

Orman Yangınlarıyla Artan Karasal Karbon Emisyonlarının Tahıl Tarımında Karbon Ayak İzi Değişimine Etkisi: Türkiye Örneği

Çağdaş Can TOPRAK*

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tillo İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Siirt, Türkiye.

<https://orcid.org/0000-0002-0951-7458>

Zeki ERDEN

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tillo İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Siirt, Türkiye.

<https://orcid.org/0000-0003-1613-7768>

Fatih ÇİĞ

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye.

<https://orcid.org/0000-0002-4042-0566>

Derleme Makalesi

Geliş Tarihi

30/07/2025

Kabul Tarihi

24/09/2025

DOI

[10.70562/tubid.1754205](https://doi.org/10.70562/tubid.1754205)

Özet

Orman yangınlarının artan sıklığı ve şiddeti, yalnızca doğal ekosistemleri değil, aynı zamanda yakın çevresindeki tarımsal üretim sistemlerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Yangın sonrası dönemde toprakta meydana gelen fiziksel ve biyokimyasal bozulmalar, tahıl verimliliğini düşürmekte ve üretim sürecinde daha fazla girdi kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu durum, özellikle buğday ve arpa gibi geniş alanlarda yetiştirilen tahıllarda, artan yakıt tüketimi, azotlu gübreleme ve yoğun toprak işleme gibi uygulamalarla karbon ayak izinde belirgin artışlara neden olmaktadır. Çalışmamızda, orman yangınlarına bağlı karasal karbon emisyonlarının tahıl tarımındaki dolaylı etkilerini disiplinler arası bir bakış açısıyla ele alınmış, literatür destekli analizler ve örnek olaylar ışığında yangın sonrası dönemde uygulanabilecek karbon azaltım stratejileri değerlendirilmiştir. Ayrıca Hassas tarım teknolojileri, minimum toprak işleme ve karbon dengeleme mekanizmalarının entegrasyonu gibi çözüm önerileri sunulmuştur. Bu doğrultuda, politika yapıcılar ve araştırmacılar için yönlendirici bir çerçeve belirlemek için rehber niteliği taşıyan araştırmada, yangın-tarım-karbon etkileşiminin bütüncül olarak ele alınması gerektiğini göstermekte ve iklim değişikliğiyle mücadelede tarımsal planlamanın yeniden yapılandırılması çağrısında bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tahıl, orman, karbon, yangın, emisyon

The Impact of Increased Terrestrial Carbon Emissions from Forest Fires on the Carbon Footprint of Cereal Crop Production: The Case of Türkiye

Review Article

Received

30/07/2025

Accepted

24/09/2025

DOI

[10.70562/tubid.1754205](https://doi.org/10.70562/tubid.1754205)

Abstract

The increasing frequency and intensity of forest fires significantly affect not only natural ecosystems but also the surrounding agricultural production systems. In the post-fire period, physical and biochemical degradation in the soil reduces cereal productivity and necessitates the use of additional inputs in the production process. This situation leads to a marked increase in the carbon footprint, particularly in cereals cultivated over large areas such as wheat and barley, due to intensified fuel consumption, nitrogen fertilization, and intensive soil tillage practices. In this study, the indirect impacts of wildfire-induced terrestrial carbon emissions on cereal agriculture are examined through an interdisciplinary perspective. Supported by literature-based analyses and case studies, post-fire carbon mitigation strategies are evaluated. Additionally, solution-oriented approaches such as the integration of precision agriculture technologies, minimum tillage, and carbon offset mechanisms are presented. Accordingly, this research provides a guiding framework for policymakers and researchers, emphasizing the need for a holistic understanding of the fire–agriculture–carbon nexus. The findings highlight the necessity of re-structuring agricultural planning as a crucial component in the fight against climate change.

Keywords: Cereal, forest, carbon, fire, emission

1. Giriş

Son yıllarda küresel iklim krizinin ivme kazanması, orman yangınlarının hem frekansında hem de şiddetinde belirgin bir artışa yol açmıştır. Bu yangınlar yalnızca ormanlık alanları değil, çevresindeki tarım arazilerini de doğrudan etkileyen birer ekolojik stres faktörü haline gelmiştir (1). Özellikle tahıl üretim sistemlerinin yer aldığı bölgelerde, yangın sonrası değişen mikroklimatik koşullar, toprak kimyası ve biyolojik aktivite, üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (2).

Yangınlar sonucunda açığa çıkan büyük ölçekli karasal karbon emisyonları, atmosferik karbon yoğunluğuna katkıda bulunmanın ötesinde, tarım topraklarının karbon tutma kapasitesini de azaltmaktadır. Organik madde içeriğindeki kayıplar, mikrobiyal çeşitliliğin azalması ve toprak yapısındaki fiziksel bozulmalar, hem toprak sağlığını hem de bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (3). Bu durumun, tahıl tarımı gibi geniş ölçekli ve makine yoğun üretim sistemlerinde daha fazla girdi kullanımına ve dolayısıyla artan sera gazı emisyonlarına neden olduğu kaydedilmiştir (4).

Karbon ayak izi, modern tarımsal sürdürülebilirlik tartışmalarında önemli bir gösterge haline gelmiştir. Tarımsal üretimin iklim değişikliği üzerindeki etkisini sayısal olarak ortaya koyan bu göstergenin, aynı zamanda arazi kullanım değişimleri ve afet kaynaklı karbon döngüsü sapmalarını da analiz etme kapasitesine sahip olduğu rapor edilmiştir (5). Bu doğrultuda, orman yangınlarının neden olduğu karasal karbon salımlarının tahıl tarımı üzerindeki dolaylı etkilerinin araştırılması, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyoekonomik yönleriyle de ele alınması gereken bütüncül bir sorun alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu perspektiften yola çıkarak yangın temelli karbon emisyonlarının tahıl tarımındaki karbon ayak izi üzerindeki yansımaları disiplinlerarası bir çerçevede değerlendirilmiş, güncel bilimsel veriler ve politika önerileri eşliğinde ele alınmıştır.

2. Orman Yangınları ve Karasal Karbon Emisyonları

Orman yangınları, küresel ölçekte karbon döngüsünün en dinamik ve yıkıcı bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Doğal ya da antropojenik kökenli olsun, yangınların etkilediği orman ekosistemleri, atmosfere yüksek miktarda sera gazı salımıyla birlikte, karbon stoklarının kaybına ve biyolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır (1, 2). Yangın esnasında yanan biyokütlenin niteliğine bağlı olarak ortaya çıkan CO₂, CH₄ ve NO_x gibi gazların, iklim değişikliğini tetikleyen başlıca unsurlar arasında yer aldığı bildirilmiştir (6). Özellikle kuru ot, yaprak döküntüsü, genç ağaçlar ve yüzeysel organik madde katmanları, yangın sırasında hızlı bir şekilde yanarak yüksek miktarda karbon açığa çıkarmaktadır.

Yangınların sadece doğrudan emisyonlarla sınırlı kalmayıp, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısında kalıcı değişimlere neden olduğu bilinmektedir. Toprakta bulunan stabil organik karbon fraksiyonlarının yangın sonrasında parçalanması, mikrobiyal çeşitliliğin azalması ve toprak aglomerasyonunun bozulması, karbon sekestrasyon kapasitesinin düşmesine yol açtığı belirtilmiştir (3, 7). Bu sürecin, hem kısa vadeli karbon salımını hem de uzun vadeli karbon tutulum kapasitesindeki kayıpları kapsadığı düşünülmüştür. Özellikle yangın sonrası dönemde toprağın hidrofobik hale gelmesi, su infiltrasyonunu sınırlandırmakta ve erozyon riskini artırarak karbonun taşınım yoluyla kaybına zemin hazırladığı rapor edilmiştir (8).

Türkiye özelinde yapılan çalışmalar da benzer şekilde, orman yangınlarının ardından özellikle Akdeniz bölgesinde toprak organik karbonunun belirgin oranda azaldığını göstermektedir. Yürütülen bir araştırmada, Muğla'da 2021 yangınlarından etkilenen alanlarda toprak organik karbon içeriğinde ortalama %27 oranında azalma gözlemlenmiştir (9). Bu bulgu, karasal karbon rezervlerinin yangınlar yoluyla ciddi biçimde zayıflatıldığını ve bu durumun bölgesel karbon ayak izini artırıcı yönde etkiler doğurduğunu ortaya koymaktadır.

Uluslararası düzeyde yapılan uydu tabanlı gözlemler de karasal karbon kayıplarını doğrulamaktadır. NASA'nın MODIS sensörü ve Avrupa Uzay Ajansı'nın Sentinel-5P verilerine dayanan analizler, 2019–2023 yılları arasında Amazon, Avustralya ve Akdeniz havzasında meydana gelen büyük yangınların yaklaşık 1,76 milyar ton CO₂ eşdeğeri karbon salımına neden olduğunu göstermiştir (10). Bu salım miktarının, birçok gelişmiş ülkenin yıllık emisyon değerlerinden daha yüksek olduğu gerçeğini ortaya koymuştur.

Yangınların ardından karbon dengesindeki bu sapmalar, sadece ekosistem seviyesinde değil, aynı zamanda yakın çevredeki tarım alanlarında da dolaylı etkilere yol açmaktadır. Toprakta azalan karbon depolama kapasitesi, tahıl tarımında toprak sağlığını bozar, su tutma kapasitesini düşürür ve üretim için gereken dış girdilerin (gübre, enerji) miktarını artırır. Bu da doğrudan olmasa da, tahıl üretim sistemlerinin toplam karbon ayak izini büyüten önemli bir risk faktörüdür (4, 11).

3. Orman Yangınlarının Tahıl Tarımına Dolaylı Etkileri

Orman yangınları, yalnızca ekosistemlerin doğrudan tahribatına neden olmakla kalmayıp, çevresindeki tarım alanları üzerinde uzun süreli ve çoğu zaman görünmeyen dolaylı etkiler bırakmaktadır. Yangın sonrası oluşan ısı adası etkisi, özellikle yangın alanına komşu tahıl tarlalarında mikroklimatik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durumun, tahılların gelişim dönemlerinde su stresi, erken çiçeklenme ve düşük tane dolgunluğu gibi verim parametrelerini olumsuz etkilediği kaydedilmiştir (12).

Yangına maruz kalan veya yakın çevresinde bulunan tarım arazilerinde toprak özellikleri de önemli ölçüde değişmektedir. Yangın sonrası yüzeysel organik madde tabakasının yanması, toprak geçirgenliğinde azalmaya, su tutma kapasitesinde düşüşe ve erozyon riskinde artışa neden olduğu belirtilmiştir (3, 8). Bu değişimler, tahılların özellikle ilk gelişim dönemlerinde karşılaştığı abiyotik stresleri artırarak, bitki sağlığını zayıflatır. Ayrıca yangının neden olduğu ısı etki, toprak mikrobiyotasında hem tür çeşitliliği hem de işlevsel aktivite düzeyinde gerilemeye yol açar (7). Özellikle arpa ve buğday gibi tahıllar, rizosferde simbiyotik ilişkiler kurduğu faydalı mikrobiyal topluluklar aracılığıyla besin alımını ve hastalık direncini artırmaktadır. Bu simbiyotik denge yangın sonrası bozulduğunda, bitkinin besin alımı azalmakta, hastalıklara karşı direnç düşmekte ve verim potansiyeli zayıflamaktadır (13, 14).

Yangın kaynaklı bu bozulmaların bir diğer sonucu, tarımsal girdi ihtiyacının artmasıdır. Topraktaki azalan organik madde ve mikrobiyal aktivite, çiftçileri daha fazla kimyasal gübre, pestisit ve sulama suyu kullanmaya zorlamaktadır. Bu da doğrudan enerji tüketimini ve dolaylı sera gazı salımlarını artırarak, tahıl tarımının karbon ayak izini büyütmektedir (4, 11). Özellikle konvansiyonel üretim sistemlerinde, bu artışın %20'ye varan oranlarda olduğu rapor edilmiştir (15).

Türkiye'de yangınların yoğunlaştığı Akdeniz ve Ege bölgelerinde yapılan saha gözlemleri, bu etkilerin yerel tahıl üretimi üzerinde ciddi ekonomik ve ekolojik sonuçlar doğurduğunu göstermektedir. Bazı araştırmacılar, 2021 yılında meydana gelen yangınlar sonrası Manavgat çevresindeki buğday tarlalarında su ihtiyacının %18 oranında arttığını, aynı zamanda kullanılan azotlu gübre miktarında da belirgin bir yükseliş olduğunu rapor etmiştir (16). Dolayısıyla orman yangınlarının dolaylı etkileri, yalnızca orman dışı biyolojik çeşitliliği değil, tarımsal üretim sürdürülebilirliğini de doğrudan tehdit eden karmaşık bir süreçtir. Bu etkileşimler, yangın sonrası tarımsal adaptasyon stratejilerinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken kritik parametrelerdir.

4. Karbon Ayak İzini belirlemek için Kavramsal Çerçeve ve Hesaplama Yaklaşımları

Tarım sektöründe sürdürülebilirlik kriterlerinin giderek daha fazla önem kazanmasıyla birlikte, karbon ayak izi kavramı da temel çevresel göstergeler arasında yer almaktadır. Karbon ayak izi, bir tarımsal üretim sisteminin sera gazı (SG) salımlarını CO₂ eşdeğeri (CO₂-eq) cinsinden ifade eden ölçümler bütünü olarak tanımlanmıştır. Bu hesaplamalarda, üretim sürecinde doğrudan ve dolaylı yollarla açığa çıkan tüm emisyon kaynakları dikkate alınmaktadır (5).

Doğrudan emisyonlar, yakıt tüketimi, gübre ve pestisit uygulamaları gibi tarımsal faaliyetlerin doğrudan çıktılarıdır. Dolaylı emisyonlar ise, tarımsal makinelerin üretimi, tarım girdilerinin taşınması ve ambalajlama süreçlerinden kaynaklanan karbon salımlarını kapsar (17). Bu kapsamlı hesaplama yaklaşımı, üretim sistemlerinin gerçek çevresel etkisini ortaya koymak açısından kritik derecede önemli olduğu düşünülmüştür.

Yangın sonrası tahıl üretim alanlarında gözlenen toprak bozulmaları, üretim süreçlerinde daha fazla dış girdiye olan ihtiyacı beraberinde getirmekte, bu da karbon ayak izi hesaplamalarında yukarı yönlü sapmalara yol açmaktadır. Öyle ki yürütülen araştırmalarda azalan organik madde düzeyi nedeniyle daha yoğun gübreleme ihtiyacı oluştuğu; bu durum sadece doğrudan N_2O salımını değil, aynı zamanda gübre üretimi ve taşınması süreçlerinde oluşan dolaylı emisyonları da artırdığı belirtilmiştir (4, 11). Ayrıca, yangınlarla bozulan toprak ekosistemlerinde karbon sekestrasyon kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır. Normal koşullarda toprak, karbonu uzun vadeli depolama potansiyeline sahiptir; ancak yangın sonrası mikrobiyal aktivitenin gerilemesi ve humus yapısının parçalanmasının bu fonksiyonu zayıflattığı bildirilmiştir (18). Bu durum, doğal karbon ofset mekanizmalarının etkinliğini düşürmekte ve net karbon ayak izini artırıcı yönde etki oluşturmaktadır (19).

Günümüzde karbon ayak izi hesaplamalarında yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Assessment, LCA) yöntemi yaygın olarak kullanılmakta olup, ISO 14067 standardı bu konuda referans belge olarak kabul edilmiştir (20). Bu yöntem, "tarladan sofraya" tüm süreci kapsayarak, hem çevresel hem de sosyo-ekonomik etki analizlerini mümkün kılmaktadır. Türkiye'de de bu yöntemi kullanan çalışmalar artmakta olup, arpa üretiminde yaptığı LCA tabanlı analiz, hektar başına 1.9 ton CO_2 -eq emisyon gerçekleştiğini göstermiştir (21).

5. Durum Çalışmaları ve Sayısal Modeller

Orman yangınlarının tahıl tarımı üzerindeki dolaylı etkilerinin değerlendirilmesinde, yangın frekansı yüksek bölgelerde yapılan ampirik çalışmalar ve model tabanlı analizler büyük önem taşımaktadır. Bu perspektiften bakıldığında Avustralya, ABD'nin batı kıyıları ve Akdeniz kuşağı (özellikle Türkiye, Yunanistan ve İspanya), iklim krizine bağlı yangın artışlarının tarımsal sistemler üzerindeki etkilerinin gözlemlenebileceği doğal laboratuvarlar niteliğinde olduğu kaydedilmiştir (2, 22).

Avustralya'nın Yeni Güney Galler (NSW) bölgesinde yürütülen çok yıllık bir çalışmada, 2019–2021 yılları arasında gerçekleşen mega yangınların ardından, tahıl tarımı yapılan arazilerde hektar başına düşen karbon ayak izinde %18'lik bir artış saptanmıştır (23). Bu artışın temel nedenleri arasında, yangın sonrası bozulan toprak yapısının telafisi amacıyla uygulanan derin sürüm, yüksek dozlu azotlu gübreleme ve mekanik yabancı ot mücadelesi gösterilmiştir. Çalışmada, yangınların yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda enerji girdisi temelli çevresel yükleri artıran sosyo-teknik olaylar olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Benzer şekilde, ABD'nin Kaliforniya eyaletinde yürütülen bir modelleme çalışması, yangın sonrası arazilerde tahıl tarımına geçilmesinin, doğal karbon sekestrasyon kapasitesinin ortalama %22 oranında azaldığını ortaya koymuştur (24). Modelde, toprağın yangın sonrası organik karbon stokunun azalması ile birlikte yıllık CO₂ salımlarının 0,4–0,6 ton/ha arasında arttığı belirtilmiştir.

Türkiye özelinde, 2021 yılında yaşanan geniş çaplı orman yangınlarının ardından yapılan saha gözlemleri ve uzaktan algılama temelli analizler, yangına maruz kalan bölgelerin yakınındaki tarım arazilerinde biyofiziksel özelliklerde hızlı değişimler yaşandığını göstermektedir. Özkan vd. (2023) tarafından Antalya-Manavgat bölgesinde gerçekleştirilen çalışmada, yangından sonraki ilk üretim sezonunda buğday tarlalarında su ihtiyacının %18, gübre tüketiminin ise %23 oranında arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, Sentinel-2 uydu verileri kullanılarak yapılan NDVI analizleri, bitki örtüsü gelişiminin yangın öncesi döneme kıyasla %15 oranında zayıfladığını göstermiştir (5).

Tablo 1'de görüldüğü gibi bulgular, sayısal modelleme yaklaşımlarının, yangın sonrası dönemde karbon ayak izi artışlarının öngörülmesinde ve risk azaltıcı stratejilerin geliştirilmesinde önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Yaşam döngüsü analizi (LCA) ve emisyon faktörü temelli hesaplamalar, bölgesel ve ürün bazlı karbon salımlarını daha hassas biçimde değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (20, 26). Özellikle Türkiye gibi iklim değişikliğine duyarlı tarım bölgelerinde, bu tür modellerin yerli verilerle entegre edilmesinin, yangın sonrası tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kritik önemde olduğu düşünülmüştür.

Tablo 1: Yangın-Tahıl Karbon Etkisi

Ülke/Bölge	Çalışma Yılı	Karbon Ayak İzi Artışı	Karbon Sekestrasyon	CO ₂ Artışı (ton/ha/yıl)	Su Tüketimi Artışı (%)	Yöntem
Avusturalya	2019-2021	18	ölçüm/raporlama yapılmadı.	ölçüm/raporlama yapılmadı.	ölçüm/raporlama yapılmadı.	Saha Gözlemi ve Üretici Verisi
ABD (Kaliforniya)	2020-2021	ölçüm/raporlama yapılmadı.	22	0,5	ölçüm/raporlama yapılmadı.	Sayısal Modelleme (LCA)
Türkiye (Manavgat)	2021-2022	23	ölçüm/raporlama yapılmadı.	ölçüm/raporlama yapılmadı.	18	Uzaktan Algılama (NDVI) ve Anket

6. Sürdürülebilirlik Perspektifi ve Strateji Odaklı Yönetim Önerileri

Artan orman yangınları, yalnızca doğal ekosistemleri değil, bu alanlara bitişik tarım arazilerindeki üretim sistemlerini de doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Yangın sonrası bozulan toprak yapısı, azalan organik madde içeriği ve zayıflayan mikrobiyal faaliyetler, tahıl tarımında verim düşüklüğü ve artan girdi ihtiyacı ile sonuçlanmakta; bu da birim ürün başına düşen karbon ayak izini önemli ölçüde yükseltmektedir (4, 27). Bu gerçekten hareketle sürdürülebilir üretim sistemlerinin oluşturulması, hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir.

Yangın sonrası tahıl üretiminde karbon ayak izini azaltmaya yönelik başlıca stratejiler arasında koruyucu tarım uygulamaları (anız örtüsünün korunması, örtü bitkisi kullanımı), minimum toprak işleme, organik madde takviyesi ve biyочar uygulamaları yer almaktadır (28, 29). Bu

uygulamalar, hem toprağın karbon sekestrasyon kapasitesini artırmakta hem de mikrobiyal çeşitliliğin geri kazanımına katkı sağlamaktadır.

Ayrıca hassas tarım teknolojilerinin kullanımı, yangın sonrası dönemde kaynak kullanım verimliliğini artırarak gereksiz emisyonları azaltma potansiyeline sahiptir. Özellikle insansız hava araçları (İHA) ile gerçekleştirilen çok spektralli görüntüleme ve toprak nem haritalaması, problemlı bölgelerin uzaktan tanımlanmasına ve müdahalenin hedeflenmesine olanak tanımaktadır (30). Bu tür teknolojiler, üretim süreçlerinin izlenebilirliğini artırarak karbon yönetimini de güçlendirmektedir.

Bir diğer önemli sürdürülebilirlik aracı ise karbon dengeleme piyasalarıdır. Tarım sektöründe faaliyet gösteren üreticilerin, düşük emisyonlu uygulamaları benimsemeleri karşılığında karbon kredileri ile desteklenmesi, iklim dostu üretim modellerinin yaygınlaşmasına katkı sağlayabileceği düşünülmüştür. Türkiye’de bu alanda henüz yeterince gelişmiş bir uygulama ağı bulunmasa da, Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat çerçevesinde geliştirilen “Çiftlikten Çatala” stratejisi benzeri mekanizmaların entegre edilmesi mümkündür (31).

Stratejik bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, yangın sonrası arazi kullanım planlamasında tahıl tarımının karbon duyarlılığı temelinde yeniden ele alınması zorunluluk arz etmektedir. Yangına yatkın bölgelerde ürün deseninin bilimsel verilere dayalı biçimde yeniden yapılandırılması, düşük karbon yoğunluklu çeşitlerin ve üretim pratiklerinin teşvik edilmesi, sürdürülebilir tarım politikalarına anlamlı katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, afet sonrası destek mekanizmalarının yalnızca zarar telafisine odaklanmakla kalmayıp, aynı zamanda iklim dostu uygulamaları özendirmesi, uzun vadede dirençli ve adaptif tarım sistemlerinin inşasına imkân tanıyacaktır. Yangın–tarım–karbon etkileşimi, tek boyutlu değil, çok katmanlı bir çevresel yönetim meselesi olarak ele alınmalıdır. Bu sürecin sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yönetilebilmesi için disiplinlerarası ve veri temelli analizlerin yaygınlaştırılması, çiftçilerin eğitim yoluyla desteklenmesi, iklim uyumlu teknolojiye erişimin kolaylaştırılması ve politika bütünlüğünün sağlanmasının hayati derecede önemli olduğu düşünülmüştür.

Kaynaklar

1. Bowman DMJS, Williamson GJ, Abatzoglou JT, Kolden CA, Cochrane MA, Smith AMS. Vegetation fires in the Anthropocene. *Nat Rev Earth Environ*. 2020;1(10):500–15.
2. Santín C, Doerr SH, Preston CM, González-Rodríguez G. Pyrogenic organic matter production from wildfires: A missing sink in the global carbon cycle. *Glob Change Biol*. 2016;22(1):325–37.
3. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*. 2005;143(1):1–10.
4. Lal R. Soil organic matter and carbon sequestration in agroecosystems. *J Soil Water Conserv*. 2020;75(2):27A–32A.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [Internet]. 2019 [cited 2025 Jul 30]. Available from: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
6. Reid CE, Brauer M, Johnston FH, Jerrett M, Balmes JR, Elliott CT. Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. *Environ Health Perspect*. 2016;124(9):1334–43.
7. Doerr SH, Santín C. Global trends in wildfire and its impacts: Perceptions versus realities in a changing world. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2016;371(1696):20150345.
8. Şahin U, Yılmaz B. Yangın sonrası toprakta hidrofobiklik ve su geçirirliiliği üzerine etkileri. *Toprak ve Su Dergisi*. 2021;40(1):33–40.
9. Çetinkaya S, Aydın T, Yüceer Ç. Orman yangınlarının toprak organik karbon içeriği üzerine etkisi: Muğla örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 2022;10(2):95–104.
10. Van der Werf GR, Randerson JT, Giglio L, van Leeuwen TT, Chen Y, Rogers BM, et al. Global fire emissions estimates and trends for 1997–2021. *Biogeosciences Discuss*. 2022. (Epub ahead of print)
11. Kaya E, Karataş G. Karasal karbon döngüsü ve tarım ilişkisi: Yangın sonrası karbon ayak izi değerlendirmesi. *Tarım ve Çevre Araştırmaları Dergisi*. 2023;12(1):65–79.
12. Abatzoglou JT, Williams AP, Di Liberto T. Climate change is increasing the likelihood of extreme fire weather across western North America. *Environ Res Lett*. 2021;16(4):044036.
13. Mitter B, Pfaffenbichler N, Flavell R, Compant S, Antonielli L, Petric A, et al. A new approach to modify plant microbiomes and traits by introducing beneficial bacteria at flowering into progeny seeds. *Front Microbiol*. 2019;10:1368.
14. Demirbaş E, Gültekin M, Eren D. Toprak mikrobiyotasının tahıllarda verim ve kalite üzerindeki etkileri: Bir derleme. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 2022;28(3):401–12.
15. McCarthy N, Adams M, Zhou L. Post-fire land degradation and its impact on agricultural carbon intensity: A case from NSW wheat farms. *Environ Res Lett*. 2022;17(3):035009.
16. Özkan H, Erdem Y, Taşkın H. Yangın sonrası buğday tarımında sulama ve gübre kullanımının değişimi: Manavgat örneği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2023;36(1):21–32.
17. González-García S, Moreira MT, Feijoo G. Environmental performance of wheat cultivation in Northern Spain under different management practices. *J Clean Prod*. 2018;170:1148–57.

18. Certini G, Nocentini C, Knicker H, Arfaioli P, Rumpel C. Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests. *Geoderma*. 2011;167–168:148–55.
19. Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*. 2011;333(6045):988–93.
20. British Standards Institution. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services (PAS 2050:2011). London: BSI; 2013.
21. Oztürk H, Yüceer Ç. Arpa üretiminde yaşam döngüsü analizi yaklaşımıyla çevresel etki değerlendirmesi. *Bitkisel Üretim Araştırma Dergisi*. 2022;11(3):45–56.
22. Van der Werf GR, Randerson JT, Giglio L, van Leeuwen TT, Chen Y. Global fire emissions database (GFEDv4): Trends in biomass burning and CO₂ release, 2001–2021. *Earth Syst Sci Data*. 2022;14(3):1187–1205.
23. McCarthy N, Adams M, Zhou L. The indirect effects of wildfires on cropping systems in temperate climates. *Agric Syst*. 2022;196:103334.
24. Waring BG, Powers JS, Branco S. Fire-driven changes in soil carbon dynamics: Insights from empirical data and model synthesis. *Nat Clim Chang*. 2021;11(8):636–43.
25. Yılmaz B, Demirtaş ME. Sentinel-2 verileri ile yangın sonrası tarım alanlarında bitki örtüsü analizleri: Manavgat örneği. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*. 2023;11(1):55–67.
26. Nemecek T, Jungbluth N, i Canals LM, Schenck R. Environmental impacts of food consumption and nutrition: Where are we and what is next? *Int J Life Cycle Assess*. 2016;21(5):607–20.
27. Özkan H, Erdem Y, Taşkın H. Yangın sonrası buğday tarımında sulama ve gübre kullanımının değişimi: Manavgat örneği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2023;36(1):21–32.
28. Lehmann J, Joseph S. Biochar for environmental management: Science, technology and implementation. 2nd ed. London: Routledge; 2015.
29. Aktaş A, Yıldız S. Toprak verimliliğinin iyileştirilmesinde biyochar uygulamalarının yeri ve potansiyeli. *Toprak Bilimi Dergisi*. 2021;10(2):73–82.
30. Zhang C, Walter MT, Niyogi D. Integration of UAV-based monitoring into post-fire agricultural soil recovery modeling. *Comput Electron Agric*. 2022;202:107396.
31. Yılmaz E, Karagöz M. Yeşil Mutabakat sürecinde Türkiye tarımı: Karbon yönetimi ve fırsatlar. *Tarım Politikaları Dergisi*. 2023;5(1):45–60.