X
Bartkowski, ve diğerleri (2020)	X										X	X		X	X
Pavan & Ometto (2018)	X		X						X		X	X	X	X	
De Groot (2002)		X	X						X	X	X	X	X	X	
Daily, ve diğerleri (2009)	X	X	X		X				X	X	X		X	X	

2. ToES ve İklim Değişikliği

IPCC İklim Değişikliği ve Arazi Özel Raporu'nda (Special Report Climate Change And Land) (2023) karadaki ısınmanın küresel ortalamadan daha hızlı gerçekleştiğini ve bunun ToES'ler üzerinde gözlemlenebilir etkileri olduğunu vurgulamaktadır. Toprağın maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar (değişen yağış düzenleriyle birlikte) büyüme mevsimlerinin başlangıcını ve sonunu değiştirerek bölgesel mahsul veriminin azalmasına ve tatlı su mevcudiyetinin azalmasına ve sebep olmakta ve biyolojik çeşitlilikler üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Arazi kullanımı ToES üzerindeki olumsuz etkileri bu baskıları gün geçtikçe daha arttırmaktadır bu sebeple iklim değişikliği azaltım ve uyum politikalarında mekânsal planlara girdi verebilecek hususların anlaşılması ve bunlara yönelik kararların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (IPCC,2023). Bu çalışmada literatürde öne çıkan çalışmalar göz önünde bulundurularak ToES'ler C ve su depolama, iklim düzenlemesi ve doğal tehlikelerin etkisini azaltmadaki rolü ile

değerlendirilmektedir (Weber, 2007; Lehman & Stahr, 2010; Orwin vd., 2015; Dominati vd., 2010; Eekhout & Vente, 2022; Yang vd., 2003; Berberoğlu, Çilek, & Kirkby, 2020; Chen, 2002).

Weber (2007) ve Lal'e göre (2004) toprak atmosfer için önemli bir C havuzu oluşturmakta ve iklim değişikliği azaltımında önemli bir rol oynamaktadır. Lehman ve Star'a göre (2010) sürdürülebilir arazi kullanımı ve yönetimi konularında bir dizi ES uzun yıllardır ele alınsa da toprağın C stoğu olarak planlara entegre edilmesi son yüzyılda öne çıkan bir konu olduğunu ifade etmektedir (Lehman & Stahr, 2010). Toprağın mekânsal planlarda azaltım stratejisi olarak ön plana çıkarılmasının önemlerinden biri de Weber'in de ifade ettiği üzere toprağın üzerinde kontrolümüz olan en büyük C yutağı olmasından kaynaklanmaktadır. *Toprak organik karbonu (SOC), atmosferle etkileşim içinde olan en büyük rezervuardır; bitki örtüsü 650 gigaton, atmosfer 750 gigaton, toprak 1500 gigaton C depolar; karasal C'nin %82'si topraklarda tutulmaktadır; karasal biyosfer yılda 2 milyar metrik ton C tutmaktadır.* Bu bağlamda toprak, atmosferik CO₂ seviyelerini düşürmenin en uygun maliyetli yolu olarak değerlendirilmektedir (Lehman & Stahr, 2010).

Topraksız bir dünyada insanların en temel ihtiyacı olan suyun da olması mümkün değildir (Pereira vd., 2018). Quinton (2015) suyun Dünya yüzeyinin üzerinde, üstünde ve altında sürekli hareketinin, toprağın sağladığı ES'ler sayesinde sürdürülebilir olduğunu öne sürmektedir. Nitekim, toprak dünya genelinde 67.000 km³ su tutmakta ve bu su büyük ölçüde kök alımı, bitki büyümesi, yeraltı suyu beslenmesi ve toprak organizmaları için kullanılmaktadır (Quinton, 2015; aktaran Delibas, Tezer, & Bacchini, 2018). Toprak, su kalitesi ve miktarını düzenlemede kritik bir rol oynayarak su filtreleme, su depolama ve besin döngüsü gibi temel ekosistem servislerini sağlamaktadır. Orwin ve arkadaşları (2015) su filtrelemenin, toprağın sağladığı en önemli ES'lerden biri olduğunu ifade etmektedir. Sağlıklı toprak, aşırı gübreleme, kirlilik ve sedimanları akarsular, göller ve diğer su kaynaklarına girmeden önce uzaklaştırarak, suyu süzerek ve arıtarak filtrelemekte ve doğal yol ile kirlenmesini önlemektedir. Bu, su kalitesinin korunmasına ve su ekosistemlerinin sunduğu ES'lerin kirlilikten korunmasına yardımcı olmaktadır (Orwin vd., 2015).

Bununla birlikte ToES ve su arasındaki ilişki iklim değişikliğinin sebep olduğu iklim sistemlerindeki bozulmadan etkilenmekte ve hem gıda hem de temiz suya olan ihtiyacımızı tehlikeye sokmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, iklim değişikliği toprak-su sistemi üzerinde olumsuz etkileri olan birçok faktörü etkilemektedir. Artan sıcaklık ve daha az yağış, toprak nemini azaltabilmekte ve bu durum suyun bitkiler tarafından kullanılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, aşırı yağış ve sel baskınları toprağın erozyonuna neden olurken su kaynaklarının kirlenmesine de yol açabilmektedir. Bu nedenle, toprak-su sistemi, iklim değişikliğinin neden olduğu stres faktörlerine karşı savunmasızdır ve iklim değişikliğinin doğrudan bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır (FAO, 2016). IPCC (2015) iklim değişikliğine bağlı doğal tehlikelerin sıklığında ve şiddetinde yaşanacak artışlara vurgu yapmaktadır. Turner ve arkadaşlarının vurguladığı üzere iklim sisteminin önemli bir bileşeni olan ToES'ler çeşitli doğal süreçlerde sahip oldukları kabiliyetlerle azaltım ve uyum kapasitelerine sahiptirler (Turner, Oppenheimer, & Wilcove, 2009).

ToES ve iklim değişikliği ilişkisinde öne çıkan doğal tehlikeler ise toprak bozulması ve taşkınlardır. Berberoğlu ve arkadaşları (2020) tarım arazilerinden bir yılda tahmin edilen verimli toprak kaybı miktarlarının 2020 yılında 55,5 milyon ton olduğunu ifade etmektedir ve iklim değişikliği ile artması beklenen toprak bozulması IPCC'nin RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 dört iklim değişikliği senaryosuna göre 2060 yılında 308,9, 323,5, 320,3 ve 355,3 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. ToES'leri olumsuz olarak etkileyen toprak bozulmaları ve bunun en büyük sebeplerinden biri olarak gösterilen toprak erozyonunun (Eekhout & Vente, 2022; Yang, Kanae, Oki, Koike, & Musiaka, 2003; Berberoğlu, Çilek, & Kirkby, 2020; Chen,

2002) en yüksek olduğu arazi örtüsü grupları ise %68 ile bozuk ormanlar, maki ve tarım arazileridir (Berberoğlu, Çilek , & Kirkby, 2020).

İklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkileri temel olarak yağış miktarı ve şiddetindeki değişimler ile artan sıcaklıklardan kaynaklanmaktadır (Delong, Cruse, & Wiener, 2015; Berberoğlu, Çilek, & Kirkby, 2020). Bu durum kara, tatlı su ve okyanuslar için önemli bir küresel toprak bozulması tehdidi olarak değerlendirilmektedir (Borrelli vd., 2020; Berberoğlu, Çilek, & Kirkby, 2020). Nedkov ve Burkhard'ın da (2012) vurguladığı üzere taşkınlar insan toplulukları üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır; ayrıca Vári ve arkadaşlarının (2022) ifadesiyle taşkınların insan yerleşimlerine ve altyapılara verdiği hasarın boyutları her geçen gün artmaktadır (Nedkov & Burkhard, 2022; Vári vd., 2022). IPCC (2023) iklim değişikliğinin taşkınlar üzerinde şiddetli yağışların artması, kuraklık ile toprağın neminin azalmasıyla yağışların toprak tarafından emilememesi gibi etkilerinden dolayı taşkınlardan yaşanacak kayıplarda artışların yaşanacağını ortaya koymaktadır (IPCC, 2015). Montgomery'ye göre (2007) topraklar sağladıkları ES'ler ile taşkınların kontrolünde kilit öneme sahiptirler. ToES'ler taşkınların yönetiminde ve düzenlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Montgomery, 2007). Aydın ve arkadaşlarının da ifade ettiği üzere (2018) kentlerin karşı karşıya olduğu doğal tehlikelere karşı ES'lere dayalı risk azaltımı politikaları kentlerin dayanıklılığını arttırmada etkili bir yöntemdir ve bu yaklaşımların mekânsal planlara entegrasyonu bu açıdan büyük önem taşımaktadır (Aydın vd., 2018).

3. ToES ve Mekânsal Planlama İlişkisi

Mekânsal planlar, uyum ve azaltım politikalarıyla, iklim değişikliğine karşı doğal ve yapılı çevrenin dirençli ve esnek olmasına olanak sağlamaktadır. Mekânsal planlama, Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Risk Azaltma Stratejisi (UNISDR) tarafından afet riski daha düşük yerleşim birimleri ve kentlerin oluşturulmasına büyük katkı sağlama potansiyeline sahip bir araç olarak kabul edilmektedir (Uri-1, 2023). Sağladığı servisler göz önüne alındığında ToES'lerin üzerindeki tehlike ve risk bilgilerinin mekânsal planlamaya entegrasyonu hem ulusal hem de yerel düzeylerde gereklidir. Fossey ve arkadaşları (2020) özellikle ToES'lerin mekânsal planlamaya entegrasyonu açısından planlama süreçlerini değerlendirmiştir (Fossey vd., 2020). Bu çalışmada Fossey ve arkadaşlarının Greiving ve Fleischhauer'un temel mekânsal planlama süreçleri olarak değerlendirdiği süreçleri izledikleri görülmektedir.

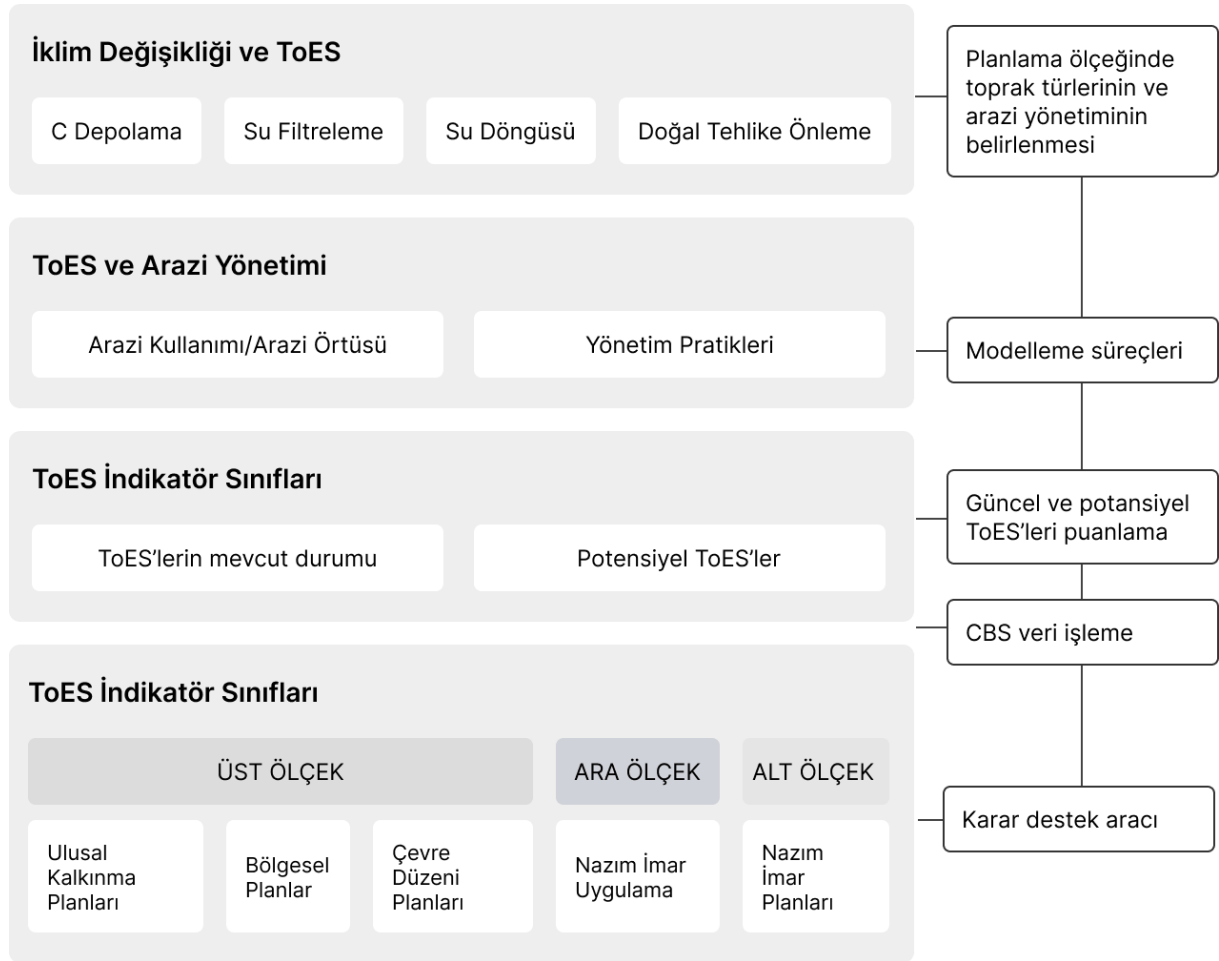
Fossey ve arkadaşlarına göre ToES'e dayalı mekânsal planlama süreçleri şu şekildedir (2020) (Şekil.1):

1. ToES'lerin analizi ve potansiyel ToES'lerinin belirlenmesi,
2. Mevcut ve potansiyel ToES gösterge değerlerini karşılaştırılması,
3. Tanımlanan her bir ToES'in çoklu servis sağlama yeteneğini değerlendirilmesi,
4. Bu sonuçları görüntülemeye izin veren haritaların oluşturulması (GIS veri işleme).

ToES'lerin korunması için mekânsal planlama kararları alınırken, tanımlanan her bir ToES'in çoklu servis sağlama yeteneğini değerlendirilmesi gerekmektedir (Fossey vd., 2020). Bu bağlamda iklim değişikliğine mekânsal uyum ve azaltım politikaları kapsamında öne çıkan ToES'lerin (toprağın C tutması, su döngüsü üzerindeki etkisi, hidro-morfolojik tehlikeler ile bağlantısı) etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, geleceğe yönelik bir faaliyet olarak değerlendirilen mekânsal planların, ToES'lerin korunmasını ve iklim değişikliğine uyum sağlamayı amaçlayan bütüncül bir yaklaşım benimsemesi gelecekte karşılaşılabilecek risklere karşı kentleri daha dayanıklı hale getirecektir.

Delibaş, Tezer ve Bacchin (2021) ToES, mekânsal planlama ve iklim değişikliği arasındaki bağlantıları çok yönlü ve karmaşık olarak ifade etmekte ve kentlerin sürdürülebilirliği açısından

önemini vurguladıkları bu üç kavram arasında 3 bağlantıdan söz etmektedirler. Yazarların ele aldığı ilk bağlantı, iklim değişikliğinin toprak üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerini vurgulamakta, toprak C depolama kapasitesinin bir azaltıcı etkiye karşı bir önlem olarak kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır. İkinci bağlantı, toprak kalitesine ve sürdürülebilir toprak kullanımına yapılan müdahalelerin mekânsal planlamaya olan etkisini ele almaktadır. Son bağlantı ise iklim değişikliği ve mekânsal planlama arasındaki etkileşimleri göz önüne almaktadır. Bu bağlamda, toprak koruma, sürdürülebilir arazi kullanımı planlaması, ağaçlandırma ve su geçirgen yüzeylerin artırılması gibi stratejiler, olumsuz etkileri dengelemek ve olumlu etkileri artırmak için önemlidir (Delibas, Tezer, & Bacchini, 2018). Bu bağlantılar iklim değişikliğine mekânsal uyumda ToES'in konumunu belirlemede güçlü bir girdi sunmaktadır.



Şekil 1: Mekânsal planlamada ToES'lerin karar destek aracı olarak kullanılmasına yönelik operasyonel bir model örneği (Fossey vd., 2020 ve Delibaş vd., 2018 çalışmalarından uyarlanmıştır)

4. Türkiye'de Mevzuat ve Mekânsal Planlarda ToES İlişkisinin Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de ToES'lerin korunması ve sürdürülebilir kullanımı için önemli düzenlemeler içeren mevzuat kapsamında Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu, Orman Kanunu, Çevre Kanunu, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği, İmar Kanunu ve İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik değerlendirilmektedir. Daha sonra ToES'lerin sınıflandırılması ile ilgili literatür araştırmasından yararlanılarak araştırmada öne çıkan destek sağlayan, kaynak sağlayan ve düzenleyen ToES özellikleri söz konusu kanunlar kapsamında incelenmektedir (Tablo 2). Orman Kanunu, ormanların ToES'lerin birçok servisini sağlama potansiyeline dikkat çekmektedir. Bunlar arasında erozyon kontrolü, habitat sağlama, su tutma kapasitesi ve iklim düzenlemesi yer almaktadır. Ancak, kanun toprağın sunduğu

servislere ve bu servisleri korumaya dair yasal bir çerçeve çizmede eksik kalmaktadır. Tolunay (2017) Orman Kanunu'nun 16., 17. ve 18. maddelerinin orman alanlarında çeşitli gerekçeler ile başka kullanımlara izin verdiğine ve ormanlarda sağlanan ToES'lerin kaybına sebep olacak ormansızlaşma faaliyetlerine vurgu yapmaktadır. Tolunay 2017 yılında yaptığı çalışmada 502 bin hektar (ha) alanın Orman Kanunu'nun 2B maddesi ile orman alanı dışına çıkarıldığını ifade etmektedir. Nitekim Orman Kanunu'nda nadir ekosistemlerin bulunduğu alanlarda maden aranması ve işletilmesi Tarım ve Orman Bakanlığı'nın muvafakatine bağlanmıştır (Tolunay, 2017).

Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu ToES'ler açısından değerlendirildiğinde kanunun toprak kaynaklarının korunması, sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi konuları hakkındaki hükümleriyle, ToES'leri desteklediği görülmektedir. Kanun 9. ve 10. maddeleri ile toprağın korunmasına vurgu yapmaktadır. Nitekim kanun "*Arazi kullanımını gerektiren her türlü girişim ve yatırım sürecinde toprakların korunması, doğal ve yapay olaylar sonucu meydana gelen toprak kayıplarının önlenmesi; arazi kullanım plânları, tarımsal amaçlı arazi kullanım plân ve projeleri ile toprak koruma projelerinin uygulamaya konulması...*" gibi hükümler ile toprak kaynaklarının korunması, sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi konularını kapsayarak, ToES'leri desteklemektedir. Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu heyelan, sel ve rüzgâr gibi doğal olaylar sonucu meydana gelen toprak kayıplarını önlemek için valiliklerin toprak koruma projelerini hazırlamasını hükmetmektedir. Erozyona duyarlı arazilerin belirlenmesi ve korunması amacıyla bu arazilerin kullanım plânları ve altyapı projeleri, ES'ler açısından önemli alanlar olan havza bazında yapılması da, kanunda geçen hükümlerden biridir. Tüm bunlarla birlikte Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nda ToES kavramı ve bu ES'lerin sınıflandırılmasına dair bir ibare bulunmamaktadır. ToES'lerin mekânsal planlara entegre edilmesinde bu yaklaşımın ve bileşenlerinin detaylı bir şekilde kanunlarda tanımlanması önem taşımaktadır. Söz konusu kanunun 15. maddesinde iklim değişikliği kaynaklı toprak bozulmaları için kamu kurum ve kuruluşları, sivil toplum örgütlerinin iş birliği yapması vurgulanmaktadır. Fakat toprağın C tutma kapasitesinin iklim değişikliği ile rolü veya arazi kullanımlarının sebep olduğu C salımı herhangi bir başlık altında incelenmemektedir.

Çevre Kanunu da toprak kirliliği ve toprak kaybını önleme konusunda önemli ve kesin hükümler içermektedir. Çevre Kanunu'nda toprakla ilgili yönetmeliklerin hazırlanması ve ilgili kuruluşların görüşlerinin alınmasıyla toprağın korunması, kirliliğinin önlenmesi ve giderilmesi konusunda usul ve esaslar belirlenmektedir. Bu açıdan Çevre Kanunu, toprak ekosistemlerinin bozulan doğal yapısını restore etme ve kirlilikle mücadele altyapısı oluşturma gücü taşımaktadır. Çevre Kanunu'nun 5. maddesi, çevrenin korunması ve kullanımı ile ilgili esasları düzenlemektedir. Bu maddede çevre düzeni planlarının (ÇDP) hazırlanması, uygulanması ve denetlenmesi ile ilgili esaslar yer almaktadır. Nitekim söz konusu kanunun 9. maddesi de "*Doğal çevreyi oluşturan biyolojik çeşitlilik ile bu çeşitliliği barındıran ekosistemin korunması esastır*" diye başlamaktadır. 9. maddenin d bendinde "*d) Ülke ve dünya ölçeğinde ekolojik önemi olan, çevre kirlenmeleri ve bozulmalarına duyarlı toprak ve su alanlarını, biyolojik çeşitliliğin, doğal kaynakların ve bunlarla ilgili kültürel kaynakların gelecek kuşaklara ulaşmasını emniyet altına almak üzere gerekli düzenlemelerin yapılabilmesi amacıyla, Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak tespit ve ilan etmeye, bu alanlarda uygulanacak koruma ve kullanma esasları ile plân ve projelerin hangi bakanlıkça hazırlanıp yürütüleceğini belirlemeye Cumhurbaşkanlığı yetkilidir.*" ibaresi bulunmaktadır. Bu kapsamda ölçeğin gerektirdiği analizler ve üst ölçekteki Mekânsal Strateji Planı'ndan (MSP) gelen kararlar doğrultusunda hassas ekosistem olarak belirlenen önemli ToES'ler, ÇDP'de Özel Çevre Koruma Bölgesi olarak ilan edilip koruma altına alınması ToES'e dayalı mekânsal planlama açısından bir uygulama aracı olma gücüne sahiptir.

Tablo 2. ToES'lerin mekânsal planlamaya dair Türkiye mevzuatında değerlendirilmesi (sırasıyla destekleyen, düzenleyen, kaynak sağlayan servisler).

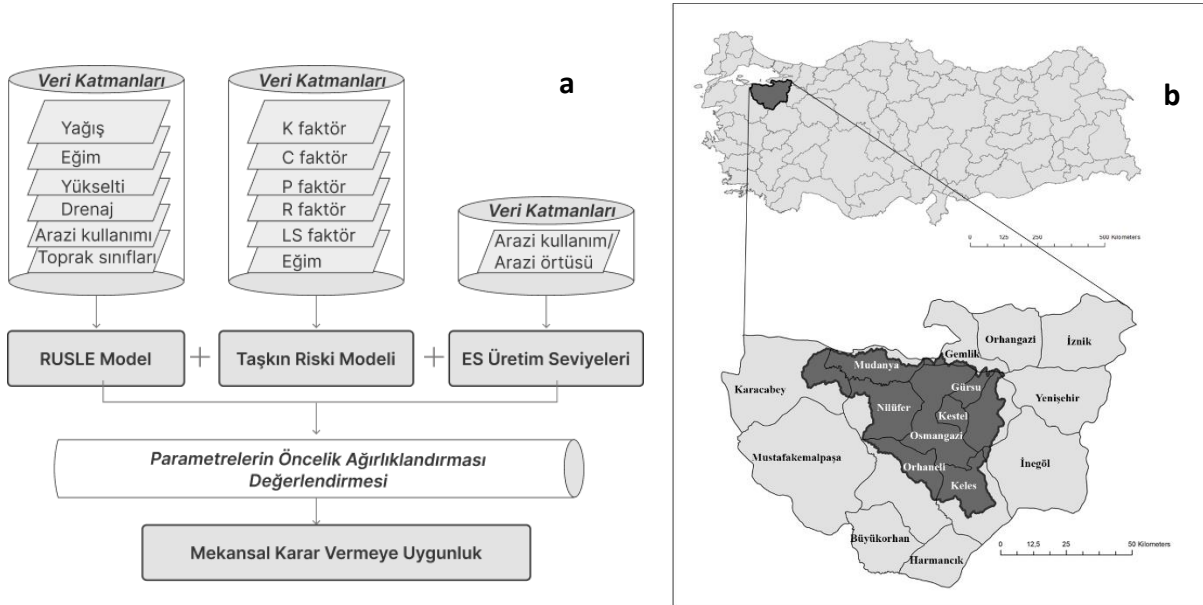
ToES	Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu	Çevre Kanunu	Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği	Orman Kanunu	İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik
Biyçeşitlilik havuzu	X	X		X	
Besin döngüsü					
Toprak oluşumu				X	
Toprak verimliliği	X		X	X	X
Su döngüsü					
Karbon Yutak Alanı					
Azot bağlanması					
Bitki besinlerinin mineralizasyonu					
Tozlaşma					
Zararlıların ve hastalıkların biyolojik kontrolü					
İklim düzenlemesi					
Hidrolojik kontrol			X		
Gaz regülasyonu					
Yüzey Suyu Akış kontrol					
Erozyon kontrolü	X	X			
Atıkların geri dönüşümü ve detoksifikasyon					
Besinlerin ve kirleticilerin filtrelenmesi					
Biokütle üretimi					
İşlenmemiş içerikler					
Temiz su temini	X				
Hammadde	X			X	
Fiziki mekân	X		X		
Gıda temini	X		X	X	

5. Kavramsal Yaklaşım

Bu çalışma kapsamında yapılan analiz ve sentez çalışmalarında temelde dört veri seti kullanılmaktadır. Bunlar: toprak, arazi kullanımı değişimi, iklim ve topoğrafya verileridir. Toprak verilerini toprak türleri, toprak sınıfları, toprak derinliği, toprak C kapasitesi, toprak erozyonu faktörü; iklim verilerini sıcaklık, yağış yoğunluğu ve şiddeti faktörü; arazi kullanımı verilerini CORINE arazi kullanımı verisi; topoğrafya verilerini eğim, DEM verileri oluşturmaktadır. Veri

setlerinden faydalanarak dünya çapında en yaygın kullanılan toprak erozyonu modellerinden biri olan Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) toprak kaybı modeli yapılmaktadır (Tanyaş, Kolat, Süzen, 2018). Buna ek olarak ToES taşkınlar üzerindeki etkisi değerlendirilerek taşkın riski modeli oluşturulmaktadır (Nedkov & Burkhard, 2022; Dewanve vd., 2007).

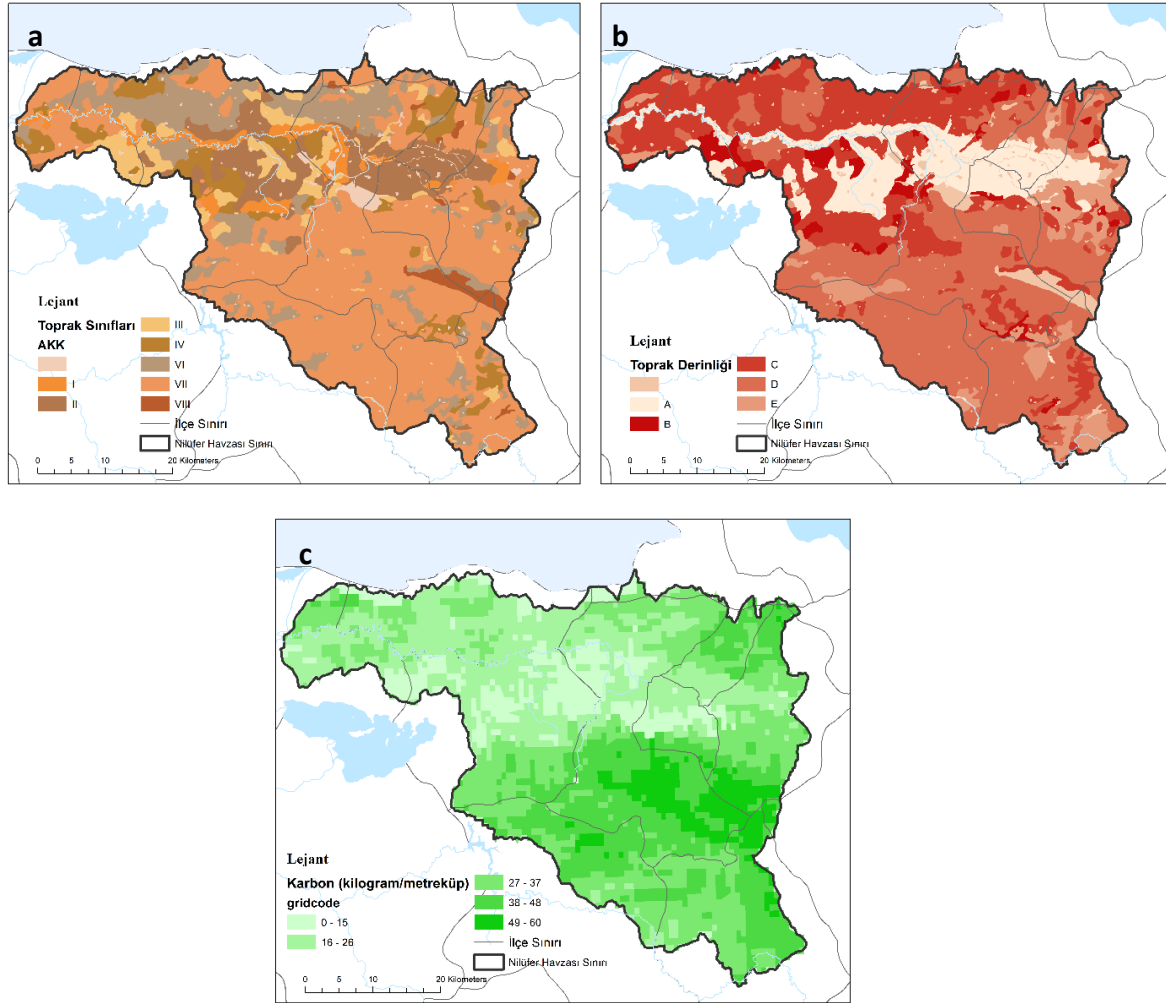
ToES'lere yönelik veri tabanı ve toprak kaybı ile taşkın riski modeli oluşturulduktan sonra Tezer ve arkadaşlarına göre (2018) özellikle ekolojik işlevsellik açısından rasyonel değerlendirme sunan yerleşime uygunluk analizi bu veriler ağırlıklandırılarak yapılmaktadır. Yer seçimi uygunluk analizi için seçilen parametrelerin ağırlıklandırılması konusunda Hassan ve arkadaşlarının (2020), Kopperoinen ve arkadaşlarının (2013) ve Özşahin'in (2015) çalışmalarındaki ağırlıklandırma yaklaşımları referans alınmıştır (Hassan vd., 2020; Kopperoinen, Itkonen, & Niemela, 2014; Özşahin, 2016; Karakuş & Cerit, 2016). Söz konusu veri toplama ve analiz çalışmaları Bursa, Nilüfer Çayı Havzası'nda uygulanmaktadır.



Şekil 2: a) Veri analiz yöntemleri K (Toprak erozyon potansiyeli faktörü), C (Bitki örtüsü ve örtünün toprak kaybı kontrol etme kapasitesi faktörü), P (Destekleyici uygulama faktörü), LS (Yüzey eğimi ve uzunluğu faktörü), R (Yağış yoğunluğu ve şiddeti faktörü) ve DEM (Sayısal Yükseklik Modeli) verileri sembollerle temsil edilmektedir. b) Çalışma alanı konumu.

5.1. Nilüfer Çayı Havzası toprak sınıfları, toprak derinliği ve karbon tutma kapasitesi

Nilüfer Havzası arazi kullanım kabiliyetleri (AKK) incelendiğinde, %65'inin 7. sınıf toprak sınıfından oluştuğu görülmektedir. 5., 6., 7. ve 8. sınıf araziler sadece mera, orman ve doğal yaşam için uygun olup, işlemeli tarım için kullanılamamaktadır. En fazla alana sahip ikinci toprak grubu ise havza alanının %20'sini kaplayan 6. sınıf toprak grubudur. Verimli toprakları ifade eden 1. ve 2. sınıf toprak grupları ise sırasıyla alanın %5 ve %14'ünü içermektedir (Şekil 3a). Çalışma alanında %44 ile ana kaya kaynaklı toprağın altındaki alanı ifade eden D grubu derinliğe sahip toprak bulunmaktadır. Bu topraklar yaklaşık 10081 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Organik maddelerin yoğun olduğu A toprak horizontu grubu ise çalışma alanının %15'ini oluşturmaktadır (Şekil 3b). Nilüfer Çayı Havzası'nda C tutma oranı en yüksek olan alanlar ise Şekil 3c'de, koyu yeşil renk ile ifade edilmiştir ve bu alanlar 49-60 kg/m³ kapasitede C tutan alanlara karşılık gelmektedir.



Şekil 3: a) Çalışma alanı toprak sınıfları haritası. b) Çalışma alanı toprak derinliği haritası. c) Çalışma alanı C tutma kapasitesi haritası

5.2. Taşkın riski analizi

IPCC 6. Değerlendirme Raporu'nda (2022) iklim değişikliğine bağlı hava ve yağış anormalliklerine bağlı olarak taşkınlarda yaşanacak artışlara ve bu taşkınlara karşı direnci arttırmak için ES'lerden faydalanmanın sürdürülebilirliğine vurgu yapmaktadır (IPCC, 2022).. Bu çalışma kapsamında taşkın riski haritası ArcGIS yazılımı üzerinden farklı veri setleri kullanılarak ağırlıklı toplam analiz yaklaşımı ile elde edilmiştir. Bu ağırlıklandırma yapılırken Rinkon, Khan ve Armenakis'in (2018) ve Aydın ve Birincioğlu (2022) çalışmalarından yararlanılmıştır (Rincón , Khan, & Armenakis, 2018; Aydın & Birincioğlu, 2022). Taşkın risk modelinde kullanılan parametreler, yağış miktarı, topoğrafik özellikler, toprak türleri ve arazi kullanımıdır.. Tüm parametrelerin haritaları ArcMap'teki Yeniden Sınıflandırma Aracı kullanılarak 1'den 5'e kadar bir ölçekte yeniden sınıflandırılmıştır; burada 1, çok düşük ve 5, çok yüksek düzeyde sel riskini ifade etmektedir. Eğimi düşük, yağışın ve yapılaşmanın fazla olduğu alanlarda risk çoğalmakta ve ölçeklendirmede ağırlıklandırılması artmaktadır. Yapılan analiz sonucunda, Nilüfer Havzası içerisinde taşkın riskinin en fazla olduğu alanların havzanın doğusunda ve Uludağ eteklerinde yoğunlaştığı görülmüştür (Şekil 4a).

5.3. RUSLE analizi ile toprak kaybının değerlendirilmesi

Toprak kaybı, toprak örtüsünün azalması ve erozyon nedeniyle habitat kaybına, su kaynaklarının kirlenmesine, C tutma kapasitesinin azalmasına ya da C salımına ve sera gazı emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (Yang vd., 2003). Çalışma alanında en etkili toprak kaybı modeli olarak değerlendirilen RUSLE modeli kullanılmıştır (Tanyaş, Kolat, & Süzen, 2015). Bunun için öncelikle K, R, P, C, LS faktör haritaları hazırlanmıştır. RUSLE modelinin denklemi şu şekildedir:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Burada;

A = Ortalama yıllık toprak kaybı

R = Yağış yoğunluğu ve şiddeti faktörü (Rainfall factor)

K = Toprak erozyon potansiyeli faktörü (Soil erodibility factor)

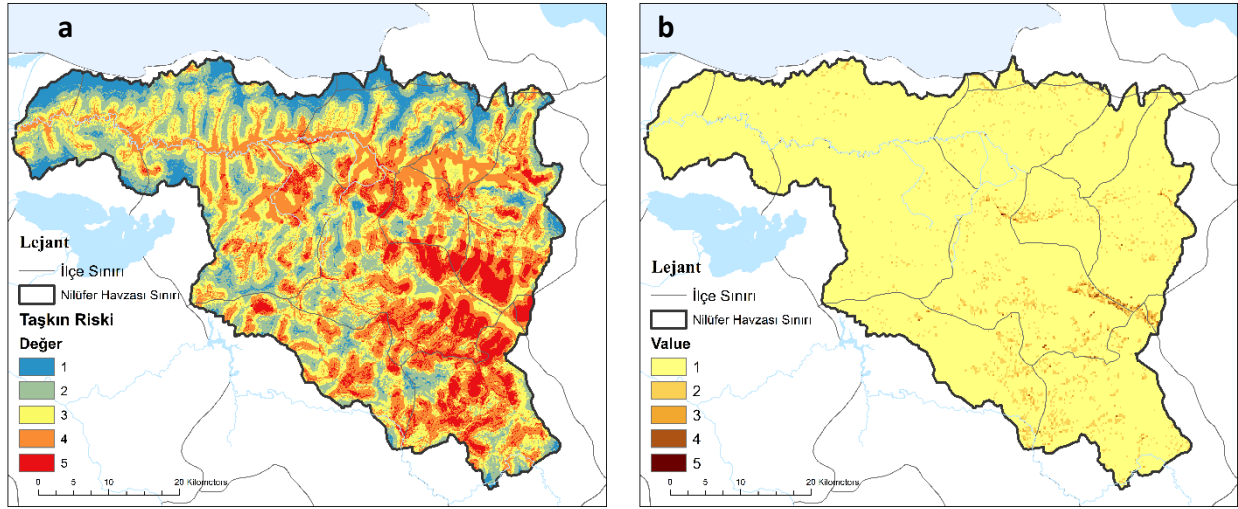
LS = Yüzey eğimi ve uzunluğu faktörü (Slope length and steepness factor)

C = Bitki örtüsü ve örtünün toprak kaybı kontrol etme kapasitesi faktörü (Cover and management factor)

P = Destekleyici uygulama faktörü (Support practice factor)

C faktörü arttıkça A değeri de artmaktadır. C faktörü değeri en yüksek yapıları alanlarda (1.0), en düşük ise orman (0.04) ve su kütlelerinde değerlendirilmektedir (Stocking, 1984). P faktörü ise eğim derecesi ile doğru orantılıdır ve eğim derece yüzdesi arttıkça artmaktadır. K faktörü toprak dokusundan, organik maddeden, toprak yapısından ve toprak profilinin geçirgenliğinden etkilenmektedir (Stocking, 1984). K faktör hesaplanırken iki toprak türü değerlendirilmektedir. Bunlar; killi tınlı toprak, killi kumlu topraktır. Çalışma alanı içerisinde bu iki toprak türü verisine bu ulaşmamaktadır. Fakat bu toprak özellikleri Anderson ve arkadaşlarının da ifade ettiği üzere (2018) toprak sınıfı verileriyle eşleştirilebilmektedir. Örneğin; killi tın toprak, orta düzeyde kum, silt ve kil içerikli olan bir karışımı ifade etmektedir. İyi toprak yapısı sayesinde, genellikle üretim için uygun bir toprak türü olarak kabul edilmektedir. Bu da 1., 2., 3., 4. sınıf toprak gruplarını kapsamaktadır. Öte yandan tarıma elverişli olmayan killi kumlu toprak ise 5., 6., 7., 8. sınıf toprak grubuna karşılık gelmektedir.

Bu bağlamda bu çalışma kapsamında K faktörü hesaplanırken ilk dört sınıf toprak grubu killi tınlı toprak olarak değerlendirilirken, 4-8. sınıf toprak sınıfları killi kumlu toprak olarak değerlendirilmeye alınmaktadır. Killi kumlu toprak yani 4-8. Sınıf toprakların kat sayısı da daha yüksek değerlendirilmektedir (Killi tınlı toprak: 0.24; killi kumlu toprak:0.28) (Stocking, 1984). R faktörü ise yağış şiddetinin etkisini gösteren bir faktördür. Daha yüksek yağış şiddeti, daha yüksek bir R faktörüne neden olmakta ve bu da daha yüksek toprak erozyonu riski anlamına gelmektedir. Tüm bu parametreler değerlendirilerek Nilüfer çayı havzasında uygulanan RUSLE toprak kaybı modeli sonucu havzanın güneyinin toprak erozyonuna daha duyarlı olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu çıktının iklim değişikliği ile de şiddetlenmesi beklenen erozyona karşı (Berberoğlu, Çilek, & Kirkby, 2020; Chen, 2002) çalışma alanının direncinin oluşturulabilmesi adına bölgede verilecek yer seçimi kararlarında değerlendirilmesi gerekmektedir (Şekil 4b).



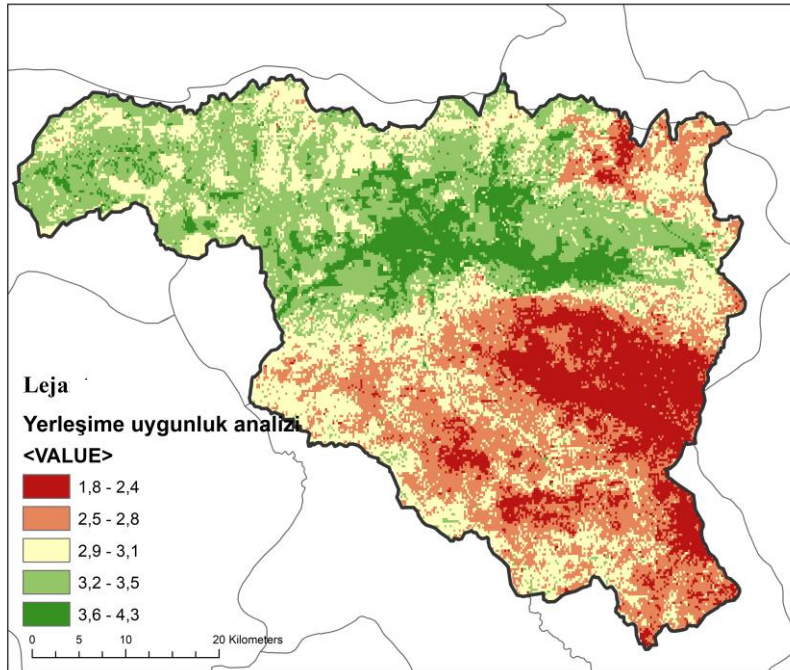
Şekil 4: a) Çalışma alanı toprak sınıfları taşkın riski haritası. b) Çalışma alanı toprak kaybı haritası.

5.4. Nilüfer Havzası yerleşime uygunluk analizi

Toprak sınıfları, toprak derinliği, toprak C tutma kapasitesi, taşkın, toprak kaybı, sıcaklık, yağış, arazi kullanım ve eğim ve yükselti değerleri "*ağırlıklandırılmış çoklu veri çakıştırması (weighted overlay)*" ile analiz edilerek yerleşilebilirlik analizi yapılmıştır. Bu yöntem ile farklı coğrafi verilerin üst üste çakıştırılması ve ağırlıklandırılması yoluyla yeni bir mekânsal bulgu oluşturulmaktadır (Kopperoinen, Itkonen, & Niemela, 2014). Bu verilerin her biri 0 il 5 arasında öncelikle kendi içerisinde ağırlıklandırılmaktadır. Örneğin toprak kaybı için yok yada az olan alanlar 4 iken çok şiddetli alanlar 1 puandır. 1-4. Sınıf toprak sınıfına ait alanlar 0 puandır. Eğim arttıkça puanlandırma düşmektedir. Karbon depolama alanı düştükçe puan artmaktadır. Arazi kullanım alanı orman, mera, tarım alanları en düşük puana sahipken yerleşim, bitki olmayan açık alanlar en yüksek puana sahiptir. Kendi içinde puanlanan parametrelerin bir üst kademe ağırlıklandırılması konusunda Hassan ve arkadaşlarının (2020), Kopperoinen ve arkadaşlarının (2013), Özşahin'in (2015) ve Tezer ve arkadaşlarının çalışmaları referans alınmıştır (Maqsoom vd., 2020; Hassan vd., 2020; Kopperoinen vd.; Özşahin, 2016; Tezer vd., 2018). ToES'ler için büyük bir tehdit olarak görülen ToES ve toprağın sunduğu C depolama, hammadde ve biyoçeşitlilik servisleri ile ilişkilendirilen toprak derinliği %15 değer alırken diğer parametreler %10 ile eşit ağırlıklandırılmaya alınmaktadır. ToES ve iklim değişikliği ile uyumlu mekânsal planlama kararlarının geliştirilmesi amaçlı bir karar destek aracı olarak kullanılabilecek yerleşilebilirlik analizi için takip edilen puanlama sistemi EK 1'de paylaşılmıştır.

Yapılan *ağırlıklandırılmış çoklu veri çakıştırması* analizi sonucu Nilüfer Çayı Havzası'nda yerleşime uygunluk durumu 5 derecede incelenmiştir. Yerleşime uygun olmayan alanlar Şekil 5'te kırmızı renkle gösterilen ve 1. derece ile tanımlanan alanlardır ve bu alanlar 44.918 ha olup Nilüfer havzasının %17.75'ini oluşturmaktadır. Yerleşime uygun olmayan alanlar yoğunlukla çalışma alanının güneydoğusunda, Uludağ eteklerinde kümelenmiştir. Yerleşime uygun olmayan alanlar CORINE verisi ile çakıştırıldığında yerleşime uygun olmayan alanların orman ve maki otsu alanlar olduğu görülmektedir. 2 ile ifade edilen alanlar hassas ES'leri ifade eden yerleşilemez alanların bir sonraki basamağını oluşturmaktadır. Bu alanların arazi kullanım dağılımına baktığımızda ağırlıklı olarak orman, maki otsu ve heterojen tarım alanlarının burada yoğunlaştığı görülmektedir. Bu alanlar ekolojik özellikleri korunması gereken ve yerleşime uygunluk analizinde geride çıkan alanlardır. Bu alanlar haritada turuncu ile ifade edilmekte olup çalışma alanı içerisinde 67.142 hektar yer kaplamaktadır. Yerleşime en uygun çıkan alanlar ise Bursa'nın güncel yerleşim alanı lekeli takip etmektedir. Bu alanların mevcuttaki arazi kullanımları tarım alanları ağırlıklıdır.

Nilüfer Havzası'nda yapılan analizler sonucu, yerleşilemez alan olarak belirlenen bölgede, 2013 yılında yapılan 2023 projeksiyonlu, 25.000 ölçekli ÇDP'de, bu alanın çoğunluğunun korunacak alan sınıfında orman alanı olarak değerlendirildiği görülmektedir (BBŞB, 2013). 2018 CORINE verisi ve yerleşime uygunluk analizi kesleştirilerek yapılan analiz çalışmasına göre yerleşilemez alanların %58'i orman alanı çıkmıştır. İkinci büyük arazi kullanımı ise yine planla çakıştığı tespit edilen uygun maki ve otsu arazi kullanımı sınıfına aittir (Çizelge 2). Yerleşilemez alanlar içerisindeki yerleşim alanları, yaklaşık 92 hektar olan kırsal yerleşimleri içermektedir. ÇDP'de bu alanların nasıl değerlendirildiği incelendiğinde 2. derece yerleşilebilir alanların güney kısmı bu alanların kullanımına en uygun şekilde orman ve tarım alanı olarak planda işlenmiştir. Bu da yapılan ToES'e dayalı yerleşilebilirlik analizinin mevcut ÇDP ile örtüşmesi yapılan analizin, mevcut planlama süreçlerinin temel hedeflerini desteklediğini ve yerleşim alanının belirlenen uzun vadeli planlarını güçlendirdiğini göstermektedir.



Şekil 5: Çalışma alanı yerleşilebilirlik analizi (5 en uygun, 4 uygun, 3 orta, 2 uygun değil, 1 hiç uygun değil).

6. Sonuç

Toprak ve iklim değişikliği arasındaki ilişkinin olumsuz etkilerine karşı ToES'lerin mekânsal uyum ve azaltım politikalarına entegre edilebilecek özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Toprak ve C depolama/tutma: Topraklar, atmosferdeki karbondioksit seviyelerini düzenleyen önemli bir C deposudur. Topraktaki organik madde içeriği arttıkça, C depolama kapasitesi de artmaktadır. Ancak, toprak kullanımı değişiklikleri (örneğin, ormansızlaşma veya tarım faaliyetleri) toprağın organik madde içeriğini azaltmakta/değiştirmekte ve bunlar da C depolama kapasitesini azaltmaktadır. Bu nedenle, toprak ve C depolama/tutma, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir faktördür (Weber, 2007; Lehman & Stahr, 2010). Bu bağlamda mekânsal planlarda yeşil alanlar ve ormanlar gibi toprakları koruma ve artırma stratejileri büyük önem taşımaktadır.
2. Toprak ve su: Topraklar, yağışların depolanması, suyun filtrelenmesi ve su kaynaklarının yenilenmesi için önemlidir (Delibas, Tezer, & Bacchini, 2018; Pereira vd., 2018). İklim değişikliği, yağış desenlerindeki değişiklikler ve artan sıcaklıklar nedeniyle

toprak su tutma kapasitesini etkilemektedir. ToES toprakların su tutma kapasitesini korumak ve su kaynaklarını yönetmek için önemlidir (Orwin vd., 2015).

3. Toprak bozulması: Toprak bozulması, toprağın verimliliğini, organik madde içeriğini ve su tutma kapasitesini azaltan bir süreçtir. İklim değişikliği, toprak bozulması riskini artırabilir. ToES, toprak bozulmasını önlemek veya azaltmak için mekânsal planlama sürecinde dikkate alınmalıdır tanımlanmaktadır (Chen Jie, 2002; Eekhout & Vente, 2022). Toprak erozyonunu önlemek için sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi, yeşil kuşaklar, ve toprak stabilizasyonu projeleri gibi altyapılar geliştirilmelidir.
4. Toprak ve doğal tehlikeler: Toprak, doğal tehlikelere karşı koruma sağlama ve azaltma açısından da önemlidir. Topraklar erozyonu önlemekte ve toprak kaymalarını absorbe etmektedir. Böylece çevredeki alanları erozyondan veya toprak kaymalarından korumaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte, aşırı yağışlar, seller, kuraklık ve diğer doğal olaylar gibi doğal tehlikelerin sıklığı ve yoğunluğunun artması beklenmektedir. Toprakların bu doğal tehlikelerle mücadele yeteneği, toprak özellikleri ve yapılarına bağlıdır. Bu nedenle, doğal tehlikelerin etkilerini azaltmak için ToES'lerin korunması ve sürdürülmesi önemlidir (Eekhout & Vente, 2022).

Mekânsal uyum ile ilgili planlama politikaları, iklim değişikliği etkilerini hafifletme ve kentsel direnç oluşturma çabalarının önemli bir bileşenidir (Gustafsson, & Andréen, 2017; Fossey vd., 2020). ToES'lerin, mekânsal planlama sürecinde değerlendirildiğinde iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir role sahip olduğu görülmektedir. İklim değişikliği ile bağlantılı ToES'leri mekânsal planlamaya dahil ederek, yerleşimlerin daha esnek, uyumu ve azaltımı destekleyen, sürdürülebilir hale getirmek mümkündür. Toprak ve iklim değişikliği arasındaki ilişkileri dikkate alarak, toprağın C tutması, toprak kaybı, yağış ve suyun filtrasyonu ve toprağın afetlerin etkilerini azaltmadaki rolünün mekânsal planlama sürecine entegre edilebileceği görülmektedir. Bu entegrasyonun gerçekleşebilmesi için ToES'lerin mevzuatta değerlendirilmesi ve bu alanlara dair koruma ve kullanma politika sınırlarının oluşturulması gerekmektedir.

Türkiye'deki yasal mevzuat bu bağlamda değerlendirildiğinde ToES'e dair kavramsal bir tanımlama, sınıflandırma ve değerlendirilmeye ilişkin açıklamalar bulunmamaktadır. Yönetmeliklerde ToES'leri korumak için ekosistem tabanlı yaklaşımların ve doğa temelli çözümler ve toprak restorasyonu ve bozulan doğal yapının yeniden kazanılmasıyla ilgili detaylı düzenlemeler bulunmamaktadır. Yönetmelikteki bu boşluklar ToES'lerin mekânsal planlama sürecine entegrasyonu açısından yasal ve uygulama açısından eksiklikler oluşturmaktadır. Mekânsal Strateji Planı ve Çevre Düzeni Planlarında ToES'ler belirlenip hassasiyet derecelerine göre önceliklendirilmelidir. Önceliklendirilen ToES'ler için MSP ve ÇDP'de yeni bir lejant oluşturularak ToES'leri korumaya yönelik uygulamaların yapılması sağlanabilir. Böylece bu alanların sürdürülebilir ve nitelikli kullanımına yönelik stratejik mekânsal kararların geliştirilmesi sağlanmalıdır. MSP ve ÇDP'lerde oluşturulan öncelikli ToES alanlarına ilişkin uygulama aşamasında plan kararları getirilip bu kararlar yasa ve yönetmeliklerle desteklenmelidir. Örneğin "Birinci öncelikli toprak ekosistem alanlarında hiçbir yapı yapılamaz" maddesi planlara ve yönetmeliğe işlenmelidir. Mekânsal planlama araçları kapsamına ve havza yönetim planlarına da ToES'lerin dahil edilmesi gerekmektedir. Ulusal havza yönetim stratejisi ile ES'leri temel alan Havza Özel Hüküm Planları bu bağlamda dikkate alınabilir.

Bursa Nilüfer Havzası'nda ToES'ler ve iklim değişikliğine bağlı olarak RUSLE toprak kaybı modeli, taşkın riski, sıcaklık, yağış, toprak sınıfları, toprak derinliği verileri analiz edilmiş ve bu analizler değerlendirilerek ve ağırlıklandırılarak yerleşilebilirlik analizi 4 sınıfta (1 hiç uygun değil, 2 uygun değil, 3 orta, 4 uygun) oluşturulmuştur. Yapılan yerleşilebilirlik analizi 2018

CORINE verisi ile elde edilen arazi kullanımı yanı sıra 2013 onaylı ÇDP'nin arazi kullanım kararları ile karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuca göre Nilüfer Havzası'nda yerleşilemez alan olarak tespit edilen bölge Bursa'nın ve bölgenin genel özellikleri dikkate alındığında plana ve vasfına uygun değerlendirildiği görülmektedir. 2013 yılında yapılan 2023 projeksiyonlu, 25.000 ölçekli ÇDP planında, bu alanın çoğunluğunun korunacak alan sınıfında orman olarak değerlendirildiği görülmektedir. 2018 arazi kullanımı da bu doğrultuda olduğu ve yerleşilemez alanların %68'inin orman alanı olduğu görülmektedir. Bu durum üretilen ToES'e dayalı yaklaşımın çalışma alanının sürdürülebilirliğini destekleme potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın sonuçları aynı zamanda mevcut planın doğru bir şekilde uygulanmasının önemini de vurgulamaktadır. Sonuç olarak iklim değişikliğine uyum ve azaltım kapsamında ToES'lerin mekânsal planlara entegrasyonu için imar planlar da MSP ve ÇDP üst ölçekli planlardan gelen kararları desteklemeli, arazi kullanım kararlarında ToES'leri dikkate almalıdır. Havza planları ise su kaynakları yönetiminde ToES ile ilişkili kararlar getirecek mevzuatla desteklenmelidir. Bu planlarda iklim değişikliğine bağlı toprak kaybı analizi, yeni yerleşim alanlarının seçimi için önemli bir parametre olarak ele alınmalıdır.

Kaynaklar

Albert, C., Geneletti, D., & Kopperoinen, L. (2017). Application Of Ecosystem Services In Spatial Planning.

Altınok, G. K., & Tezer, A. (2021). İklim Değişikliğine Uyumda Mekânsal Planlama ve Akıllı Yönetişim. *Journal of Planning*.

Andrews, S., Karlen, D., & Cambardella, C. (2004). The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation Method. *Soil Science*.

Aydın, B. . (2018). Resilience Through Participatory Planning for the Integrated Ecological Risks in Düzce. *Resilience*.

Aydın, M., & Birincioğlu, E. (2022). Flood risk analysis using gis-based analytical hierarchy process: a case. *Applied Water Science*.

Baggethun, E., & Barton, D. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86.

Bartkowski, B., Bartke, S., Helming, K., Paul, C., Techen, A.-K., & Hansjürgens, B. (2020). Potential of the economic valuation of soil-based ecosystem services to inform sustainable soil management and policy. *PeerJ*, 8. doi:10.7717/peerj.8749

BBŞB. (2013). *Bursa İli Çevre Düzeni Planı*.

Berberoğlu, S., Çilek, A., & Kirkby, M. (2020). Spatial And Temporal Evaluation Of Soil Erosion In Turkey Under Climate Change Scenarios Using The Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (Pesera) Model. *Environmental Monitorind And Assesment*.

Bojocco, S., Smiraglia, D., Raparelli, E., & Salvati, L. (2018). Exploring the role of land degradation on agricultural land use change dynamics. *Science of The Total Environment*.

- Borrelli, P., Robinson, D., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J., Alewell, C., & Alewell, C. (2020). Land Use And Climate Change Impacts On Global Soil Erosion By Water. *Proceedings Of The National Academy Of America*.
- Birgé, H. E., Bevans, R. A., Allen, C. R., Angeler, D. G., Baer, S. G., & Wall, D. H. orrelli, P., Robinson, D., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J., Alewell, C., & Alewell, C. (2016). Adaptive Management For Soil Ecosystem Services. *Journal Of Environmental Management*.
- Chen, J. (2002). Soil Degradation: A Global Problem Endangering Sustainable Development. *Journal of Geographical Sciences*.
- Daily, G., Polasky, S., Goldstein, J., Mooney, H., Pejchar, P., & Ricketts, T. (2009). Ecosystem Services in Decision Making: Time To Deliver.
- De Groot, R. W. (2002). A Typology For The Classification, Description And Valuation Of Ecosystem Functions. Goods And Service. *Ecological Economics*.
- Delibas, M., Tezer, A., & Bacchini, T. (2018). Soil Ecosystem Services (SoES) in Urban Planning. *A Review on Urban Soil*. 54th ISOCARP Congress.
- Delong, C., Cruse, R., & Wiener, J. (2015). The Soil Degradation Paradox: Compromising Our Resources When We Need Them The Most. *Sustainability*.
- Diana H. Wall, R. D. (2004). Sustaining Biodiversity And Ecosystem Services In Soils And Sediments. *Island Press*.
- Dissanayake, D., Morimoto, T., Ranagalage, M., & Murayamma, Y. (2019). Land-Use/Land-Cover Changes and Their Impact on Surface Urban Heat Islands: Case Study of Kandy City, Sri Lanka. *Urban Heat Islands*.
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A Framework For Classifying And Quantifying The Natural Capital And Ecosystem Services Of Soils. *Economics, Ecological*.
- Eekhout, J., & Vente, J. (2022). Global Impact Of Climate Change On Soil Erosion And Potential For Adaptation Through Soil Conservation. *Earth Science Review*.
- Fossey, M., Angers, D., Bustany, C., Cudennec, C., Durand, P., Gascuel-Oudou, C., . . . Walter, C. (2020). A Framework to Consider Soil Ecosystem Services in Territorial Planning. *Front. Environ. Sci. (Frontiers in Environmental Science)*. doi:10.3389/fenvs.2020.00028
- Haygarth, P.M., & Ritz, K. Walter, C. (2009). The Future Of Soils And Land Use In The Uk: Soil Systems For The Provision Of Land-Based Ecosystem Services. *Land Use Policy Front*.
- IPCC. (2015). *Climate Change 2014*.
- IPCC. (2022). *Sixth Assessment Report*.
- IPCC. (2023). *Climate Change and Land*.
- Jónsson, Ö., & Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*.

Kardol, P., Company, C., Souza, L., Rlichard, J. N., Ake, W., & Class, A. T. (2020). Climate change effects on plant biomass alter dominance patterns and community evenness in an experimental old-field ecosystem. *Global Change Biology*.

Kopperoinen, L., Itkonen, P., Jari, I., Pekka, Niemelä, & Jari, N. (2014). Using expert knowledge in combining green infrastructure and ecosystem services in land use planning: An insight into a new place-based methodology. *Landscape Ecology*.

Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F. (2016). Soil Invertebrates And Ecosystem Services. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Scienc European Journal Of Soil Biology*.

Lehman, A., & Stahr, K. (2010). The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Journal of Soils and Sediments volume*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11368-010-0207-5>

Maqsoom, A., Aslam, B., Hassan, U., Kazmi, Z. A., Sodangi, M., Tufail, R. F., & Farooq, D. (2020). Geospatial Assessment of Soil Erosion Intensity and Sediment Yield Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Model. *Geospatial Advances in Landscape Ecology*.

Montgomery, D. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS*, 24(33).

Nedkov , S., & Burkhard, B. (2022). Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*.

Orwin, K., Stevenson, B., Smaill, S., Kirshbaum, M., Dickie, I., Clothier, B., & Gentile, R. (2015). Effects Of Climate Change On The Delivery Of Soil-Mediated Ecosystem Services Within The Primary Sector In Temperate Ecosystems: A Review And New Zealand Case Study. *Global Change Biology*.

Özşahin, E. (2016). Alakir Çayı Havzasında (Antalya) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılımı ve Etkili Faktörler/The Spatial Distribution of Soil Loss in Alakir Creek Basin (Antalya) and Factors Influential on It. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*.

Paul, C., Kuhn, K., Steinhoff-Knopp, B., Weißhuhn, P., & Helming, K. (2020). Towards a standardization of soil-related ecosystem service assessments. *Soil Science*.

Pavan, A. L., & Ometto, A. R. (2018). Ecosystem Services in Life Cycle Assessment: A Novel Conceptual Framework For Soil. Towards a standardization of soil-related ecosystem service assessments. *The Science Of The Total Environment oil Science*.

Pereira, P. B.-R. (2018). Soil Ecosystem Services, Sustainability, Valuation And Management. *Current Opinion In Environmental Science & Health*.

Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Pérès, G., & Rutgers, M. (2012). Soil Biodiversity, Biological Indicators And Soil Ecosystem Services—An Overview

Of European Approaches Soil Ecosystem Services, Sustainability, *Current Opinion in Environmental Science*.

Rincón , D., Khan, U., & Armenakis, C. (2018). Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. *Hydrology of Urban Catchments*.

Rincón , D., Khan, U., & Armenakis, C. (2018). Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. *Hydrology of Urban Catchments*.

Sandhu, H. S., Wratten, S. D., & Cullen, R. . Hiederer. (2010). Organic Agriculture And Ecosystem Services. *Environmental Science & Policy*.

Smit, E., Bakker, P. A., Bergmans, H., Bloem, J., Griffiths, B. S., Rutgers, M. (2012). General Surveillance Of The Soil Ecosystem: An Approach To Monitoring Unexpected Adverse Effects Of Gmo's. *Ecological Indicators*.

Stocking, M. (1984). *Rates of erosion and sediment yield in the African environment*. Chall Afr Hydrol Water Resour

Swinton, S., Lupi, F., Robertsonc, P., & Hamiltond, S. tocking, M. (2007). Ecosystem Services And Agriculture: Cultivating Agricultural Ecosystems For Diverse Benefits. *Ecological Economics*.

Tanyaş, H., Kolat, Ç., & Süzen, M. (2015). A new approach to estimate cover-management factor of RUSLE and validation of RUSLE model in the watershed of Kartalkaya Dam. *Hydrol*.

Tezer, A., Uzun, O., Terzi, F., Okay, N., Köylü, P., Aydın, B., & Türkay , Z. (2018). Ekosistem Servislerine Dayalı “Havza Koruma Alanları” Tanımlamasının Önemi ve Kapsamı: Düzce – Melen Havzası. *Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği*.

Tolunay, D. (2017). Dünyada Ve Türkiye’de Ormansızlaşma. *Ekoloji Birliği*.

Turner, W., Oppenheimer, M., & Wilcove, D. (2009). Aforce to Fight Global Warming. *Nature*.

UNEP. (2022). *Emissions Gap Report 2022*.

Url-1. (2023, 2 13). *UNDRR*. UNDRR: www.unisdr.org adresinden alındı

Url-2. (2022). <https://tez.yok.gov.tr/> Adresinden Alındı adresinden alındı

Url-3. (2022). vosviewer.com adresinden alındı

Vári, Á., Kozma, Z., Pataki, B., Jolánkai,, Z., Kardos, M., Decsi, B., . . . Czúcz , B. (2022). Disentangling the ecosystem service ‘flood regulation’: Mechanisms and relevant ecosystem condition characteristics. *Ambio*.

Weber, J.-L. (2007). Accounting for soil in the SEEA. *Meeting of the London Group on Environmental Accounting*. Rome: European Environment Agency.

WMO. (2022). *State of Global Climate*.

Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., & Musiake, K. (2003). Global Potential Soil Erosion With Reference To Land Use And Climate Changes. *Hydrological Process*.