

Derleme Makale

## Sürdürülebilir Arazi Kullanımı Perspektifinde İklim Değişikliği ve Arazi Bozunumu

Ahmet Çelik<sup>a</sup> , Abdullah ATUM<sup>b\*</sup> , Miraç Kılıç<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adıyaman, Türkiye

<sup>b</sup> Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Malatya, Türkiye

### ÖNE ÇIKANLAR

- İklim değişikliği
- Arazi bozunumu
- Verim kaybı
- Toprak tuzluluğu

### MAKALE BİLGİSİ

*Anahtar kelimeler:*

İklim değişikliği  
Arazi bozunumu  
Sürdürülebilir arazi yönetimi  
Toprak erozyonu  
Çölleşme

Geliş tarihi: 17.06.2024

Revizyon tarihi: 02.07.2024

Kabul tarihi: 02.07.2024

Yayın tarihi: 30.12.2024

\* Sorumlu yazar:

[abdullah.atum@ozal.edu.tr](mailto:abdullah.atum@ozal.edu.tr)

### ÖZET

İklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkileşimi, sürdürülebilir arazi kullanımı için önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu etkileşimi etkin bir şekilde yönetmek için iklim değişikliği, arazi bozunumu ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları arasındaki karmaşık ilişkiyi dikkate alan kapsamlı bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. Bu çalışma, sürdürülebilir arazi kullanımı çerçevesinde iklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkileşimini ortaya koymak amacıyla kapsamlı bir literatür taramasını amaçlamaktadır. Bu amaçla, 2000’li yıllardan günümüze kadar Web of Science kapsamında araştırma makaleleri, sürdürülebilir arazi kullanımı, iklim değişikliği senaryoları, arazi bozulması, toprak erozyonu, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimi, kuraklık, bitki örtüsünün azalması, toprak erozyonu, toprak tuzlanması ve toprak organik karbonunun azalması anahtar kelimeleri ile taranmıştır. Sonuç olarak 2000’li yıllardan günümüze doğru değişen küresel iklimle birlikte antropojenlik etkenler ile arazi kullanımı/örtüsü değişimi ile toprak erozyonu etkilerinin şiddetlendiğini bildiren araştırmalar artmıştır. Öte yandan, toprak tuzluluğu ve çoraklaşmanın geçmişten günümüze kadar arttığına birçok araştırmada işaret edilmiştir. Sonuç olarak, sürdürülebilir arazi kullanımı çerçevesinde iklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkileşimini yönetmek çok boyutlu bir yaklaşım gerektirmektedir.

## Application Methods, Use of Food Additives and Application Areas in Edible Film and Climate Change and Land Degradation in the Perspective of Sustainable Land Use

Ahmet Çelik<sup>a</sup> , Abdullah ATUM<sup>b\*</sup> , Miraç Kılıç<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Adıyaman, Türkiye

<sup>b</sup> Malatya Turgut Özal University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Malatya, Türkiye

### HIGHLIGHTS

- Climate change
- Land degradation
- Yield loss
- Soil salinity

### ARTICLE INFO

*Keywords:*

*Climate change*

*Land degradation*

*Sustainable land management*

*Soil erosion*

*Desertification*

Received:17.06.2024

Revised: 02.07.2024

Accepted:02.07.2024

Published: 30.12.2024

\*Corresponding author:

[abdullah.atum@ozal.edu.tr](mailto:abdullah.atum@ozal.edu.tr)

### ABSTRACT

The interaction of climate change and land degradation poses significant challenges for sustainable land use. To effectively manage this interaction, a comprehensive approach that takes into account the complex relationship between climate change, land degradation and sustainable land management practices is needed. This study aims to conduct a comprehensive literature review to reveal the interaction of climate change and land degradation within the framework of sustainable land use. For this purpose, research articles were searched in Web of Science from 2000s to present with the keywords: sustainable land use, climate change scenarios, land degradation, soil erosion, land use/land cover change, drought, vegetation decline, soil erosion, soil salinization and soil organic carbon depletion. As a result, there has been an increase in studies reporting that the effects of anthropogenic factors and land use/land cover change and soil erosion have intensified with the changing global climate since 2000s. On the other hand, it has been pointed out in many studies that soil salinity and salinization have increased from the past to the present. In conclusion, managing the interaction of climate change and land degradation within the framework of sustainable land use requires a multidimensional approach.

## 1. GİRİŞ

Son dönemlerde ülkelerin gündeminden düşürmediği ancak gerek hukuksal ve gerekse uygulamada yetersiz kaldığı konu başlıkları; iklim değişikliği, çölleşme, arazi bozulumu ve kuraklık gibi sorunlar, sadece çevresel değil, sosyal ve ekonomik açıdan da birbirleriyle yakından ilişkili ve bütünleşiktir. Bu sorunlardan, çölleşme ve arazi bozulmasının altında yatan nedenleri, mevcut yasal çerçeveler ve sürdürülebilir olmayan arazi kullanım uygulamaları yeterince ele almamaktadır (Lyu ve ark., 2020). Öte yandan, toprakların veya arazilerin bütüncül ve sürdürülebilir olarak planlanması ve yönetimi artık uluslararası açıdan zorunlu hale gelmiştir (Parnell ve Pieterse, 2010). Bu olguyu sadece yerelde değil aynı zamanda küresel olarak dikkate almak gerekmektedir. Çünkü, Dünyada çevresel sorunları engelleyebilecek sınırlar ortadan kalkmıştır ve şu an yürürlükte olan yasalar ve sorunlarla mücadele edebilecek uygulamalar

iklim değişikliği sonucu meydana gelecek sorunlarla etkin bir şekilde mücadele etmek için çoğunlukla yetersizdir. Nitekim, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), sera gazı emisyonlarını azaltmak ve değişen iklime uyum sağlamak için daha güçlü politikalara ve düzenlemelere ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır (IPCC Panel, 2014). Çünkü yaşamsal olarak ortak çıkar birliği bulunmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerini yaşamakta olduğumuz bu günlerde, iklim ve toprak arasındaki ilişkinin anlaşılması, hem iklim değişikliği ile mücadelede topraktan faydalanılması hem de gıda güvenliğimizin teminatı olan toprağın iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden korunması açısından araştırmaların sayısı artmıştır (van der Putten ve ark., 2013). Toprak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı korunmada çok önemli bir rol oynamaktadır. Toprak, atmosferdeki karbondioksiti (CO<sub>2</sub>), toprak organik maddesi şeklinde depolayarak bir karbon yutağı görevi

görmektedir. Tahminlere göre toprağın üst 30 cm'sinde yaklaşık 684-724 Pg, üst 100 cm'sinde 1462-1548 Pg ve üst 200 cm'sinde 2376-2456 Pg karbon bulunmaktadır. Aynı zamanda, toprak bitki büyümesi ve ekosistemin işleyişi için bir diğer önemli unsur olan azot döngüsünde de rol oynar. Küresel toprak azotu miktarının toprağın üst 100 cm'sinde 133-140 Pg olduğu tahmin edilmektedir. Artan atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonları ve yükselen sıcaklıklar nedeniyle toprak organik karbon ve azot dinamiklerindeki değişiklikler, bitki besin mevcudiyeti ve ekosistem verimliliği üzerinde etkilere sahip olmaktadır (Niels, 1996). Bu yüzden, toprak sağlığının korunması ve iyileştirilmesi, kuraklık ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı iklim olaylarıyla başa çıkmak için gereklidir. Besin mevcudiyeti ve su tutma kapasitesi de dahil olmak üzere toprak sağlığı parametrelerinin iyileştirilmesi, yukarıda bahsi geçen olumsuzluklara dayanma ve bu olaylardan kurtulma kabiliyetini artırmaktadır. Bu durum, aşırı hava olaylarının daha sık ve yoğun hale gelmesi beklendiğinden, iklim değişikliği karşısında özellikle önemlidir (Lal, 2016). İnsanlar, Dünyanın yaklaşık %75'ini kullanmakta olup, kullanmış oldukları toprak/arazi varlığının %25'ini tahrip etmektedirler. Yine insan etkisi sonucu, orman varlığının yaklaşık %60-80'ni, doğal otlak alanların yaklaşık %70-90 düzeyinde etkilenmektedir. Arazi tahribatı ve bozunumu açısından biyolojik çeşitliliğin yaklaşık %11-14 oranında azalmasının temel nedeni gösterilmektedir. Tarım arazilerinde yaygın olarak uygulanan yanlış ve bilinçsiz toprak işleme faaliyetleri toprak erozyonuna neden olabilmektedir (Solomon, 2023). Ormansızlaşma, aşırı otlatma ile artan arazi tahribatı ve küresel ısınma erozyonu daha da artırmaktadır (Özyol, 2022). Erozyonla toprakların en verimli kısmı olan üst toprakların zarar görmesi, toprağın üretkenliğini azaltmakta olup, insanların ekonomik refah düzeyini ve sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünya nüfusuna bağlı olarak gıdaya olan talep her geçen gün artmakta olup, 1961 yılı verilerine göre, hızla artan kimyasal gübre tüketimi 9 kat ve artan su kullanımı 2 kat artmıştır. Üretilen gıdaların %25-30'u israf edilmektedir. Yanlış arazi kullanımı ve yönetiminden kaynaklanan sera gazı salımları, küresel sera gazı salımlarının %23'ünü kapsamaktadır

(Solomon, 2023). Bu çalışma, sürdürülebilir arazi kullanımının kırılganlık düzeyini artırmaya neden olan, hızla artan iklimsel değişikliğe maruz kalması ve beraberinde oluşan arazi bozulmasının temelinde bulunan nedenler ve sonuçları irdelemeyi amaçlamaktadır. Ayrıntılı bir literatür taramasını hedefleyen araştırma, karar vericiler ve politika yapıcılar gibi paydaşlarımıza, sürdürülebilir arazi kullanımının maruz kaldığı kompleks risklere karşı bilgi sunması açısından önem taşımaktadır.

## 2. İklim Değişikliği, Arazi Bozulması ve Sürdürülebilir Arazi Kullanımı Araştırmalarına Genel Bakış

Sürdürülebilir arazi kullanımı çerçevesinde iklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkileşimi nasıl yönetilebilir? Araştırma sorusuna cevap bulmak amacıyla Web of Science kullanarak 2000 ve 2023 yıllarını kapsayan bir literatür analizi gerçekleştirilmiştir. Anahtar kelimeler: sürdürülebilir arazi kullanımı, iklim değişikliği senaryoları, arazi bozulması, toprak erozyonu, arazi kullanımı\arazi örtüsü değişimi, kuraklık, bitki örtüsünün azalması, toprak erozyonu, toprak tuzlanması ve toprak organik karbonunun azalması olarak belirlenmiştir.

## 3. Tarımsal Üretim ve Küresel İklim Değişikliği

İklim değişikliği, tarım ekosistemleri de dahil olmak üzere toplumun çeşitli yönleri üzerinde önemli etkileri olan bir küresel sorundur. Bu bölümde, küresel iklim değişikliği senaryoları üzerine yapılan literatür taramasında, mevcut bilgi durumu hakkında bilgiler sağlamak ve literatürdeki boşlukların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bu bölümü, konuya ilişkin kapsamlı bir anlayış kazanmak için 2000-2023 yılları arasında yayınlanan bilimsel araştırmaları derlemeyi hedeflemektedir. Bazı çalışmalar iklim değişikliğinin belirli bölgelerde tarım üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Örneğin, Abid ve ark. (2015), Pakistan'ın Punjab eyaletinde bir çalışma yürütmüş ve iklim değişikliğini tarımla ilişkilendiren araştırmaların sınırlı olduğunu tespit etmiştir. Çalışmaların çoğu, iklim değişikliğinin sadece belirli ürünler üzerindeki etkilerini incelemiş, çiftçilerin iklim değişikliğine uyum

perspektiflerini dikkate almamıştır. Benzer şekilde, Eka Suranny ve ark. (2022), Endonezya’da bir araştırma yürütmüş ve iklim değişikliğinin tarımsal üretim, çiftçilerin refahı ve gıda güvenliği üzerindeki olumsuz sonuçlarını bildirmiştir. İklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki etkisini en aza indirmek için uyum stratejilerine duyulan ihtiyacı vurgulamışlardır. İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkilerini değerlendirmek için küresel çalışmalar da yapılmıştır. Wiebe ve ark. (2015) karbon emisyon senaryoları altında iklim değişikliğinin 2050 yılında tarım üzerindeki etkilerini incelemiştir. Başlıca ürünler için 2050’deki temel değerlere göre iklim değişikliği nedeniyle küresel olarak ortalama %11 verim düşüşü ve %20 fiyat artışı beklendiğini saptamışlardır. Ancak, bu çalışmada daha makul iklim değişikliği senaryoları veya tarım politikalarında iyimser değişimlerin potansiyel etkileri dikkate alınmamıştır. Baker ve ark. (2018), iklim değişikliğinin ABD tarımı üzerindeki etkileri üzerine bir çalışma yürütmüş ve bölgesel değerlendirmeler yaparken küresel iklim değişikliğini hesaba katmanın önemini vurgulamıştır. Küresel iklim değişikliği etkileri dikkate alındığında, tarımsal üretimde verimliliğin gelecekte nasıl olacağına dair daha fazla araştırma gerekliliği bu aşamadan sonra dikkat çekmiştir. Önceki paragrafta sunulan gerekçeden dolayı, iklim değişikliğinin tarımsal verimlilik üzerindeki etkisi birçok çalışmanın odak noktası olmuştur. Bai ve ark. (2022), Mekânsal Dürbün modeli (SDM) ve entropi yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanarak iklim değişikliğinin tarımsal verimlilik üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma, gelişmiş istatistiksel modeller kullanarak ve mekânsal boyutu dikkate alarak iklim değişikliği ve tarımsal verimlilik arasındaki ilişkinin anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. İklim değişikliğinin özellikle tarımsal verimlilik üzerindeki etkisine odaklanan bu araştırma tarımsal verimlilik üzerindeki olumsuz etkileri hafifletmek için etkili önlemlere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. İklim değişikliğinin tarımsal verimlilik üzerine etkilerini azaltmak için Annie ve Pal (2023) mikroklimatik değişiklikler ve mahsül simülasyon modellerini yapılabileceğinden, Nadeam ve arkadaşları (2023) ise sel ve kuraklık gibi doğa olaylarına

karşı önlemler alınarak etkilerin hafifletilebileceğinden, Alotaibi (2023) ise biyoteknoloji, bitki ıslahı ve fonksiyonel genomik gibi entegre uygulamalarla etkileri hafifletmek için birtakım önlemlerin uygulanabileceğinden bahsetmişlerdir. Durodola (2019), iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık ve sel gibi felaketlerin tarım ve gıda güvenliği üzerindeki etkilerini gözden geçirmiştir. Küresel olarak sürdürülebilir tarımsal kalkınma için bu etkileri anlamamanın önemini vurgulamışlardır.

### ***Tarımsal Arazi Verimliliği, Arazi Bozulması ve İklim Değişikliği İlişkisi***

Tarımsal arazi verimliliği ile arazi bozulumu arasındaki ilişki karmaşık ve çift yönlüdür. Arazi bozulması, tarımsal üründen beklenen optimal verim için gerekli olan toprak verimliliğini, su mevcudiyetini ve bitki besin içeriğini olumsuz etkileyebilmektedir. Bunun başlıca nedeni, arazi bozulmasıdır, çünkü bozulma sürecinde toprak erozyonu ve bitki besin maddelerinin tükenmesinin yanı sıra toprak verimliliğinde ve kalitesinde düşüş meydana gelmektedir. Bu bozulma, arazinin tarımsal üretimi destekleme kabiliyetini azaltarak ürün veriminin düşmesine ve arazi verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır (Weeraratna, 2022). Ayrıca, toprak verimliliğinin ve kalitesinin kaybı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, yaygın olan sürdürülemez tarım uygulamaları (Kılıç ve ark., 2023), ormansızlaşma ve aşırı otlatmadan (Regmi ve Weber, 2000) kaynaklanmaktadır. Bu uygulamalar arazi bozulmasına katkıda bulunmakta ve tarımsal verimliliği engellemektedir. İklim değişikliği arazi bozulmasının tarımsal verimlilik üzerindeki olumsuz etkilerini daha da kötüleştirir. İklim değişikliği, ürün verimini doğrudan etkileyen sıcaklık ve yağış gibi iklimsel faktörlerde anomalilere sebep olmaktadır (Loo ve ark., 2015). Artan sıcaklıklar bitkilerde ısı stresine neden olarak fizyolojik süreçlerini bozmakta ve verimliliği azaltmaktadır (Webb ve ark., 2017). Birthal ve ark. (2014), 1996 ile 2005 yılları arasında iklim değişikliği nedeniyle meydana gelen sıcaklık ve yağış anomalilerinin ürün verimine etkilerini araştırmıştır ve minimum ve maksimum sıcaklıklardaki artışın nohut gibi bitkilerin verimini önemli ölçüde azaltabileceğini bildirmiştir. Ayrıca, maksimum

sıcaklığın olumsuz etkisi, minimum sıcaklığın olumlu etkisinden daha büyük olduğunu, bunun da yüksek sıcaklıkların ürün verimliliği üzerinde daha zararlı bir etkiye sahip olduğu önemli bulguları arasındadır. Bir başka çalışmada, dört buğday çeşidinin farklı büyüme aşamalarında ısı stresine verdiği tepkiler, deneysel veri setleri ile test edilmiş ve çeşitler için büyüme modelleri elde edilmiştir (B. Liu ve ark., 2016). Araştırmacılar, iklim değişikliğinin neden olduğu daha yüksek sıcaklıkların ısı stresi olaylarının sıklığını artırabileceğini ve küresel buğday üretimi için risk oluşturabileceğini bildirmişlerdir. Öte yandan, ısı stresinin ürün fenolojisi üzerindeki etkisi de önemli bir husustur. Rezaei ve ark. (2015), büyüme mevsimi periyodunda daha yüksek sıcaklıkların bitki fenolojisini etkilediğini bildirmiştir. Araştırmacı, ürün büyüme modelleme çalışmalarının sadece büyüme mevsimi periyodundaki anomalilere odaklandığını, ancak daha yüksek sıcaklıkların ürün fenolojisi üzerindeki etkisinin daha kapsamlı bir şekilde araştırılmasını önermiştir. Sıcaklık stresinin ürünler üzerinde çeşitli biyokimyasal ve moleküler etkileri sonucu morfolojik ve fizyolojik süreçlerde değişikliklere yol açması sonucunda ürün büyümesini ve verimliliğinin olumsuz etkilendiği Hemantaranjan (2014) tarafından vurgulanmıştır. Tüm bunlara ek olarak, Maheshwari ve ark. (2022), kuraklığın ve ısının, ürün verimini daha da azaltan ve birbirleri ile etkileşime girebilen iki stres faktörü olduğunun altını çizmiştir. Tüm bu sonuçlar, küresel iklim değişikliği ve arazi bozulması ile etkileri giderek artan stres faktörlerine karşı ürünlerin tepki ve tolerans mekanizmalarını anlamak, olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek tüm tarımsal arazi kullanım türleri ile özellikle marjinal tarım arazilerinde hayati önem taşıdığını göstermektedir (Kılıç ve ark., 2023; Shahid ve Al-Shankiti, 2013).

Çalışmalar iklim değişikliğinin belirli bölgelerde veya küresel olarak tarımsal verimlilik üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bulguların ortak noktası, iklim değişikliği uyum stratejilerine ve etkilerinin dikkate alınmasının yanı sıra konuyla ilgili daha fazla araştırma yapılmasına duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu bağlamda, gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarımsal kalkınmanın sağlanması için iklim değişikliğinin yarattığı

zorlukların ele alınması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, sürdürülebilir tarımsal üretimin sağlanması için iklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkileşimi nasıl yönetilmesi konusu oldukça önemli olduğundan sonraki bölüm bu konuya odaklanacaktır.

#### **4. İklim değişikliği ve Arazi Bozulmasının Etkileşimi**

Küresel iklim değişikliği, tarımsal arazi bozulmasına katkıda bulunan önemli bir faktör olarak tanımlanmıştır. Karbondioksit gibi insan kaynaklı sera gazlarının emisyonu, küresel ortalama sıcaklığın artmasına neden olmuştur. Sıcaklıktaki bu artış, sıcak bölgelerde ısı stresi, ekinlerin zarar görmesi, toprak erozyonu ve şiddetli yağış gibi olayları ile verimin düşmesine neden olmuştur (Zeilinger ve ark., 2016). Ayrıca iklim değişikliği, özellikle kurak alanlarda arazi bozulmasına ve çölleşmeye yol açmaktadır. (Saran ve ark., 2022). Çölleşme ve arazi bozulmasının: arazi kullanımı, su kaynakları, toprak stabilitesi, tarım ve biyoçeşitlilik üzerinde ciddi olumsuz etkileri vardır (Eliades ve ark., 2021). Bu bölümde, iklim değişikliğinin arazi üzerindeki olumsuz etkileri arasında toprak erozyonu, arazi kullanımı/örtüsü değişimi, toprak tuzluluğu ve toprak organik karbonundaki değişime değinilecektir.

#### ***Küresel İklim Değişikliği ve Toprak Erozyonu***

Küresel iklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkileri son yıllarda bilimsel araştırmalara konu olmuştur. Birçok çalışma iklim değişikliği ve toprak erozyonu arasındaki ilişkiyi araştırmış ve toprak organik maddesi, besin döngüsü ve erozyon oranları üzerindeki potansiyel etkileri vurgulamıştır. Chenu ve ark. (2019), tarafından yapılan bir çalışmada, iklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkilerinin azaltılmasında toprak organik maddesinin rolü vurgulanmıştır. Çalışma, tarım topraklarındaki organik karbon stoklarının artırılmasının, tarımsal ekosistemlerin mevsimsel olarak düzensiz ve aşırı yağış gibi değişen iklim koşullarına uyum sağlama yeteneğini artırabileceğini vurgulamıştır. Yine Çelik ve ark. (2017) toprak karbonunun önemli bir toprak kalite parametresi olarak kabul edilebileceğini bildirmiştir. Xiao ve ark. (2007) tarafından yapılan bir başka çalışma, sulama ve

artan toprak karbon girdisinin toprak organik madde dinamikleri ve mikrobiyal aktivitede değişikliklere yol açtığını bulmuşlardır. Bu çalışma, Balesdent ve ark. (2000)'ın toprak işlemenin organik madde üzerindeki etkileri ve topraktaki organik maddenin fiziksel koruma mekanizmalarını ortaya koymaya çalıştığı araştırma ile benzer bulgulara sahiptir. Her iki araştırmada, bölgesel iklim şartlarının, toprağın fiziksel özellikleri ve organik maddenin ayrışma oranları arasındaki güçlü etkileşimi konusunda aynı düşüncede birleşmektedirler. Toprak strüktürünün toprak işleme aletleri tarafından periyodik olarak bozulması ve bunu takip eden kuruma ve yeniden ıslanma döngüleri, organik madde ayrışma oranlarını artıran faktörler olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmalar küresel iklim değişikliği ve toprak organik maddesi arasındaki karmaşık etkileşimleri vurgulamaktadır. Toprak organik maddesi besin döngüsü, toprak strüktürü ve karbon depolanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu etkileşimleri anlamak, iklim değişikliğinin toprak organik madde dinamikleri üzerindeki etkilerini tahmin etmek ve iklim değişikliği karşısında sürdürülebilir arazi yönetimi konusunda stratejiler geliştirmek için gereklidir. Teng ve ark. (2018), Tibet Platosunda su kaynaklı toprak erozyonunun mevcut ve gelecekteki değerlendirmesini yapmak üzere bir çalışma yürütmüşlerdir. Tibet Platosu, küresel olarak gözlemlenenin yaklaşık iki katı oranında ısınan bir iklime maruz kalmış ve bu da su kaynaklı toprak erozyonunun artmasına neden olmuştur. Çalışmada, Tibet Platosundaki erozyonu değerlendirmek ve 2050 yılında toprak erozyonunu tahmin etmek için Revize Edilmiş Evrensel Toprak Denklemi (RUSLE) ve CMIP5 iklim modelleri kullanılmıştır. Bulgular, ısınan iklimle ilişkili olarak şiddetli yağış olaylarının erozyon riskinin artmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bulgular, yağış yoğunluğunun toprak erozyonundaki rolünü vurgulayan diğer çalışmalarla uyumludur ve iklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları sağlamak için önleyici önlemlere duyulan ihtiyacı vurgulamıştır. Ziadat and Taimeh (2013), yağış yoğunluğunun toprak erozyonunu etkileyen çok önemli bir faktör olduğunu, yağış yoğunluğundaki küçük artışların bile toprak kaybında önemli artışlara yol açtığını

vurgulamışlardır. İklim modelleri önümüzdeki on yıllar için aşırı yağışların artacağını öngörmektedir ve bu da daha yüksek toprak erozyonu oranlarına katkıda bulunabilir (Eekhout ve De Vente, 2020). Eekhout and De Vente (2020), tarafından yapılan çalışma, farklı toprak erozyonu model konseptleri kullanarak iklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkisini değerlendirmeye odaklanmıştır. Çalışmada kullanılan üç toprak erozyonu model konsepti: yağışla zorlanan bir model (RUSLE), akışla zorlanan bir model (MUSLE) ve yağış ve akışla zorlanan bir model (MMF). Çalışma, iklim değişikliği projeksiyonlarının RCP 8.5 iklim değişikliği senaryosuna göre yıllık yağış toplamında azalma ve aşırı yağış olaylarında artışa işaret ettiği İspanya'nın güneydoğusundaki iki Akdeniz havzasında yürütülmüştür. Çalışmanın bulguları, kullanılan model konseptine bağlı olarak, çalışma alanında toprak erozyonunun ya azalacağı (RUSLE) ya da artacağı (MUSLE ve MMF) öngörülerini ortaya koymuştur. Model projeksiyonlarındaki farklılıklar model kavramsallaştırmasına, özellikle de yıllık yağış toplamındaki azalma nedeniyle RUSLE tarafından öngörülen toprak kaybındaki azalmaya ve aşırı yağış olaylarındaki artış nedeniyle MUSLE ve MMF tarafından öngörülen toprak erozyonundaki artışa bağlanmıştır. Bu bulgular, iklim değişikliği nedeniyle aşırı yağışlarda artış öngören diğer çalışmalarla da uyumludur. Sillmann ve ark. (2013), iklim aşırılık endekslerindeki değişiklikleri analiz etmiş ve aşırı yağışların genellikle toplam ıslak gün yağışlarından daha hızlı arttığını saptamıştır. Ayrıca, yoğun yağışlı günlerdeki azalmalarla çakışan ardışık kurak günlerdeki artışlar nedeniyle belirli bölgelerde kurak koşulların potansiyel olarak yoğunlaştığının altını çizmişlerdir. Aşırı yağışlarda öngörülen artış, dünya çapında birçok yerde daha yüksek erozyon oranlarına yol açabileceğinden toprak erozyonu üzerinde etkilere sahiptir. Artan yağış yoğunluğunun toprak erozyonunu etkileyen önemli bir faktör olduğu bilinmektedir; yağış yoğunluğundaki küçük artışlar bile önemli toprak kaybına neden olmaktadır. Eekhout and De Vente (2020) bulguları, toprak erozyonunu değerlendirirken ve etkili toprak koruma stratejileri geliştirirken iklim değişikliğinin etkilerini, özellikle de yağış modellerindeki değişiklikleri göz önünde bulundurmanın

önemini vurgulamaktadır. Bazı çalışmalar da iklim değişikliğinin belirli bölgelerdeki toprak erozyonu üzerindeki potansiyel etkileri araştırılmıştır. Pruski and Nearing (2002), iklim değişikliğinin Amerika Birleşik Devletleri'nde toprak erozyonu üzerindeki potansiyel etkileri üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışma, yağış, sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi iklim faktörleri arasındaki karmaşık etkileşimleri ve bunların biyokütle üretimi ve erozyon oranları üzerindeki etkilerini vurgulamıştır. Araştırmacılar, yağış yoğunluğunun veya sıklığının artması gibi yağış rejiminde görülen değişikliklerin erozyon oranlarını önemli ölçüde etkileyebileceğini açıklamıştır. Daha yüksek yağış yoğunluğu, yüzeysel akışının ve toprak erozyonunun artmasına neden olduğunu bunlara ek olarak; sıcaklık ve güneş radyasyonundaki değişiklikler bitki örtüsünün büyümesini ve örtüsünü etkilediğini bildirmiştir. Arazi örtüsündeki değişikliklerin ise infiltrasyon oranını, su tutma kapasitesini ve nihayetinde erozyon süreçlerini etkilediği sonucuna varmışlardır. Benzer araştırmalar da iklim faktörleri ve erozyon arasındaki etkileşimleri anlamının önemini kabul etmiştir. Örneğin, García-Ruiz ve ark. (2013), Akdeniz bölgesinde iklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması gerektiğinin altını çizmiştir. Toprak erozyonunun değerlendirilmesi ve yönetilmesinde yağış şekilleri, sıcaklık ve arazi peyzajının hidrolojik ve jeomorfolojik işleyişi gibi faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamışlardır. Nihayetinde bu araştırmalar, erozyon oranlarının yağış, sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi iklim faktörleri arasındaki karmaşık etkileşimlerden etkilendiğini açıklamıştır. Bu iklim faktörlerindeki değişiklikler, yüzeysel akışı, arazi örtüsünü ve toprak özelliklerini etkileyerek toprak erozyonu üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Bu etkileşimleri anlamak, iklim değişikliğinin erozyon üzerindeki etkilerini doğru bir şekilde değerlendirmek ve tahmin etmek ve etkili toprak koruma stratejileri geliştirmek için çok önemlidir. İklim değişikliği ve antropojenik faktörler arasındaki etkileşimin toprak erozyonu süreçlerini daha da şiddetlendireceği birçok araştırmada vurgulanmıştır. Örneğin, Li ve ark. (2021), iklim değişikliğinin antropojenik faktörler ve toprak erozyonu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yağış düzenindeki

değişiklikler, arazi kullanımındaki değişikliklerin etkilerini artırarak toprağı erozyona karşı daha hassas hale getirdiğini bildirmiştir. Öte yandan, antropojenik faktörlerin de toprak erozyonunun iklim değişikliğine verdiği tepkiyi etkilediğini vurgulamıştır. Erozyon kontrol-bendi inşası veya ağaçlandırma gibi arazi yönetimi uygulamalarının, iklim değişikliğinin toprak erozyonu üzerindeki etkilerini azaltmaya yardımcı olabileceğini önermiştir.

### ***Küresel İklim Değişikliği ve Toprak Tuzlulaşması***

Küresel iklim değişikliğinin toprak özellikleri üzerindeki etkileri son yıllarda kapsamlı araştırmalara konu olmuştur. Temel çalışma alanlarından biri, iklim değişikliğinin toprak tuzlulaşması üzerindeki etkisidir. Toprakta yüksek düzeyde tuz bulunması anlamına gelen toprak tuzluluğu, ürün veriminde düşüşe yol açabilen önemli bir abiyotik strestir. Toprak tuzlanması sorunu, toprak bozulması, su kıtlığı ve küresel ısınma nedeniyle daha ciddi hale gelmektedir (Pan ve ark., 2009). İklim değişikliği, daha sık kuraklık olayları, kıyı bölgelerinde deniz suyu girişi ve sıcaklıkta genel bir artış gibi çeşitli mekanizmalar yoluyla toprak tuzlanmasını teşvik etmektedir. Bu faktörler, halihazırda iklim değişikliğinin etkilerinden sıkıntılı olan birçok alanda toprak tuzluluğunun artmasına katkıda bulunmaktadır (Ivushkin ve ark., 2019). Küresel iklim değişikliğinin toprak tuzlanması üzerindeki etkileri tarımı da etkilemektedir. İklim değişikliğinin yol açtığı iklim değişiklikleri, özellikle deniz suyu sızıntısı olan kıyı bölgelerinde ve sulama için bozulmuş yeraltı suyuna dayanan su kıtlığı olan bölgelerde kök bölgesi toprak tuzluluğunu artırabilir. Bu durum, özellikle kurak bölgelerde tarımsal verimlilik açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir (Corwin, 2021). Toprak tuzluluğundaki artış toprağı verimsiz hale getirerek gıda ve su kaynaklarını tehlikeye atabilir ve geçim kaynaklarını etkileyebilmektedir. İklim değişikliği ve toprak tuzluluğu arasındaki ilişki karmaşıktır ve çeşitli faktörlerden etkilenir. Örneğin, mevsimsellikteki değişiklikler sulak alanların tuzlanmadan etkilenip etkilenmeyeceğini belirleyerek sorunu daha da kötüleştirebilir (Reed ve ark., 2013). Ayrıca, iklim

değişikliğinden etkilenen topraktaki karbon dinamikleri, iklim değişikliğinin boyutunu dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Küresel ısınmanın topraktaki organik maddenin ayrışmasını hızlandırması, atmosfere daha fazla CO<sub>2</sub> salması ve ısınmayı daha da arttırması muhtemeldir (Bol ve ark., 1999). Kıyı bölgelerinde, iklim değişikliği önemli bir toprak tuzluluğu riski oluşturmaktadır. Yükselen deniz seviyeleri ve nehir tuzluluğu, sıcaklık ve yağış miktarındaki değişiklikler bu bölgelerde toprak tuzluluğunun artmasına katkıda bulunmaktadır. Toprak tuzluluğunda öngörülen değişiklikler, 2050 yılına kadar önemli bir artışa işaret etmekte ve bu bölgelerdeki tarım ve hane halklarının refahı için büyük bir zorluk oluşturmaktadır (Dasgupta ve ark., 2015; Szabo ve ark., 2016). Sonuç olarak, küresel iklim değişikliğinin toprak tuzlulaşması üzerinde önemli etkileri vardır. İklim değişikliğine bağlı olarak toprak tuzluluğundaki artış tarım, gıda güvenliği ve geçim kaynakları için zorluklar yaratmaktadır. Toprak tuzluluğunun etkilerini anlama ve hafifletme çabaları, iklim değişikliğinin etkileri karşısında sürdürülebilir tarım uygulamaları için gereklidir.

### ***Küresel İklim Değişikliği ve Arazi Örtüsü Değişimi***

Küresel iklim değişikliğinin, insan faaliyetleri ve doğal süreçler nedeniyle Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişmesi anlamına gelen arazi örtüsü değişikliği üzerinde önemli etkileri vardır. İklim değişikliğinin arazi örtüsü değişikliği üzerindeki etkileri hem doğrudan hem de dolaylı mekanizmaları içeren karmaşık ve çok yönlüdür. İklim değişikliğinin arazi örtüsü değişikliği üzerindeki başlıca doğrudan etkilerinden biri, sıcaklık ve yağış gibi iklimsel parametrelerden kaynaklı değişikliklerdir. Artan sıcaklıklar bitki örtüsü habitatlarında değişime yol açabilir; türler uygun iklim koşullarını aramak için daha yüksek enlemlere veya yüksekliklere taşınır (Cui ve Graf, 2009). Yağış miktarları ve mevsimsel dağılımında yaşanan değişiklikler bitki türlerinin büyümesini ve hayatta kalmasını etkileyebileceğinden, arazi örtüsü değişimini etkileyebilmektedir (Xu ve ark., 2019). Bitki örtüsü dağılımındaki bu değişikliklerin ekosistem dinamikleri üzerinde bitki besin döngüsü, karbon depolama da dahil olmak

üzere basamaklı etkileri olabilir (Mantyka-Pringle ve ark., 2015). Dolaylı olarak, iklim değişikliği diğer çevresel faktörler üzerindeki etkileri yoluyla da arazi örtüsü değişimini etkileyebilmektedir. Örneğin, sıcaklık ve yağıştaki değişiklikler orman yangınlarının sıklığını ve yoğunluğunu etkileyebilmektedir ve bu da arazi örtüsünde önemli değişikliklere yol açabilir (Z. Liu ve ark., 2019). Artan sıcaklıklar ve uzun süreli kuraklıklar da çölleşme riskini artırarak verimli arazilerin kurak ve çorak alanlara dönüşmesine yol açabilir (Sacks ve ark., 2009). Ayrıca, iklim değişikliği hidrolojik döngüyü değiştirerek su mevcudiyetini ve toprak nemini etkileyebilmektedir, bu da bitki örtüsünün büyümesini ve arazi örtüsünü etkileyebilmektedir (Huang ve ark., 2020). Sıcaklık ve yağıştaki değişiklikler, yağış olaylarının zamanlamasında ve yoğunluğunda kaymalara ve bu da bitkiler ve ekosistemler için suyun kullanılabilirliğini etkileyebilmektedir. Artan sıcaklıklar evapotranspirasyon oranlarını da artırarak daha kuru toprak koşullarına ve toprak neminin azalmasına yol açabilir (García-Ruiz ve ark., 2011). Hidrolojik döngüdeki bu değişiklikler bitki örtüsünün büyümesini ve hayatta kalmasını doğrudan etkileyerek arazi örtüsünde değişikliklere yol açabilir. Su mevcudiyeti ve toprak nemindeki değişikliklerin arazi örtüsü değişikliği üzerinde basamaklı etkileri görülebilir. Azalan su mevcudiyeti bitkilerde su stresine yol açarak büyümelerini ve üretkenliklerini etkiler. Bu durum bitki örtüsü kompozisyonunda değişikliklere neden olabilir ve su stresine karşı hassas olan türlerin yerini kuraklığa daha dayanıklı türler alabilir. Ayrıca, toprak nemindeki değişiklikler bitki türlerinin dağılımını etkileyebilmektedir, çünkü farklı türlerin nem koşullarına karşı toleransları farklıdır (Allan, 2004). Bitki örtüsü kompozisyonundaki bu değişiklikler de genel arazi örtüsünü etkileyebilmektedir. Ormansızlaşma ve kentleşme gibi arazi örtüsü değişiklikleri de iklim değişikliği ile etkileşime girerek hidrolojik döngüyü ve su mevcudiyetini daha da değiştirebilmektedir. Ormansızlaşma, evapotranspirasyon oranlarını azaltabilir ve yüzey akışını artırarak su kalitesi ve su miktarında değişikliklere yol açabilir (Aires ve ark., 2019). Kentleşme, doğal bitki örtüsünün geçirimsiz yüzeylerle yer değiştirmesine, infiltrasyonun azalmasına ve yüzey akışının



artmasına neden olarak hidrolojik döngüyü olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Z. Li ve ark., 2020). Bu arazi örtüsü değişikliği süreçleri ile iklim değişikliği etkileşimi bir kısır döngü oluşturarak su mevcudiyeti ve toprak nemi üzerinde bileşik bir olumsuzluk meydana getirir. Sonuç olarak, iklim değişikliği hidrolojik döngüyü, su mevcudiyetini ve toprak nemini değiştirerek arazi örtüsü değişikliğini dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Yağış modellerinde, evapotranspirasyon oranlarında ve sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler bitki örtüsünün dağılımını ve bileşimini etkileyerek arazi örtüsünde değişikliklere yol açar. Arazi örtüsündeki bu değişikliklerin ekosistemler ve biyoçeşitlilik üzerinde basamaklı etkileri olabilir. İklim değişikliği, hidroloji ve arazi örtüsü arasındaki etkileşimlerin anlaşılması ve yönetilmesi, değişen iklim karşısında etkili arazi yönetimi ve koruma için çok önemlidir.

### 5. Sürdürülebilir Arazi Kullanım Yönetimi

Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımı, olumsuz çevresel etkileri en aza indirirken tarımsal sistemlerin uzun vadeli yaşayabilirliğini ve üretkenliğini sağlamak için kritik bir yaklaşımdır. Ekonomik açıdan uygulanabilir, çevresel açıdan sağlam ve sosyal açıdan sorumlu uygulamaları teşvik etmek için ekonomik, çevresel ve sosyal faktörlerin entegrasyonunu içerir (Kulbaka, 2020). Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımı kavramı, tarımsal üretimi doğal kaynakların, biyolojik çeşitliliğin ve ekosistem hizmetlerinin korunmasıyla dengeleme ihtiyacını kabul eder. Toprağın korunması, su yönetimi ve uygun teknoloji ve girdilerin kullanımı gibi arazi yönetimi uygulamalarının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir (Molua, 2014). Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımı, iklim değişikliği ve diğer zorluklar karşısında tarımsal sistemlerin esnekliğini ve uyum kapasitesini korumanın önemini de vurgulamaktadır (Caviezal ve ark., 2017). Çiftçiler sürdürülebilir arazi kullanımı uygulamalarını benimseyerek toprak sağlığını iyileştirilmesi, su kirliliğinin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin korunması gibi konuların yanı sıra tarım sektörünün genel sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilmektedir. Ancak, sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımının sağlanması, çiftçileri sürdürülebilir uygulamaları benimsemeye ve

sürdürmeye teşvik etmek için destekleyici politikaların, teşviklerin ve eğitimin uygulanmasını gerektirir (Werling ve ark., 2014). Sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımını teşvik ederek, tarımsal sistemlerin uzun vadeli verimliliğini ve dayanıklılığını sağlarken, çevreyi koruyabilir ve kırsal toplulukların refah düzeyini artırıcı yaklaşımlarda bulunmak gerekmektedir. Ayrıca, sürdürülebilir tarımsal arazi kullanımı kırsal toplulukların ekonomik ve sosyal refah düzeyinin artırılmasına katkıda bulunur. Çiftçiler, sürdürülebilir uygulamaları benimseyerek geçim kaynaklarını iyileştirebilir, gelirlerini artırabilir ve COVID-19 gibi dış etkenlere karşı dayanıklılıklarını artırabilmektedir (Middendorf ve ark., 2021). Sürdürülebilir tarım aynı zamanda sosyal eşitliği, toplumsal cinsiyet eşitliğini ve toplumun güçlendirilmesini destekleyerek kapsayıcı ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eder (Beckman ve Countryman, 2021). Ayrıca, sürdürülebilir arazi kullanımı uygulamaları, toprakta karbon tutarak, sera gazı emisyonlarını azaltarak ve iklim direncini teşvik ederek iklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir (Savary ve ark., 2020). Sürdürülebilir tarımsal arazi yönetimi, tarımsal uygulamaların çevresel etkilerini ele alarak ve iklim direncini teşvik ederek küresel iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Bilinçsizce yapılan tarımsal faaliyetler sera gazı emisyonlarına, ormansızlaşmaya ve arazi bozulmasına katkıda bulunarak iklim değişikliğini şiddetlendirmektedir (Caron ve ark., 2018). Bu noktada, sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları bu etkileri azaltabilir ve iklim değişikliğini azaltma ve uyum çabalarına katkıda bulunabilir. Sürdürülebilir tarımsal arazi yönetiminin önemli bir yönü de iklim-akıllı tarım uygulamalarının benimsenmesidir. Bu uygulamalar sera gazı emisyonlarını azaltmayı, karbon birikimini artırmayı ve tarım sistemlerinin iklim değişikliğine karşı direncini artırmayı amaçlamaktadır (Harvey ve ark., 2014). Örneğin, yapay zekâ, iklim değişikliğiyle mücadele etmek için toprak biliminde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Jung ve ark. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada, 1982'den 2008'e kadar küresel olarak evapotranspirasyonu tahmin etmek için makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Sonuçlar, küresel evapotranspirasyonun

1982'den 1997'ye kadar ortalama olarak arttığını ancak daha sonra 2008'e kadar durduğunu göstermiştir. Bu araştırma, iklim değişikliği etkileri için önemli bir teşhis kriteri olan hidrolojik döngüde meydana gelen değişikliklere ilişkin değerli bilgiler sağlamaktadır. Akıllı tarım uygulamalarına bir diğer örnek yapay zekanın, toprak sağlığını izlemek ve bitkisel üretimi optimize etmek için kullanılmasıdır. Bu bağlamda, makine öğrenimi yöntemleri, toprak özelliklerini uzaktan algılama yoluyla elde edilen spektral veriler gibi çevresel değişkenleri kullanarak yüksek doğrulukta tahmin edilebilmektedir (Kılıç ve Gündoğan, 2022). Bu bilgiler, çiftçilerin sulama ve besin yönetimi hakkında bilinçli kararlar almasına yardımcı olarak daha verimli su ve gübre kullanımına imkan sağlayabilir ve tarımın çevresel etkisini azaltarak sürdürülebilir arazi kullanımı çerçevesinde iklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkilerinin olumsuzluklarını yönetmemize imkan tanıyabilmektedir (Kılıç ve ark., 2023; Sahoo ve Sharma, 2023). Sürdürülebilir arazi yönetimi, karbon tutma ve su döngüsünü düzenlemede önemli bir rol oynayan sulak alanlar ve ormanlar gibi ekosistemlerin korunmasını ve restorasyonunu da içerir. Budak ve ark. (2023), Türkiye'nin Güneydoğusu'nda yer alan Yüksekova'da sulak alanların karbon depolamasındaki öneme dikkat çektiği araştırmada, çalışma alanında arazi örtüsünün karbon depolamasına etki eden en önemli faktör olduğunu ve sulak alanların diğer arazi kullanımları arasında en yüksek karbon deposu (61.46 Mg C ha<sup>-1</sup>) olduğunu bildirmiştir. Bu ekosistemlerin korunması ve restore edilmesi, sera gazı emisyonlarını azaltarak ve su tutma oranını artırarak iklim değişikliğinin hafifletilmesine yardımcı olabilir (Xu ve ark., 2019). Ayrıca, korumacı tarım gibi sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları, toprak sağlığını ve verimliliğini teşvik ederek karbon birikimini artırabilir ve toprak erozyonunu azaltabilir (Jat ve ark., 2020). Ayrıca, sürdürülebilir tarımsal arazi yönetimi, tarımsal sistemlerin iklimle ilgili risklere ve belirsizliklere karşı direncini artırarak iklim değişikliğine uyuma katkıda bulunur. Çiftçiler, mahsulleri çeşitlendirerek, su yönetimini iyileştirerek ve agroekolojik yaklaşımları uygulayarak değişen iklim koşullarıyla daha iyi başa çıkabilir ve aşırı hava olaylarına karşı

kırılganlığı azaltabilir (Jat ve ark., 2020). Sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları, iklim değişikliğiyle bağlantılı olarak artan su kıtlığı ve kuraklık karşısında hayati önem taşıyan su tasarrufunu da modern tarımsal sulama sistemleri ile teşvik etmektedir (Z. Li ve ark., 2015; Mushtaq ve ark., 2013).

## 6. SONUÇ

Sonuç olarak, sürdürülebilir tarımsal arazi yönetimi küresel iklim değişikliğiyle mücadelede büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir arazi yönetim çerçevesi, akıllı tarım uygulamalarını benimseyerek, ekosistemleri koruyarak ve arazi bozulmasının nötralesini teşvik ederek iklim değişikliğini azaltma ve uyum çabalarına katkıda bulunmaktadır. Sera gazı emisyonlarını azaltma, karbon birikimini artırma ve tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini iyileştirme fırsatları sunmaktadır. Sürdürülebilir ve iklim değişikliğine dirençli bir gelecek elde etmek için yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerde sürdürülebilir tarımsal arazi yönetimi uygulamalarının benimsenmesine öncelik vermek ve desteklemek çok önemlidir. Sürdürülebilir arazi kullanımı çerçevesinde iklim değişikliği ve arazi bozulmasının etkilerinin yönetilmesi bağlamında gelecekte yapılmasında fayda bulunan araştırma başlıkları ve önerilerimiz şunlardır:

- Sürdürülebilir arazi yönetimini teşvik etmek ve ekosistemlerin daha fazla bozulmasını önlemek için daha güçlü düzenlemelere ve yaptırım mekanizmalarına ihtiyaç vardır.
- Global ölçekte, iklim değişikliği ve etkilerinin azaltılması için eşgüdümlü çabalar gerekmektedir.
- İklimin toprak karbon dinamiklerini nasıl etkilediği gelişmekte olan ülkelerde daha iyi anlaşılmalıdır. Tarım topraklarında karbon birikimini artıracak ve böylece iklim değişikliğinin etkilerini hafifletecek stratejiler yaygınlaştırılmalıdır.
- Topraklar, yerelden küresele, küresel iklim değişikliğinin etkilerini azaltacak şekilde yönetilmelidir. Ayrıca, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltabilecek gelişmiş ekim ve otlama arazisi yönetimi uygulamaları daha çok araştırılmalıdır.
  - Küresel iklim değişikliğinin toprak

nem dinamiklerini ve su mevcudiyetini nasıl etkilediğine dair zamansal ve mekânsal bir projeksiyon sunan yapay zekâ modelleri daha da geliştirilmelidir. Böylelikle, tarımda verimli su kullanımına yönelik, iyileştirilmiş sulama teknikleri ve su yönetimi uygulamaları gibi stratejiler yaygınlaştırılmalıdır. Sürdürülebilir arazi yönetimi, çölleşme ve kuraklıkla mücadele

anlamında en önemli araç olduğunun kabul edilmesinin ötesinde iklim değişikliği ile mücadele edilmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması, gıda güvenliği ve göç başta olmak üzere kırılgan canlı topluluklarının geleceği ve güvenliği açısından kritik konular olduğu toplumların ve yöneticilerin gündemindeki en birincil sorunlar arasında bulunmalıdır.

#### Yazar katkısı:

Bu derleme makalenin yazarları olarak, konunun belirlenmesi, literatür taraması, analiz ve yazım süreçlerinin tamamı tarafımızca gerçekleştirilmiştir.

#### Çıkar çatışması beyanı:

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### 7. KAYNAKÇA

- Abid, M., Scheffran, J., Schneider, U. A., ve Ashfaq, M. (2015). Farmers' perceptions of and adaptation strategies to climate change and their determinants: The case of Punjab province, Pakistan. *Earth System Dynamics*, 6(1), 225–243. <https://doi.org/10.5194/esd-6-225-2015>
- Aires, U. R. V., Reis, G. B., ve Campos, J. A. (2019). Nonparametric tests for stationary analysis in hydrological data. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 239–250. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.4.2019.2466.239-250>
- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- Alotaibi, M. (2023). Climate change, its impact on crop production, challenges, and possible solutions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(1), 13020-13020.
- Annie , M., Pal, R. kumar, Gawai , A. S., & Sharma , A. (2023). Assessing the Impact of Climate Change on Agricultural Production Using Crop Simulation Model. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(7), 538–550. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i71906>
- Bai, D., Ye, L., Yang, Z. Y., ve Wang, G. (2022). Impact of climate change on agricultural productivity: a combination of spatial Durbin model and entropy approaches. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2022-0016>
- Baker, J. S., Havlík, P., Beach, R., Leclère, D., Schmid, E., Valin, H., Cole, J., Creason, J., Ohrel, S., ve McFarland, J. (2018). Evaluating the effects of climate change on US agricultural systems: Sensitivity to regional impact and trade expansion scenarios. *Environmental Research Letters*, 13(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac1c2>
- Balesdent, J., Chenu, C., ve Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, 53(3–4), 215–230. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5)
- Beckman, J., ve Countryman, A. M. (2021). The Importance of Agriculture in the Economy: Impacts from COVID-19. *American Journal of Agricultural Economics*, 103(5), 1595–1611. <https://doi.org/10.1111/ajae.12212>
- Birthal, P. S., Khan, T., Negi, D. S., ve Agarwal, S. (2014). Impact of Climate Change on Yields of Major Food Crops in India: Implications for Food Security. *Agricultural Economics Research*

- Review*, 27(2), 145.  
<https://doi.org/10.5958/0974-0279.2014.00019.6>
- Bol, R. A., Harkness, D. D., Huang, Y., ve Howard, D. M. (1999). The influence of soil processes on carbon isotope distribution and turnover in the British uplands. *European Journal of Soil Science*, 50(1), 41–51. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.1999.00222.x>
- Budak, M., Günal, E., Kılıç, M., Çelik, İ., Sırrı, M., ve Acir, N. (2023). Improvement of spatial estimation for soil organic carbon stocks in Yuksekova plain using Sentinel 2 imagery and gradient descent–boosted regression tree. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 53253–53274. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26064-8>
- Caron, P., Ferrero y de Loma-Osorio, G., Nabarro, D., Hainzelin, E., Guillou, M., Andersen, I., Arnold, T., Astralaga, M., Beukeboom, M., Bickersteth, S., Bwalya, M., Caballero, P., Campbell, B. M., Divine, N., Fan, S., Frick, M., Friis, A., Gallagher, M., Halkin, J.-P., ... Verburg, G. (2018). Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(4), 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0519-1>
- Caviezel, C., Hunziker, M., ve Kuhn, N. J. (2017). Bequest of the Norseman-The potential for agricultural intensification and expansion in southern greenland under climate change. *Land*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/land6040087>
- Chenu, C., Angers, D. A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., ve Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842–862. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>
- Cui, X., ve Graf, H. F. (2009). Recent land cover changes on the Tibetan Plateau: A review. *Climatic Change*, 94(1–2), 47–61. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9556-8>
- Dasgupta, S., Hossain, M. M., Huq, M., ve Wheeler, D. (2015). Climate change and soil salinity: The case of coastal Bangladesh. *Ambio*, 44(8), 815–826. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0681-5>
- Durodola, O. S. (2019). The Impact of Climate Change Induced Extreme Events on Agriculture and Food Security: A Review on Nigeria. *Agricultural Sciences*, 10(04), 487–498. <https://doi.org/10.4236/as.2019.104038>
- Eekhout, J. P. C., ve De Vente, J. (2020). How soil erosion model conceptualization affects soil loss projections under climate change. *Progress in Physical Geography*, 44(2), 212–232. <https://doi.org/10.1177/0309133319871937>
- Eka Suranny, L., Gravitiani, E., ve Rahardjo, M. (2022). Impact of climate change on the agriculture sector and its adaptation strategies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1016(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1016/1/012038>
- Eliades, F., Hadjimitsis, D., ve Danezis, C. (2021). *Detecting changes in vegetation and climate that serve as early warning signal on land degradation using remote sensing: a review*. 45. <https://doi.org/10.1117/12.2600284>
- Faraz, M., Nadeem, N., Mehmood, H. Z., & Ahsan, M. B. (2023). Impact of Climate Change on Total Factor Productivity of Agriculture in District Multan. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 11(2), 2465-2479.
- García-Ruiz, J. M., López-Moreno, I. I., Vicente-Serrano, S. M., Lasanta-Martínez, T., ve Beguería, S. (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, 105(3–4), 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.006>
- García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., ve Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes:

- Changes and future challenges. *Geomorphology*, 198, 20–36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- Harvey, C. A., Chacón, M., Donatti, C. I., Garen, E., Hannah, L., Andrade, A., Bede, L., Brown, D., Calle, A., Chará, J., Clement, C., Gray, E., Hoang, M. H., Minang, P., Rodríguez, A. M., Seeberg-Elverfeldt, C., Semroc, B., Shames, S., Smukler, S., ... Wollenberg, E. (2014). Climate-Smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. *Conservation Letters*, 7(2), 77–90. <https://doi.org/10.1111/conl.12066>
- Hemantaranjan, A. (2014). Heat Stress Responses and Thermotolerance. *Advances in Plants ve Agriculture Research*, 1(3). <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00012>
- Huang, N., Wang, L., Song, X. P., Andrew Black, T., Jassal, R. S., Myneni, R. B., Wu, C., Wang, L., Song, W., Ji, D., Yu, S., ve Niu, Z. (2020). Spatial and temporal variations in global soil respiration and their relationships with climate and land cover. *Science Advances*, 6(41). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb8508>
- IPCC Panel. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. K., Pulatov, A., Kempen, B., ve de Sousa, L. (2019). Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111260>
- Jat, M. L., Chakraborty, D., Ladha, J. K., Rana, D. S., Gathala, M. K., McDonald, A., ve Gerard, B. (2020). Conservation agriculture for sustainable intensification in South Asia. *Nature Sustainability*, 3(4), 336–343. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0500-2>
- Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P., Seneviratne, S. I., Sheffield, J., Goulden, M. L., Bonan, G., Cescatti, A., Chen, J., De Jeu, R., Dolman, A. J., Eugster, W., Gerten, D., Gianelle, D., Gobron, N., Heinke, J., Kimball, J., Law, B. E., Montagnani, L., ... Zhang, K. (2010). Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature*, 467(7318), 951–954. <https://doi.org/10.1038/nature09396>
- Kılıç, M., Gündoğan, R., ve Günal, H. (2023). An Illustration of A Sustainable Agricultural Land Suitability Assessment System with A Land Degradation Sensitivity. *Environment, Development and Sustainability*, 1–30.
- Kılıç, M., ve Gündoğan, R. (2022). Comparison of Recent Remote Sensing Data Using an Artificial Neural Network to Predict Soil Moisture by Focusing on Radiometric Indices. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(12), 2438–2445. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i12.2438-2445.5477>
- KULBAKA, V. (2020). Conceptual Fundamentals of Agricultural Land Use Formation in Conditions of Sustainable Development. *Ukrainian Journal of Applied Economics*, 5(2), 282–288. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-33>
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>
- Li, C., Li, Z., Yang, M., Ma, B., ve Wang, B. (2021). Article grid-scale impact of climate change and human influence on soil erosion within east african highlands (Kagera basin). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052775>
- Li, Z., Deng, X., Wu, F., ve Hasan, S. S. (2015). Scenario analysis for water resources in response to land use change in the middle and upper reaches of the heihe river Basin. *Sustainability (Switzerland)*, 7(3), 3086–3108. <https://doi.org/10.3390/su7033086>
- Li, Z., Xu, Y., Sun, Y., Wu, M., ve Zhao, B. (2020). Urbanization-driven changes in land-climate dynamics: A case study of Haihe River Basin, China. *Remote Sensing*, 12(17).

- <https://doi.org/10.3390/RS12172701>
- Liu, B., Asseng, S., Liu, L., Tang, L., Cao, W., ve Zhu, Y. (2016). Testing the responses of four wheat crop models to heat stress at anthesis and grain filling. *Global Change Biology*, 22(5), 1890–1903. <https://doi.org/10.1111/gcb.13212>
- Liu, Z., Ballantyne, A. P., ve Cooper, L. A. (2019). Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08237-z>
- Loo, Y. Y., Billa, L., ve Singh, A. (2015). Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers*, 6(6), 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.02.009>
- Lyu, Y., Shi, P., Han, G., Liu, L., Guo, L., Hu, X., ve Zhang, G. (2020). Desertification control practices in China. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083258>
- Maheshwari, C., Garg, N. K., Hasan, M., Prathap, V., Meena, N. L., Singh, A., ve Tyagi, A. (2022). Insight of PBZ mediated drought amelioration in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1008993>
- Mantyka-Pringle, C. S., Visconti, P., Di Marco, M., Martin, T. G., Rondinini, C., ve Rhodes, J. R. (2015). Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. *Biological Conservation*, 187, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.04.016>
- Middendorf, B. J., Faye, A., Middendorf, G., Stewart, Z. P., Jha, P. K., ve Prasad, P. V. V. (2021). Smallholder farmer perceptions about the impact of COVID-19 on agriculture and livelihoods in Senegal. *Agricultural Systems*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103108>
- Molua, E. L. (2014). Land Management for Sustainable Agriculture Under Climate Change in the Congo-Basin Countries of Central Africa. *Environment and Natural Resources Research*, 4(4). <https://doi.org/10.5539/enrr.v4n4p178>
- Mushtaq, S., Maraseni, T. N., ve Reardon-Smith, K. (2013). Climate change and water security: Estimating the greenhouse gas costs of achieving water security through investments in modern irrigation technology. *Agricultural Systems*, 117, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2012.12.009>
- Niels, H. B. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47(June), 151–163.
- Özyol, K. (2022). Çölleşmenin ekosisteme etkileri ve çölleşmeyi tersine çevirme yolunda sürdürülebilir tarımın önemi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 113–122. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1060466>
- Pan, J., Wang, J., Zhou, Z., Yan, Y., Zhang, W., Lu, W., Ping, S., Dai, Q., Yuan, M., Feng, B., Hou, X., Zhang, Y., Ma, R., Liu, T., Feng, L., Wang, L., Chen, M., ve Lin, M. (2009). IrrE, a global regulator of extreme radiation resistance in deinococcus radiodurans, enhances salt tolerance in escherichia coli and brassica napus. *PLoS ONE*, 4(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004422>
- Parnell, S., ve Pieterse, E. (2010). The ‘Right to the City’: Institutional Imperatives of a Developmental State. *International Journal of Urban and Regional Research*, 34(1), 146–162. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2010.00954.x>
- Pruski, F. F., ve Nearing, M. A. (2002). Climate-induced changes in erosion during the 21st century for eight U.S. locations. *Water Resources Research*, 38(12), 34-1-34-11. <https://doi.org/10.1029/2001wr000493>
- Reed, M. S., Podesta, G., Fazey, I., Geeson, N., Hessel, R., Hubacek, K., Letson, D., Nainggolan, D., Prell, C., Rickenbach, M. G., Ritsema, C., Schwilch, G., Stringer, L. C., ve Thomas, A. D. (2013). Combining analytical frameworks to assess livelihood vulnerability to climate change and analyse adaptation options. *Ecological Economics*, 94, 66–77.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.07.007>
- Regmi, P. P., ve Weber, K. E. (2000). Problems to agricultural sustainability in developing countries and a potential solution: diversity. *International Journal of Social Economics*, 27(7/8/9/10), 788–801.  
<https://doi.org/10.1108/03068290010335226>
- Rezaei, E. E., Siebert, S., ve Ewert, F. (2015). Intensity of heat stress in winter wheat - Phenology compensates for the adverse effect of global warming. *Environmental Research Letters*, 10(2).  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024012>
- Sacks, W. J., Cook, B. I., Buening, N., Levis, S., ve Helkowski, J. H. (2009). Effects of global irrigation on the near-surface climate. *Climate Dynamics*, 33(2–3), 159–175.  
<https://doi.org/10.1007/s00382-008-0445-z>
- Sahoo, P. K., ve Sharma, D. (2023). Economic impact of artificial intelligence in the field of agriculture. *International Journal of Horticulture and Food Science*, 5(1), 29–34.  
<https://doi.org/10.33545/26631067.2023.v5.i1a.152>
- Saran, A., Singh, S., Gupta, N., Walke, S. C., Rao, R., Simiyu, C., Malhotra, S., Mishra, A., Puskur, R., Masset, E., White, H., ve Sharma Waddington, H. (2022). PROTOCOL: Interventions promoting resilience through climate-smart agricultural practices for women farmers: A systematic review. *Campbell Systematic Reviews*, 18(3).  
<https://doi.org/10.1002/cl2.1274>
- Savary, S., Akter, S., Almekinders, C., Harris, J., Korsten, L., Rötter, R., Waddington, S., ve Watson, D. (2020). Mapping disruption and resilience mechanisms in food systems. *Food Security*, 12(4), 695–717. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01093-0>
- Shahid, S. A., ve Al-Shankiti, A. (2013). Sustainable food production in marginal lands—Case of GDLA member countries. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(1), 24–38.  
[https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30047-2](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30047-2)
- Sillmann, J., Kharin, V., Zwiers, W., Zhang, X., ve Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(6), 2473–2493.
- Solomon, B. D. (2023). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In *Dictionary of Ecological Economics*. <https://doi.org/10.4337/9781788974912.i.50>
- Szabo, S., Hossain, M. S., Adger, W. N., Matthews, Z., Ahmed, S., Lázár, A. N., ve Ahmad, S. (2016). Soil salinity, household wealth and food insecurity in tropical deltas: evidence from south-west coast of Bangladesh. *Sustainability Science*, 11(3), 411–421.  
<https://doi.org/10.1007/s11625-015-0337-1>
- Teng, H., Liang, Z., Chen, S., Liu, Y., Viscarra Rossel, R. A., Chappell, A., Yu, W., ve Shi, Z. (2018). Current and future assessments of soil erosion by water on the Tibetan Plateau based on RUSLE and CMIP5 climate models. *Science of the Total Environment*, 635, 673–686.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.146>
- van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Bever, J. D., Bezemer, T. M., Casper, B. B., Fukami, T., Kardol, P., Klironomos, J. N., Kulmatiski, A., Schweitzer, J. A., Suding, K. N., Van de Voorde, T. F. J., ve Wardle, D. A. (2013). Plant-soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *Journal of Ecology*, 101(2), 265–276. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12054>
- Webb, N. P., Marshall, N. A., Stringer, L. C., Reed, M. S., Chappell, A., ve Herrick, J. E. (2017). Land degradation and climate change: building climate resilience in agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(8), 450–459.  
<https://doi.org/10.1002/fee.1530>
- Weeraratna, S. (2022). *Understanding Land Degradation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-12138-8>

- Werling, B. P., Dickson, T. L., Isaacs, R., Gaines, H., Gratton, C., Gross, K. L., Liere, H., Malmstrom, C. M., Meehan, T. D., Ruan, L., Robertson, B. A., Robertson, G. P., Schmidt, T. M., Schrottenboer, A. C., Teal, T. K., Wilson, J. K., ve Landis, D. A. (2014). Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(4), 1652–1657. <https://doi.org/10.1073/pnas.1309492111>
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., Van Der Mensbrugghe, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D’Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Van Meijl, H., ve Willenbockel, D. (2015). Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 10(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/085010>
- Xiao, C., Janssens, I. A., Liu, P., Zhou, Z., ve Sun, O. J. (2007). Irrigation and enhanced soil carbon input effects on below-ground carbon cycling in semiarid temperate grasslands. *New Phytologist*, 174(4), 835–846. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02054.x>
- Xu, P., Guo, Y., ve Fu, B. (2019). Regional impacts of climate and land cover on ecosystemwater retention services in the Upper Yangtze River Basin. *Sustainability (Switzerland)*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/su11195300>
- Zeilinger, S., Gupta, V. K., Dahms, T. E. S., Silva, R. N., Singh, H. B., Upadhyay, R. S., Gomes, E. V., Tsui, C. K. M., ve Chandra Nayak, S. (2016). Friends or foes? Emerging insights from fungal interactions with plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 40(2), 182–207. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuv045>
- Ziadat, F. M., ve Taimeh, A. Y. (2013). Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. *Land Degradation and Development*, 24(6), 582–590. <https://doi.org/10.1002/ldr.2239>