

Methods Used in Calculating Water Footprint in Agricultural Production

Burak Şen¹, Ayşe Topal², Ali Kaan Yetik¹

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Turkey

²Department of Business, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Nigde Ömer Halisdemir University, Nigde, Turkey

Abstract

The water footprint in agricultural production is a critical assessment tool for the sustainable management of water resources. By analyzing the amount of water used in agricultural production, the water footprint helps enhance both environmental sustainability and economic efficiency. Water management in the agricultural sector is becoming increasingly complex due to factors such as diminishing water resources, climate change, and a growing population. Water footprint calculation methods are based on a combination of direct measurements and computed values. Factors such as irrigation methods, crop types, soil structure, and climate conditions determine water requirements. These calculations provide agricultural enterprises with opportunities to develop sustainable water management strategies. In particular, wireless sensors and remote sensing technologies enable real-time monitoring of water use, contributing to more efficient water utilization. The effective implementation of water management policies helps maintain ecosystem balances and improve agricultural sustainability. The involvement of farmers, water managers, and local communities in these processes promotes water conservation. Educational programs and awareness campaigns can ensure the implementation of proper irrigation techniques, thereby optimizing agricultural water use. In conclusion, accurately calculating and managing the water footprint in agricultural production is of great importance for the conservation of water resources and ensuring sustainable agricultural development in the future. As water efficiency increases, environmental and economic benefits can be achieved, optimizing agricultural productivity.

Key Words: *Water footprint, Agriculture, Sustainability, Climate change, Economy*

Tarımsal Üretimde Su Ayak İzinin Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemler Özet

Tarımsal üretimde su ayak izi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için kritik bir değerlendirme aracıdır. Su ayak izi, tarımsal üretimde kullanılan su miktarını analiz ederek hem çevresel sürdürülebilirliği hem de ekonomik verimliliği artırmaya yardımcı olur. Tarım sektöründe su yönetimi, azalan su kaynakları, iklim değişikliği ve artan nüfus gibi faktörler nedeniyle giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Su ayak izi hesaplama yöntemleri, doğrudan ölçümler ve hesaplanmış değerlerin kombinasyonuna dayanır. Sulama yöntemleri, bitki türleri, toprak yapısı ve iklim koşulları gibi faktörler su ihtiyacını belirler. Bu hesaplamalar, tarımsal işletmelere sürdürülebilir su yönetimi stratejileri geliştirme fırsatı sunar. Özellikle kablosuz sensörler ve uzaktan algılama teknolojileri, su kullanımının gerçek zamanlı izlenmesini sağlayarak suyun daha verimli kullanılmasına katkıda bulunur. Su yönetimi politikalarının etkin uygulanması, ekosistem dengelerinin korunmasına ve tarımsal sürdürülebilirliğin artırılmasına yardımcı olur. Çiftçilerin, su yöneticilerinin ve yerel toplulukların bu süreçlere dahil edilmesi, su tasarrufunu teşvik eder. Eğitim programları ve farkındalık kampanyaları, doğru sulama tekniklerinin uygulanmasını sağlayarak tarımsal su kullanımını optimize etmeye yardımcı olabilir. Sonuç olarak, tarımsal üretimde su ayak izinin doğru hesaplanması ve yönetilmesi, gelecekte su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir tarımsal kalkınmanın sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Su verimliliği artırıldıkça, çevresel ve ekonomik faydalar sağlanarak tarımsal üretkenlik optimize edilebilir.

Anahtar Kelimeler: *Su ayak izi, Tarım, Sürdürülebilirlik, İklim değişikliği, Ekonomi*

Giriş

Su ayak izi, tarımsal üretimde kaynakların etkin kullanımını analiz etme amacıyla geliştirilen bir değerlendirme aracıdır. Bu kavram, tarımsal ürünlerin üretimi sürecinde kullanılan su miktarını belirleyerek, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından kritik bir öneme sahiptir. Tarım sektöründeki su yönetimi, su kaynaklarının giderek azalması, iklim değişikliği ve artan nüfus baskısıyla daha da karmaşık bir hale gelmiştir.



Dolayısıyla, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması, etkili su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olarak, tarımsal sürdürülebilirliği desteklemekte ve çevresel etkileri azaltmaktadır. (Batan, 2021; Tanrıverdi; Demirci, 2024)

Günümüzde, su ayak izi hesaplama yöntemleri, çeşitli çevresel, sosyo-ekonomik ve teknik faktörlere dayalı olarak şekillenmekte ve bu hesaplamalar, tarımsal işletmelere daha bilinçli ve sürdürülebilir su kullanımı sağlama imkânı sunmaktadır. Bu süreçte, su ihtiyacını belirleyen unsurlar arasında sulama yöntemleri, bitki türleri, toprak yapısı ve iklim koşulları gibi etmenler bulunmaktadır. Su ayak izinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler, genellikle doğrudan ölçümler ve hesaplanmış değerlerin kombinasyonlarını içermektedir. Ayrıca, bu yöntemler yerel su kaynaklarının durumu ve mevcut yönetim politikalarının etkinliği gibi unsurları da göz önünde bulundurarak, tarımdaki su kullanımını optimize etmeyi amaçlamaktadır. (Ediz, 2023; Aydın, 2023; Carfi, 2022; Bağmancı, 2022)

Tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi için önemli bir araç olmaktadır. Bu bağlamda, çiftçiler ve tarımsal işletmeler, su kaynaklarını verimli bir biçimde kullanarak hem doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunmakta hem de üretim süreçlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. İlgili yöntemlerin ve hesaplamaların etkin kullanımı, tarımsal üretimde su ayak izinin minimize edilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesi açısından belirleyici bir faktör teşkil etmektedir. Bu nedenle, su ayak izinin anlaşılması ve bu doğrultuda doğru yöntemlerin tercih edilmesi, gelecekte daha az su kullanarak daha fazla üretim yapma hedefinin gerçekleştirilebilmesi için elzemdir. (Çakmak & Torun, 2023; Batan, 2021; Yımam, 2023; Dikel ve Demirkale 2023; Demirci, 2024; Ağızan, 2024)

Materyal ve Yöntem

1. Su Ayak İzi Kavramı

Su ayak izi, bireylerin, toplulukların veya belirli faaliyetlerin su kullanımını ölçen bir kavramdır. Bu kavram, tarımsal üretimle ilişkilendirilmiş olduğunda, bir ürünün yetiştirilmesi, işlenmesi ve dağıtım süreçlerinde doğrudan veya dolaylı olarak harcanan su miktarını ifade eder. Su ayak izinin hesaplanması, tarım sektöründe su kaynaklarının yönetimi için kritik bir araç sağlayarak, suyun verimli ve sürdürülebilir bir biçimde kullanılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır. Bu ölçüm, hem yüzeysel hem de yer altı su kaynaklarının tüketimini kapsamaktadır ve suyun belirli bir ürün türü için gereksinimlerini belirlemek amacıyla kullanılabilir. (Demirci, 2024; Başkılıç, 2023; Karakayaci ve Tuyluoğlu, 2022; Dikel ve Demirkale, 2023; Turgut, 2024)

Su ayak izi kavramı, çeşitli bileşenlerden oluşarak karmaşık bir yapıya bürünmektedir. Bu bileşenler arasında, tarımda kullanılan sulama yöntemleri, iklim değişkenleri, toprak özellikleri ve bitki türleri gibi faktörler yer alır. Örneğin, sulama sistemleri, suyun etkin kullanımını etkileyen en önemli unsurlardan biri haline gelirken, iklim koşulları ve çeşitliliği, ürünlerin su ihtiyaçlarını belirlemede önemli bir rol oynar. Diğer yandan, toprak yapısının da su tutma kapasitesini doğrudan etkileyerek bitkilerin su alımını etkileyebileceği gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum, daha sürdürülebilir ve çevresel olarak uyumlu tarımsal uygulamaların benimsenmesi için bir temel oluşturur. (Başoğlu, 2024)

Su ayak izi, tarımsal üretim süreçlerinin su tüketimini nicel olarak değerlendirmeye yarayan önemli bir indikatördür. Bu kavram, yalnızca suyun fiziksel miktarını değil, aynı zamanda su kullanımıyla ilgili çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik açısından kritik olan faktörleri de kapsamaktadır. Tarım sektörü, su kaynaklarının etkin kullanımı açısından bu tür bir değerlendirmeyi benimseyerek, hem ekonomik verimliliği artırabilir hem de ekosistem dengesini sağlamak amacıyla gerekli adımları atabilir. Su ayak izinin doğru bir şekilde hesaplanması, su kaynaklarının üzerinde daha az baskı oluşturan tarımsal stratejilerin geliştirilmesinde hayati bir rol oynamaktadır. (Turgut, 2024; Eryılmaz, 2024; Körbalta, 2023; Ergani, 2024)

2. Tarımsal Üretimde Su Ayak İzinin Önemi

Tarımsal üretimde su ayak izinin önemi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Su ayak izi, bir ürünün üretim süreci boyunca doğrudan ve dolaylı olarak tükettiği su miktarını nicel olarak tanımlayan bir ölçüdür. Özellikle tarımsal üretimde, bu veri çiftçilere ve politika yapıcılara, suyun daha verimli kullanılmasının yanı sıra tedarik zincirindeki her aşamada su sürdürülebilirliğini artıracak stratejiler geliştirmeleri açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Bu bağlamda, su ayak izi analizi, iklim değişikliği gibi çevresel sorunların etkileri altında tarımsal faaliyetlerin su talebini tahmin etmek ve yönetmek için kullanılabilir. (Tanrıverdi; Demirci, 2024; Karaman, 2024; Başkılıç, 2023; Çetintaş, 2024)

Su ayak izinin tespiti, farklı tarım ürünlerinin su gereksinimlerinin anlaşılmasını sağlar; bu durum, su kısıtlılığının olduğu bölgelerde tarım uygulamalarının adaptasyonunda hayati bir araç haline gelir. Örneğin, su ayak izinin yüksek olduğu ürünlerin yerine, daha az su tüketen alternatif ürünlerin teşvik edilmesi gibi stratejiler, hem ekonomik hem de ekolojik sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir. Aynı zamanda, tüketici bilincinin arttığı günümüzde, su ayak izinin ölçülmesi, gıda ürünlerinin pazar değerini de etkileyen bir faktör haline gelmiştir. Bu gerekçelerle, su ayak izinin analizi yalnızca çevresel sürdürülebilirliği sağlamakla kalmaz, aynı zamanda toplum için ekonomik faydalar da oluşturur. (Turgut, 2024; Karlı & Artar, 2021; Karakayaci ve Tuyluoğlu, 2022; Karlı et al.; Boz ve Tunalioğlu, 2024)



Su ayak izinin belirlenmesi ve bu verilerin etkin kullanımı, tarımsal üretimin geleceği için kritik bir unsurdur. Daha etkin su yönetimi ve su tasarrufu uygulamaları, hem tarım sektörü için hem de genel çevre sağlığı için vazgeçilmezdir. Bu nedenle, su ayak izinin anlaşılması ve uygulanması, tarımsal üretimde su kaynaklarının korunmasına yönelik atılacak adımların temelini oluşturur ve böylece sürdürülebilir tarım uygulamalarının güçlendirilmesine zemin hazırlar. Bu süreç, yalnızca çevresel değil, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla birlikte ele alındığında, tarımsal üretimin bütünsel bir bakış açısıyla geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

3. Hesaplama Yöntemleri

Hesaplama yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin kapsamlı bir şekilde ölçülmesi, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi açısından son derece büyük bir önem taşımaktadır. Su ayak izi, belirli bir ürünün yaşam döngüsü boyunca tükettiği toplam su miktarını gösterir ve bu bağlamda çeşitlilik arz eden farklı hesaplama teknikleri kullanılmaktadır. Genel olarak, bu hesaplama yöntemleri, fizyolojik, ekolojik ve yönetsel faktörlere dayalı olarak geliştirilmiştir ve bu faktörler, tarımsal üretimdeki su kullanımını büyük ölçüde etkileyen unsurlardır. Bu yöntemler, ürün bazında, bölge bazında veya sistem bazında detaylı analizler yapılarak uygulanabilmektedir. Hesaplama yöntemleri, incelemeye tabi tutularak daha da kategorize edilebilir. Bu sayede, doğrudan yanıtlara odaklanan yaklaşımlar ile dolaylı olarak ele alınan ve daha geniş bir perspektiften bakan yöntemler şeklinde ayrıştırılmaktadır. Bu ayrım, su ayak izinin daha derinlemesine anlaşılmasını ve buna bağlı olarak daha etkili su yönetim stratejilerinin oluşturulması sürecinin mümkün hale gelmesini sağlamaktadır. Su ayak izinin belirlenmesi ve analizi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de tarımsal verimlilik açısından kritik bir rol oynamaktadır. (Turgut, 2024; Karlı & Artar, 2021)

Doğrudan hesaplama yöntemleri, belirli bir ürünün veya üretim sürecinin su tüketimini doğrudan ölçmeyi amaçlar ve bu yöntemler, suyun etkin bir şekilde nasıl kullanıldığını daha iyi kavramaya yardımcı olur. Bu hesaplamalar, bitkinin su ihtiyacını daha iyi anlamak için sulama uygulamaları ve doğal yağış gibi etkenlerin yanı sıra, toprak nem durumu, iklim koşulları ve sulama sisteminin verimliliği gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak gerçekleştirilmektedir. Bu tür hesaplamalar genellikle, tanımlanmış su kaynakları üzerinden ve gerçek zamanlı verilerle yürütülmektedir ve bu sayede sulama uygulamalarıyla ilgili hassas bilgiler elde edilir. Dolaylı hesaplama yöntemleri ise, belirli bir ürünün su ayak izini tahmin etmek amacıyla genel verilerden yararlanarak bir tahmin süreci yürütür. Bu yöntemler, ürünün tarımsal üretiminde kullanılan toplam su miktarını hesaplamak için farklı iklim koşulları, toprak yapısı ve bitki türlerine dayanan verileri kullanarak daha geniş ve kapsamlı bir çerçevede analiz imkanı sunar. Örneğin, FAO (Food ve Agriculture Organization) tarafından geliştirilen AquaCrop modeli, bitki su stresini değerlendirirken bu tür dolaylı yöntemlere güzel bir örnek olarak öne çıkmaktadır. AquaCrop, tarımda suyun verimli bir şekilde kullanılmasına dair önemli bilgiler sağlar. Su yönetimi alanında sağladığı faydalar ile tarımsal verimliliği artırmaya yardımcı olmaktadır; böylece hem üreticilerin hem de çevrenin yararına katkıda bulunur. (Karakayaci ve Tuyluoğlu, 2022; Karlı et al.; Boz ve Tunalioglu, 2024)

Aynı zamanda, modellerin ve hesaplama yöntemlerinin uygulanabilirliğini artırmak amacıyla, bazı yeni teknolojik gelişmelerin tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında kullanılmaya başlandığı gözlemlenmektedir. Özellikle uydu görüntüleme, hava durumu veri entegrasyonu ve sensör teknolojisi gibi güncel araçlar, hem doğrudan hem de dolaylı yöntemlerin etkinliğini artırmakta ve daha hassas ölçümler yapılmasını sağlamaktadır. Bu tür yenilikçi yöntemler, yalnızca su kaynaklarının daha etkili bir şekilde yönetilmesine değil, aynı zamanda sürdürülebilir tarımsal uygulamalar ve stratejilerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Dolayısıyla, hesaplama yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin daha iyi anlaşılmasını ve yönetilmesini sağlayan önemli ve esnek bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Su yönetimi, yalnızca tarım alanında değil, su kaynaklarının yeterliliği açısından da büyük önem taşımaktadır. Tüm bu teknolojik gelişmeler, tarımsal sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için bir temel oluşturmaktadır. Ayrıca, bu gelişmelerin yanı sıra, çiftçilerin eğitimine verilen önem de artmaktadır, çünkü bilinçli ve eğitilmiş çiftçiler, daha sürdürülebilir uygulamaları benimseyerek kaynakları daha etkin kullanabilir ve su ayak izini küçültmede etkin rol oynayabilirler. Bu bütünsel yaklaşım, su yönetiminin ve tarımsal verimliliğin iyileştirilmesi için kritik öneme sahiptir. (Turgut, 2024; Karlı & Artar, 2021; Karakayaci ve Tuyluoğlu, 2022; Karlı et al.; Boz ve Tunalioglu, 2024)

3.1. Doğrudan Ölçüm Yöntemleri

Doğrudan ölçüm yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında son derece önemli ve kritik bir yer tutmaktadır. Bu yöntemler, su kullanımını doğrudan ve belirli ölçüm teknikleriyle inceleyerek analiz eder ve tarımsal faaliyetlerin çevresel etkilerini daha net bir şekilde ve kesin bir biçimde ortaya koyar. Bu bağlamda, en yaygın doğrudan ölçüm sistemleri arasında, alan bazlı ölçümler ve bileşen bazlı analizlerle birlikte, farklı tarım uygulamalarının su tüketim profillerini güvenilir bir şekilde belirlemekte kullanılmaktadır. Bu ölçüm teknikleri, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından da büyük bir önem taşımaktadır. (Turgut, 2024; Karlı & Artar, 2021; Karakayaci ve Tuyluoğlu, 2022; Karlı et al.; Boz ve Tunalioglu, 2024)

Su tüketim ölçümleri genellikle, belirli bir zaman diliminde sulama miktarının, yağış etkisinin yanı sıra bu süreçte gerçekleşen buharlaşma kayıplarının da doğrudan kaydedilmesine dayanmaktadır. Bu tür ölçümler, çeşitli hassas sensörler ve gelişmiş cihazlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Örneğin, toprak nem sensörleri, suyun bitki kök bölgesine ulaşma oranını ölçerken, yağış ölçerler ise, yağış miktarını doğrudan kaydedebilir. Bu ölçüm süreçleri,



bir tarımsal üretim alanında büyük önem taşır. Ayrıca, bu tür doğrudan ölçüm yöntemleri, suyun etkin yönetimi açısından kritik öneme sahiptir; çünkü bu değerli bilgiler, tarım arazilerinin sulama verimliliğini artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır ve böylece sulama uygulamalarının optimize edilmesine yardımcı olur. Bu sayede, çiftçiler su kaynaklarını daha verimli kullanarak maliyetlerini azaltabilirler. (Yımam, 2023; Rustamov, 2023)

Bununla birlikte, doğrudan ölçüm yöntemlerinin dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yöntemler genellikle yüksek maliyetli ekipman ve uzmanlık gerektirirken, aynı zamanda uzun dönemli veri toplama ve analiz süreçlerini de zorlaştırabilir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin sağladığı kesin veriler, su ayak izinin değerlendirilmesinde büyük bir avantaj sunmakta ve tarımsal üretimde su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlama yolunda kritik bir adım teşkil etmektedir. Sonuç olarak, doğrudan ölçüm yöntemleri, tarımsal üretimde su yönetiminin optimize edilmesine yönelik faydalı bilgiler sağlarken, çevresel etkilerin minimize edilmesi konusunda da önemli bir rol oynamaktadır. (Yımam, 2023; Başakcı, 2023)

3.2. Dolaylı Ölçüm Yöntemleri

Dolaylı ölçüm yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında ve su tüketiminin yanı sıra çevresel etkilerin değerlendirilmesinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, doğrudan su kullanım verileri yerine, belirli varsayımlara ve gelişmiş modelleme tekniklerine dayanarak su ayak izini dolaylı yoldan tahmin etme sürecini içermektedir. Dolaylı ölçüm yöntemleri kapsamındaki en yaygın ve tercih edilen yaklaşım, su döngüsü ve bitkilere yönelik su tüketim kalıplarını belirleyen detaylı su hesaplama modelleridir. Bu karmaşık modeller, iklim, toprak özellikleri ve tarımsal uygulamalar gibi çeşitli etkenleri entegre ederek su ihtiyacını tahmin eder. Böylece, su ayak izinin hesaplanmasında kullanılan önemli bir veri kaynağı sağlar ve tarımda su kaynaklarının daha etkin bir şekilde yönetimine katkıda bulunur. Bu bağlamda, dolaylı ölçüm yöntemlerinin önemi, sadece tahmin yapma ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine de işaret etmektedir. (Demirci, 2024; Turgut, 2024; Sak, 2024; Ağızan, 2024)

Bunların yanı sıra, dolaylı ölçüm teknikleri, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi teknolojilerin entegrasyonu ile zenginleştirilmektedir. Uzaktan algılama, tarımsal alanların büyüklüğünden su varlığına; bitki sağlığından toprak nemine kadar pek çok parametreyi gözlemleme imkanı sunar. Bu tür veriler, büyük alanların kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyarak, su ayak izinin belirlenmesinde kritik bir temel oluşturur. Ayrıca, bu yöntemler, su kaynaklarının daha verimli bir şekilde yönetilebilmesi için gerekli stratejilerin geliştirilmesine de katkıda bulunmaktadır. (Sezer ve Önder, 2024; Akpınar, 2022)

Bununla beraber, dolaylı ölçüm yöntemlerinin uygulanması, bazı sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. Modelleme ve varsayımlar, gerçek dünyadaki karmaşık etkileşimleri yeterince temsil edemeyebilir; bu durum, hesaplamaların doğruluğunu etkileyebilir. Bu nedenle, dolaylı ölçüm sonuçlarının doğrulanması, gerektiğinde doğrudan ölçümlerle desteklenerek sağlanması önemlidir. Bu bağlamda, dolaylı ölçüm yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması sürecinde önemli bir yenilik sağlarken, aynı zamanda dikkatli bir uygulama ve değerlendirme gerektirmektedir. (Karakoç, 2022; Sak, 2024)

3.3. Farklı Modelleme Yöntemleri ve Teknikleri

Modelleme yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında kritik bir rol oynamaktadır ve bu süreçte önemli bir yer tutar. Bu yöntemler, özellikle su tüketim miktarının ve niteliğinin belirlenmesinde çeşitli modellerin entegrasyonunu gerektirirken, tarımsal süreçlerin dinamik yapısını anlamak için faydalı bir araç sunar. Su ayak izi hesaplamasında kullanılan başlıca modelleme yaklaşımlarından biri, su tüketiminin mekânsal ve zamansal verilerini analiz eden hidrolojik modellerdir. Bu modeller, topografya, yağış, buharlaşma ve tarımsal faaliyetlerin etkilerinin bir arada değerlendirilmesini sağlayarak daha hassas ve güvenilir tahminler yapılmasını mümkün kılar. Bu bağlamda, su ayak izinin belirlenmesi yalnızca tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda çevresel etkilerini de daha iyi anlamamıza yardımcı olur. Dolayısıyla, bu modelleme yöntemleri, su kaynaklarının yönetimi ve korunması açısından son derece önemlidir. (Demirci, 2024; Adıyan, 2024; İpekçi, 2023)

Bir diğer önemli yöntem, üretim sistemlerini simüle etmeye yönelik stokastik modellemelerdir. Bu yaklaşımlar, belirsizliklerin ve değişken koşulların su tüketimi üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde nicel olarak değerlendirme imkânı sunar. Zira, tarımsal üretimde iklim değişikliği gibi karmaşık dışsal faktörlerin yanı sıra, sulama yöntemlerinin etkinliği de su ayak izini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, bu modelleme yöntemleri, hem mevcut durumu detaylı bir şekilde analiz etmekte hem de gelecekteki olası senaryoları daha etkili bir şekilde değerlendirmekte ve sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde büyük bir katkı sağlamaktadır. Bu süreç, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir ve aynı zamanda su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik öneriler sunmaktadır. (Sezer ve Önder, 2024)

Ayrıca, hayvan üretimi ve bitkisel üretim arasındaki su kullanım ilişkisini daha derinlemesine anlamak için entegre modelleme teknikleri de giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu yenilikçi yöntemler, farklı bitki türlerinin ve hayvan beslenme sistemlerinin su gereksinimlerini sistemli bir şekilde karşılaştırarak, suyun etkin ve verimli kullanımını optimize etmeye olanak tanır. Sonuç olarak, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında modelleme yöntemleri, yalnızca su tüketiminin net bir fotoğrafını sunmakla kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesinde kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda,



tarımsal üretimin çevresel etkilerini en aza indirmek için doğru stratejilerin belirlenmesi, bu modelleme süreçleri aracılığıyla daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkündür. Bu tür modeller, ilerleyici yöntemleri kullanarak, su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunmakta ve tarımsal üretimde kaynak yönetimini daha sürdürülebilir hale getirmektedir. (Demirci, 2024)

3.4. Anket ve Anket Tabanlı Yöntemler

Anket ve anket tabanlı yöntemler, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu araştırma yöntemleri, özellikle çiftçiler, su yönetimi uzmanları ve tarım ekonomistleri tarafından etkili veri toplama aracı olarak sıklıkla kullanılmakta, su tüketimi ve kullanım alışkanlıklarına dair ayrıntılı ve güvenilir bilgiler sunmaktadır. Anketler, çeşitli soru türleri aracılığıyla, çiftçilerin su kullanımındaki alışkanlıklarını, su kaynaklarına erişim durumlarını ve sulama yöntemlerini daha iyi anlamakta yardımcı olur. Bu tür veriler, su ayak izinin hesaplanmasında temel bir girdi olarak kabul edilmektedir; zira su ayak izi, tarımsal ürünün üretimi sırasında kullanılan toplam su miktarını, bu suyun kaynağına göre ayrıştırarak ortaya koymayı hedefler. Dolayısıyla, bu veriler, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve su kaynaklarının daha verimli yönetimi için son derece önemlidir. Elde edilen bilgiler, aynı zamanda su yönetiminde stratejik kararların alınmasına da katkıda bulunmaktadır. (Çetintaş, 2024; Sak, 2024; Adıyan, 2024; İşler, 2022; Özyiğit)

Anket tabanlı yöntemlerin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için öncelikle dikkatli, titiz ve özenli bir anket tasarımı gereklidir. Anketlerin geçerliliği ve güvenilirliği, kullanılan soru tipleri, soru cümleleri yapılarına ve anketin genel akışına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Açık uçlu sorular, çiftçilerin su kullanımı ile ilgili detaylı ve kapsamlı bilgi vermesini sağlarken, kapalı uçlu sorular ise belirli kategorilerde verilerin hızlı, kolay ve sistematik bir şekilde toplanmasına olanak tanır. Anket uygulamalarında aynı zamanda, örneklem büyüklüğünün dikkatlice belirlenmesi ve hedef kitle ile ilgili demografik bilgilerin toplanması, elde edilen verilerin temsil yeteneği açısından son derece ve kritik derecede önemlidir. Bu aşamada, anketin uygulanacağı coğrafi bölgeyi, tarımsal üretim türlerini ve çiftçilerin sosyo-ekonomik durumlarını göz önünde bulundurmak, sonuçlanacak verilerin daha isabetli bir şekilde yorumlanmasına zemin hazırlayacaktır. Ayrıca, katılımcıların anket sürecindeki rahatlıkları ve motivasyonları da, elde edilen verilerin kalitesini etkileyen önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, anketin uygulanması esnasında dikkatli bir iletişim kurmak ve katılımcılara anketin önemi ile ilgili bilgi vermek, verilerin daha güvenilir hale gelmesini sağlayabilir. (İlhan ve Deniz, 2021; İlhan ve Deniz, 2021; Öntaş et al., 2024)

Anket ve anket tabanlı yöntemler, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasının yanı sıra, su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde de faydalı bilgiler sunmaktadır. Bu tür verilerin analizi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gereksinim duyulan stratejilerin oluşturulmasına ve uygulanmasına katkıda bulunmakta, aynı zamanda tarımsal üretimin çevresel etkilerini değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Uygulayıcılar, anket verilerinin mevcut tarımsal pratiklerde nasıl kullanılacağını anlamak suretiyle, su tasarrufunu teşvik eden ve daha verimli su yönetimini sağlayan politikalar geliştirebilirler. Bu bağlamda, anketlerin etkinliği yalnızca veri toplamayla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda karar alma süreçlerinde de önemli bir araç haline gelmektedir.

Bulgular ve Tartışma

4. Yöntemlerin Etkinliği

4.1. Doğrudan Ölçüm Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Doğrudan ölçüm yöntemleri, su ayak izinin hesaplanmasında çeşitli avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır. Bu yöntemler, tarımsal üretimde su kullanımını direkt olarak ölçerek, su tüketimi ile ilgili daha kesin veriler sağlar. Gerçek zamanlı veri toplamayı mümkün kılması, tarım uygulamalarının daha iyi yönetilmesine yardımcı olur. Örneğin, bu yöntemler ile toprağın nem içeriği, sulama miktarları ve bitki su tüketimi gibi parametreler doğrudan izlenebilir. Böylelikle, kaydedilen verilerin doğruluğu, uygulanan stratejilerin etkinliğini artırabilir ve çiftçilerin kayıplarını minimize etmelerine olanak tanır.

Ancak doğrudan ölçüm yöntemlerinin, sınırlı bir uygulama alanı ve belirli dezavantajları bulunmaktadır. Öncelikle, bu yöntemlerin uygulanması maliyetli olabilir; gerekli ekipmanların temini ve kurulumu ile birlikte sürekli bakım ve kalibrasyon gerektirmeleri, ekonomik olarak sürdürülebilirliği zorlaştırabilir. Ayrıca, bu yöntemler belirli bir alan veya belirli koşullar altında uygulanabilir ve bu durum, genel geçer sonuçlar elde edilmesini engelleyebilir. Örneğin, toprak tipleri, iklim koşulları veya bitki çeşitliliği gibi değişkenler, ölçüm sonuçlarını etkileyebilir. Sonuç olarak, doğrudan ölçüm yöntemlerinin elde ettiği veriler çoğu kez belirli durumlara özgü nitelikte olabilmektedir.

Bu yöntemlerin sağladığı verilerin yanı sıra, bu verilerin analizi ve yorumlanması süreci de karmaşık bir boyut taşımaktadır. Dört mevsim ve farklı iklim koşullarında gerçekleştirilen ölçümler, değişkenler dikkate alınmadan genel ilişkilere ulaşımın önünde engel teşkil edebilir. Dolayısıyla, doğrudan ölçüm yöntemlerinin elde ettiği bulguların, bütünsel bir anlayış için dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, doğrudan ölçüm yöntemleri, hem hesaplamada sağladığı kesinlik hem de belirli dezavantajları ile birlikte, tarımsal üretimde su ayak izinin değerlendirilmesi konusunda önemli bir yere sahiptir.



4.2. Dolaylı Ölçüm Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Dolaylı ölçüm yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında oldukça önemli roller üstlenmektedir. Bu yöntemlerin temel avantajları arasında, zaman ve kaynak açısından sağladıkları verimlilik öne çıkmaktadır. Geleneksel ölçüm tekniklerinin aksine, dolaylı ölçüm yöntemleri, bitkisel su kullanımı ve toprak nemi gibi unsurları uzaktan algılama veya modelleme gibi modern teknolojilerle birleştirilerek etkili sonuçlar elde edilmesini sağlar. Örneğin, uydu görüntüleri ve lokal meteorolojik tahmin modelleri, tarımsal alanlardaki su gerekliliğini belirlemek için geniş ve kapsayıcı veriler sunar; bu durum, hem maliyetlerin düşürülmesine hem de tarımsal verimliliğin artırılmasına katkıda bulunur.

Öte yandan, dolaylı ölçüm yöntemlerinin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu yöntemlerin doğruluğu, ölçüm parametrelerine ve kullanılan teknolojik altyapıya bağlı olarak değişkenlik gösterebilir; bu durum, sonuçların güvenilirliğini sorgulatabilir. Ayrıca, bazı dolaylı ölçüm teknikleri, karmaşık algoritmalar ve modelleme süreçleri gerektirdiğinden, uzmanlaşmış bilgi birikimi ve yeterli kaynakları talep edebilir. Söz konusu yöntemlerin uygulanması sürecinde, belirli verilerin kaynaktan alınması ve uygun kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesi gerekliliği, uygulayıcılar için ek zorluklar oluşturmaktadır. Dolayısıyla, bu yöntemlerin pratikteki kullanımı, bazı durumlarda ek maliyet ve iş gücü gereksinimleri doğurabilir.

Sonuç olarak, dolaylı ölçüm yöntemleri, su ayak izinin belirlenmesi sürecinde hem avantajlar hem de dezavantajlar içermektedir. Uygulayıcıların, bu yöntemlerin etkinliğini artırmak için sağlanan olanaklar ve karşılaşılabilecek zorlukları dikkatlice değerlendirmeleri gerekmektedir. Böylece, hem tarımsal üretimde su yönetiminin iyileştirilmesine hem de sürdürülebilir kaynak kullanımı hedeflerine ulaşılmasına hizmet edecek çözümler geliştirilebilir. Bu dengeli yaklaşım, dolaylı ölçüm yöntemlerinin potansiyelinden en iyi şekilde yararlanmayı mümkün kılacaktır.

4.3. Modelleme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Modelleme yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, karmaşık ekosistem süreçlerini anlamada ve su kullanımının verimliliğini artırma çabalarında kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin uygulanması, hem avantajlar hem de dezavantajlar içermektedir. Avantajları arasında, tarımsal faaliyetlerin su kaynakları üzerindeki etkilerini tahmin etme yeteneği ve karar verme süreçlerini destekleme potansiyeli bulunmaktadır. Modelleme, çeşitli senaryoların simülasyonuna olanak tanıyarak, farklı su yönetimi stratejilerinin potansiyel etkilerini analiz etmeye yardımcı olur. Ayrıca, sulama tekniklerinin ve tarım politikalarının optimize edilmesini sağlayarak, su tasarrufu ve sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlar.

Bununla birlikte, modelleme yöntemleri belirli dezavantajlarla da yüz yüze kalmaktadır. Bu dezavantajlar arasında, modellerin herhangi bir gerçekliği tam olarak yansıtmaya kapasitesinin sınırlı olması ve veri gereksinimlerinin yüksekliği yer almaktadır. Doğru ve güvenilir çıktılar elde edebilmek için, detaylı ve kapsamlı verilere ihtiyaç vardır; bu, çoğu zaman zorlu ve maliyetli olabilir. Ayrıca, modellerin karmaşıklığı, kullanıcıların onları etkin bir biçimde değerlendirme ve uygulama yeteneklerini sınırlayabilir. Bu durum, yanlış kararların alınmasına ve kaynakların yanlış yönetilmesine neden olabilecek bir risk taşımaktadır.

Sonuç olarak, modelleme yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında avantajlı bir araç sunarken, kendi bünyesinde çeşitli zorluklar da barındırmaktadır. Tarım sektörünün, su kullanımına ilişkin doğru verilere dayanan modeller geliştirilmesi ve uygulaması, su kaynaklarının yönetiminin ve korunmasının etkinliğini artırma yanında, tarımsal sürdürülebilirliği sağlamada kritik bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, modelleme yöntemlerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve sürekli olarak güncellenmesi, su ayak izinin hesaplanmasında başarılı bir yaklaşım geliştirilmesi için elzemdir.

4.4. Anket Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Anket yöntemleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında geniş bir uygulama yelpazesine sahip olup, çeşitli avantajlar ve dezavantajlar içermektedir. Bu yöntemlerin en belirgin avantajlarından biri, büyük ve çeşitli bir nüfusa ulaşma yeteneği olmasıdır. Bu sayede, araştırmacılar çok sayıda veri toplayarak genel eğilimler ve kalıplar oluşturabilirler. Ayrıca, anketler, katılımcıların kendi görüşlerini ve deneyimlerini doğrudan ifade etmelerine olanak tanırken, birçok durum ve koşulu kapsayacak şekilde tasarlanabilir. Örnekleme çerçevesinin genişliği, tarımsal su kullanımında yer alan farklı faktörlerin daha iyi analiz edilmesine yardımcı olabilmektedir. Bu bağlamda, anketlerin uygulanabilirliği, zaman ve maliyet açısından da önemli bir avantaj sunmaktadır; çünkü diğer veri toplama yöntemlerine kıyasla, akıllıca tasarlanmış bir anket, hızlıca geniş bir veri seti toplayabilme potansiyeline sahiptir.

Ancak, anket yöntemlerinin dezavantajları da göz ardı edilmemelidir. Öncelikle, anketlerin yanıtlayıcıları üzerinde etkili olabilmesi için dikkatli bir biçimde hazırlanması gerekir. Eğer anket soruları belirsiz veya yanıltıcı ise, bu durum toplanan verinin güvenilirliğini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, anketlerin yanıt oranları, çeşitli faktörlerden etkilenebilir, bu da örneklemin temsil ediciliğini sorgulamak zorunda bırakır. Katılımcıların, su ayak izi gibi karmaşık bir konudaki bilgi seviyeleri değişkenlik gösterebileceği için, anketler zaman zaman yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu nedenle, anketler ile elde edilen verilerin titizlikle analiz edilmesi ve diğer veri toplama yöntemleriyle birleştirilmesi, elde edilen bulguların doğruluğunu artırmak açısından kritik öneme sahiptir. Sonuç



olarak, anket yöntemleri, su ayak izinin hesaplanmasında değerli bir araç olarak öne çıkarken, dikkatli bir planlama ve uygulama gerektirmektedir.

5. Uygulama Alanları

Uygulama alanları, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması süreçlerinin pratikte nasıl gerçekleştirildiğine dair geniş bir perspektif sunar. Su ayak izi, tarımsal ürünlerin yaşam döngüsü boyunca tüketilen su miktarını belirleyen önemli bir değerlendirme aracıdır. Bu hesaplamalar, su kaynaklarının verimli kullanımı ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle, sulama yöntemlerinin etkinliği, ürün seçiminde suya dayalı karar verme süreçleri ve iklim değişikliğinin etkilerine karşı adaptasyon stratejileri üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. (Karaman, 2024; Kahriman, 2023; Dindar, 2021) Su ayak izinin hesaplanması, farklı tarım uygulama alanlarında çeşitli biçimlerde yer bulmaktadır. Örneğin, sulama yönetimi, konvansiyonel ve organik tarım uygulamalarında su kullanımını optimize ederek, su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına imkan tanır. Ayrıca, ürün çeşitliliği ve yetiştirme yöntemleri, su ayak izinin minimize edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Tarım işletmeleri, ürün bazında su tüketimlerini izleyerek, en az su kullanımı gerektiren türleri yetiştirmeye yönelmektedirler. Bunun yanı sıra, su ayak izi hesaplamaları sayesinde, tarımsal üretim süreçleri sürekli olarak değerlendirilmekte ve iyileştirme fırsatları ortaya konulabilmektedir. (Bulut ve Canbaz, 2022; Yımam, 2023; Muratoğlu, 2024; Demirel, 2023; Ceylan, 2024; Kalender, 2023)

Diğer yandan, su ayak izi verileri, tarımsal üretimden elde edilen ekonomik getiri ile ilişkilendirilerek, çiftçilere ekonomik sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Çiftçiler, su ayak izini göz önünde bulundurarak, girdi maliyetlerini azaltma ve verimliliği artırma stratejileri geliştirebilirler. Ayrıca, bu ölçümler, gıda güvenliği ve tarımsal politikalara yönelik kamu politikalarının oluşturulmasında da önemli verilere zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması, hem çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında hem de ekonomik kazançların artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. (Demirci, 2024; Turgut, 2024; Sak, 2024; Çakır et al.2022; Sezer ve Önder, 2024; Çetintaş, 2024; Karaman, 2024)

5.1. Tarım Sektöründe Uygulama ve Geliştirilen Yeni Yöntemler

Tarım sektörü, su ayak izinin hesaplanması uygulamalı yöntemlerinin gelişimine son derece açıktır. Su ayak izi, belirli bir ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca toplam su tüketimini belirlemeye yönelik bir kavramdır ve bu, hem üretim süreçlerinin etkinliğini artırmak hem de çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tarımsal üretim süreçleri, su kaynaklarının verimli, etkili ve en önemlisi sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Uygulama aşamasında, çeşitli hesaplama yöntemleri ve araçları, su ayak izini belirlemek için kullanılmakta ve bu sayede hem su kullanımının optimize edilmesi sağlanmakta hem de çevresel etki analizleri daha doğru bir şekilde yapılmaktadır. Su ayak izinin hesaplanması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesine ve çevresel bilincin artırılmasına yardımcı olurken, tarımsal üretim süreçlerinin genel olarak daha sürdürülebilir hale gelmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, tarım sektöründe su ayak izinin doğru bir şekilde hesaplanması, gelecekteki su yönetimi stratejileri için oldukça önemli bir adım olmaktadır. (Karaman, 2024; Turgut, 2024; Karlı & Artar, 2021; Karlı et al.; İşler, 2022; Sak, 2024)

Tarım sektöründe uygulanan yöntemler arasında en yaygın olanları, su ayak izinin hesaplanmasında kullanılan çeşitli sistem dinamik modelleridir. Bu dinamik modeller, tarımsal üretim süreçlerini simüle ederek, su kullanımının farklı aşamalarını detaylı bir şekilde izleme ve analiz etme imkanı sunar. Örneğin, sulama sistemleri, toprak özellikleri, iklim koşulları ve bitki türleri gibi çeşitli faktörler, su ayak izinin hesaplanmasında kritik ve önemli bir role sahiptir. Bu faktörlerin her biri, su kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, LCA (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) gibi yöntemler, ürünlerin çevresel etkilerini değerlendirirken, su ayak izinin tarımsal üretim döngüsündeki yerini daha kapsamlı ve derinlemesine anlamak için önemli bir çerçeve sunar. Bu çerçeve, çiftçilerin daha bilinçli ve sürdürülebilir su yönetimi stratejileri geliştirmelerine yardımcı olur ve böylece kaynakların daha etkin kullanımını teşvik eder. Çiftçiler, bu tür yöntemleri kullanarak, hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha faydalı üretim metotları belirleyebilirler. (Karakoç, 2022; Sezer ve Önder, 2024; Özbek, 2023; Yavuz, 2021)

İleri düzeyde uygulamalar, su ayak izinin hesaplanmasında kablosuz sensörler ve uzaktan algılama teknolojilerinin entegrasyonunu içermektedir. Bu modern teknolojiler, su kullanımının gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanıyarak tarım alanlarındaki su stresini daha doğru bir şekilde belirlemeye ve suyun verimliliğini artırmaya yönelik anlık veriler sunmaktadır. Bu sayede, tarım işletmeleri su kaynaklarını daha etkin bir biçimde kullanma fırsatına sahip olmanın yanı sıra, kaynakları daha verimli değerlendirmenin yollarını keşfetmekte ve uygulamaktadır. Tüm bu yöntem ve araçlar, tarım sektöründe su ayak izinin etkin bir şekilde hesaplanmasını sağlarken, aynı zamanda su kaynaklarının korunmasına yönelik önemli bir katkı sunarak gelecekteki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada yardımcı olmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir tarımsal uygulamaların teşvik edilmesine ve bu uygulamaların yaygınlaşmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla, tarım sektöründeki uygulamalar, su yönetimi ile çevresel sürdürülebilirliğin entegrasyonunu teşvik eden birçok fırsatı barındırmaktadır ve tüm bu süreçler, daha geniş bir perspektifte tarımsal üretkenliğin artırılmasına yardımcı



olmaktadır. Su verimliliği artırıldıkça, hem çevre hem de ekonomik açıdan önemli kazanımlar elde edilmesi mümkün olacaktır, bu da çiftçilerin ve toplumun genel yararına hizmet edecek, sürdürülebilir bir tarımsal kalkınmanın önünü açacaktır. (Çakır et al.2022; Yılmaz, 2022; Hakkı et al.2022)

5.2. Su Yönetimi Politikaları

Su yönetimi politikaları, sürdürülebilir tarımsal üretim ve su kaynaklarının etkin kullanımı için hayati öneme sahiptir. Bu politikalar, sulama sistemlerinin geliştirilmesi, su tasarrufu yöntemlerinin teşvik edilmesi ve su kalitesinin korunması gibi çeşitli boyutları içermektedir. Tarımsal üretim süreçlerinde suyun değerlendirilmesi, ürün verimliliğini artırmanın yanı sıra, potansiyel su kaynaklarını koruma açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Su yönetimi politikaları, yerel ve ulusal düzeyde gerçekleştirilen planlama ve uygulamalarla şekillenirken, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımlar arasında bir denge sağlanmalıdır.

Su yönetiminde en iyi uygulamaların benimsenmesi, paydaşların etkin bir şekilde katılımını gerektirir. Bu bağlamda, çiftçiler, su yöneticileri ve yerel topluluklar polişe oluşturma süreçlerine dahil edilmelidir. Eğitim programları ve farkındalık artırıcı kampanyalar, su tasarrufunun önemini vurgulamakla kalmayıp, doğru sulama tekniklerinin uygulanmasını teşvik edebilir. Ayrıca, modern teknolojilerin entegrasyonu, veri toplama ve analiz yöntemlerinin geliştirilmesi, daha bilinçli karar alma süreçlerini destekleyerek, su kaynaklarının yönetiminde önemli bir yenilikçi unsurdur. Özellikle uzaktan algılama ve veri analitiği, su tüketimini izleme ve yönetiminde önemli olanaklar sunmaktadır.

Su yönetimi politikalarının etkili bir biçimde uygulanması, sadece tarımsal üretimde su ayak izinin azaltılmasına değil, aynı zamanda ekosistem dengelerinin korunmasına da katkı sağlar. Ekonomik faktörlerin, iklim değişikliğinin ve artan nüfusun beraberinde getirdiği su stresi, bu politikaların geliştirilmesi için bir aciliyet yaratmaktadır. Uygulayıcıların, bu karmaşık dinamikleri göz önünde bulundurarak, hem yerel çözümleri hem de geniş ölçekli stratejileri dikkate alması gerekmektedir. Sonuç olarak, su yönetimi politikaları, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak adına kritik bir çerçeve sunmakta ve gelecekte su kaynaklarının korunması için belirleyici bir rol oynamaktadır.

5.3. Çevresel Etki Değerlendirmeleri Hakkında Ayrıntılı Bilgiler ve Analizler

Çevresel etki değerlendirmeleri, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu değerlendirmelerin temel amacı, tarımsal faaliyetlerin çevre üzerindeki potansiyel etkilerini belirlemek ve bu etkileri minimize etmek için stratejiler geliştirmektir. Su kaynakları, tarımsal üretim süreçlerinde hayati öneme sahip olduğundan, su ayak izi analizi, bu kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu süreçler, çeşitli aşamalarda çevresel etki değerlendirmelerinin entegrasyonunu gerektirmektedir. Bu bağlamda, öncelikle su tüketiminin izlenmesi, tarımsal üretim sistemlerindeki su kullanım verimliliğine dair bilgiler sağlamaktadır.

Çevresel etki değerlendirmeleri, hem nicel hem de nitel verilerin sistematik bir şekilde toplanmasını ve analiz edilmesini içermektedir. Bu değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi, çeşitli yöntemlerin ve yaklaşımların entegrasyonunu gerektirmektedir. Örneğin, su ayak izi hesaplama yöntemleri, yaşam döngüsü analizi (LCA) ile birlikte kullanılabilen, böylece tarımsal ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca su kullanımını değerlendirebilmektedir. Ayrıca, bu süreç içinde ekosistem hizmetleri, toprak sağlığı ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi faktörlerin dikkate alınması, çevresel etkilerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. (Demirci, 2024; Başkılıç, 2023; Duru & Koç, 2021; Sabır et al.2023; Koç et al.2022; Karadağ, 2022)

Bu tür kapsamlı değerlendirmeler, tarımsal üretimde sürdürülebilirlik uygulamalarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Dinamik bir veri toplama ve analiz süreci, tarım sektörünün su yönetimi konusunda daha bilinçli kararlar almasına rehberlik etmektedir. Çevresel etki değerlendirmeleri, sadece su kaynaklarının korunmasında değil, aynı zamanda tarımsal üretim süreçlerinin iklim değişikliğiyle adaptasyonunda da önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu sayede, tarımsal üretim sistemleri hem verimlilik hem de çevre koruma açısından uyumlu hale getirilmektedir. Dolayısıyla, çevresel etki değerlendirmeleri, su ayak izinin doğru hesaplanmasının yanı sıra, tarımsal sürekliliğin sağlanmasında da zaruri bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

5.4. Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları

Sürdürülebilir tarım uygulamaları, tarımsal üretimin çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla geliştirilmiş yöntem ve yaklaşımlardır. Bu uygulamalar, su kaynaklarının verimli kullanılması, toprak kalitesinin korunması, biyoçeşitliliğin artırılması ve tarımsal ürünlerin sistematik bir şekilde yönetilmesi üzerine odaklanmaktadır. Su ayak izinin azaltılması, bu uygulamaların merkezinde yer alırken, tarımsal üretimde su tasarrufu sağlayan tekniklerin ve stratejilerin entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Örneğin, damla sulama sistemleri gibi hedefe yönelik sulama yöntemleri, su tüketimini minimize ederken, bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyu doğrudan kök bölgesine ulaştırarak verimliliği artırmaktadır.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları ayrıca, entegre mücadele yöntemleri kullanarak zararlılarla olan mücadelede kimyasal pestisitlerin kullanımını azaltmayı amaçlamaktadır. Doğal düşmanlar ile birlikte çalışarak ekosistem dengesini korumak, çevresel etkileri en aza indirmek ve insan sağlığını korumak yönünde önemli bir adım oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, organik tarım uygulamaları, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını azaltarak,



gıda güvenliğine katkı sağlarken, doğanın döngüsel yapısına saygı gösterir. Biyodiverse tarım sistemlerinin oluşturulması, yerel bitki türlerinin teşvik edilmesi ve agroekolojik prensiplerin benimsenmesi de biyoçeşitliliği artırarak ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunur.

Sonuç olarak, sürdürülebilir tarım uygulamaları, su ayak izinin hesaplanması ve yönetilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, tarımsal üretim sistemlerinde çevresel ve kaynakların yönetimi açısından entegre bir yaklaşım benimsemek, tarımsal üretkenliği artırarak hem çevre hem de toplum açısından olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilir tarım uygulamaları, yalnızca mevcut kaynakların etkili kullanımıyla sınırlı kalmayıp, gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını da gözetten bir tarım anlayışını temsil etmektedir. Bu anlayış, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde tarım politikalarının geliştirilmesinde önemli bir etkidir.

6. Uluslararası Uygulama Örnekleri

Uluslararası düzeyde, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında uygulanan çeşitli yöntemler ve örnekler, sektördeki sürdürülebilirlik standartlarının yükseltilmesi açısından önemli bir yere sahiptir. Birçok ülke, su kaynaklarının yönetimini iyileştirmek ve tarımsal üretkenliğin artışı sağlamak amacıyla su ayak izi hesaplama yöntemlerini benimsemektedir. Bu kapsamda, Hollanda, su yönetimi konusundaki yenilikçi yaklaşımlarıyla dikkat çekmektedir. Hollanda hükümeti, su ayak izinin azaltılmasına yönelik güçlendirilmiş yasa ve düzenlemeleri yürürlüğe koyarak, hem yerel hem de uluslararası düzeyde bu konuda örnek oluşturmaktadır. Ülke genelindeki tarım işletmeleri, su tüketimini izlemek ve optimize etmek için akıllı sulama sistemleri ve veri analitiği yöntemlerini kullanarak, su ayak izlerini etkili bir biçimde azaltma çabası içindedir. (Kaya ve Mazlum, 2025; Karakoç, 2022; Çakır et al.2022; Sezer ve Önder, 2024; Aydın, 2023; Demirci, 2024; Sak, 2024; Karaman, 2024; Ceylan, 2024)

Yine, Avustralya, su ayak izi hesaplama ve yönetiminde dikkat çeken bir başka örnek teşkil etmektedir. Avustralya Cumhuriyeti, tarımsal faaliyetlerde kullanılan su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için kapsamlı bir üst düzey strateji geliştirmiştir. Bu strateji çerçevesinde, tarımsal su ayak izi analizleri, belirli üretim süreçleri ve su kullanımı ile ilgili verilerin toplanması ve değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Örneğin, bu ülkede uygulanan “Water Footprint Assessment” (Su Ayak İzi Değerlendirmesi) yöntemi, bireylerin, toplulukların ve işletmelerin su tüketimini belirlemekte ve kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, Avustralya'nın uyguladığı bu yöntemler, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu bir çerçevede yürütülmektedir. (Durmuşlar et al., 2023; Akçayır & Akın, 2024; Kadioğlu, 2024; Örtlek, 2024)

Son olarak, Birleşmiş Milletler tarafından desteklenen çeşitli uluslararası projeler de tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında küresel bir düzlemde iş birliğini teşvik etmekte ve bilgi paylaşımını kolaylaştırmaktadır. Bu projelerin amacı, gelişmekte olan ülkelerde su yönetimini güçlendirerek, su kaynaklarının etkin kullanımını sağlamaktır. Bu bağlamda, yerel tarımsal uygulamaların iyileştirilmesi ve su ayak izinin azaltılması konusunda atılan adımlar, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda gıda güvenliğini artırma yönünde de somut katkılarda bulunmaktadır. Bu tür uygulamalar, envanter hazırlama, hedef belirleme ve strateji geliştirme aşamalarında diğer ülkelere örnek teşkil etmiştir. (Sak, 2024; Başoğlu, 2024; Javidroozi et al.; Karadeniz, 2024; Zahariev et al., 2024)

7. Geçmiş Çalışmaların İncelenmesi

Geçmiş çalışmalar, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasıyla ilgili süreçlerin ve yöntemlerin evrimine dair önemli ve detaylı bilgiler sunmaktadır. Bu alandaki ilk araştırmalar, su ayak izinin tanımını netleştirmek ve ölçüm tekniklerini ve yöntemlerini daha da geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle, Allen ve ark. (1998), sütun su indeksinin ilk sistematik değerlendirmesini yaparak, bitki su tüketimini ve iklimsel etmenleri göz önüne alarak su ayak izi kavramını daha geniş bir çerçevede tanıtmıştır. Bu önemli çalışmalar, tarımsal verim ile su kullanımı arasındaki ilişkiyi anlamak için gerekli bir çerçeve ve temel bilgiler sunmuş ve daha sonra geliştirilen metodolojilere yönelik olarak temel bir referans noktası oluşturmuştur. Bu süreçler, günümüzdeki tarımsal uygulamaların çevresel sürdürülebilirlik açısından gelişimini de etkilemiştir. (Demirci, 2024; Yımam, 2023; Karakoç, 2022; Sak, 2024; Sandallar, 2024; Örtlek, 2024; Karaman, 2024)

Daha sonraki araştırmalarda, tarımsal ürünlerin su ayak izinin belirlenmesinde daha sofistike ve gelişmiş hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle, Hoekstra ve Mekonnen (2012) tarafından yapılan çalışmalarda, su ayak izi hesaplamalarının kapsamı genişletilerek, çeşitli iklim koşullarında ve farklı ham madde türleri ile birlikte bu tür hesaplamaların nasıl yapıldığına dair detaylı bilgiler sunulmuştur. Kullanılan yöntemler, su tüketimi ve verimlilik açılarından ricat eden karmaşık bir sistem sunmakta ve bu sistemin dinamikleri, oluşan veriler üzerinden incelenmektedir. Bu bağlamda, uzaktan algılama tekniklerinin ve coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) entegrasyonu, daha hassas ve kapsamlı su ayak izi analizlerine olanak tanımış ve bu sayede daha doğru veriler elde edilmiştir. Böylelikle, hem tarımsal sürdürülebilirlik hem de su yönetimi stratejileri konusunda anlamlı çıkarımlar yapılmasına olanak sağlayan kapsamlı veri tabanları oluşturulmuştur. Bu veri tabanları, aynı zamanda gelecekteki analizler ve araştırmalar için de önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

Ayrıca, çeşitli bölgelerdeki tarımsal uygulamaları inceleyen çalışmalar, farklı alanlardaki tarım uygulamalarının yerel su ayak izi hesaplamalarının çeşitli farklılıklarını ve bu farklılıkların getirdiği etkileri detaylı bir biçimde analiz etmeye yönelik önemli bulgular ortaya koymuştur. Bu tür araştırmalar, yerel su kaynaklarının mevcut



durumu, iklim iletişim değişkenlikleri ve tarımsal yöntemlerin bölgesel etkileri hakkında daha kapsamlı bir anlayış sağlamaktadır. Bu çalışmalar, yerel su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gereken yöntem ve stratejilerin geliştirilmesine de önemli bir katkı sunmaktadır. Sonuç olarak, geçmiş yıllara ait çalışmaların titizlikle incelenmesi, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasının metodolojik verimliliğini artırmakta ve su kaynaklarının yönetimi konusundaki stratejiler ile uygulamaların geliştirilmesine büyük katkı sağlamaktadır. Geçmişe dayalı bu bilgiler, hem bilim insanlarına hem de uygulayıcılara daha etkili ve verimli su yönetimi çözümleri geliştirme hedefinde yardımcı olmakta, bu bilgiler daha iyi bir tarımsal uygulama ve sürdürülebilir bir çevre için son derece önemlidir. (Kayadibi, 2024; Fakıoğlu & Seçkin, 2023)

8. Gelecek Araştırma Alanları

Gelecek araştırma alanları, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması sürecinde önemli bir paya sahip olan çok boyutlu dinamiklerin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesine yönelik fırsatlar sunmaktadır. Mevcut literatür, su ayak izinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler geliştirmiş olsa da, bu yöntemlerin doğruluğu ve genel geçerliliği hâlâ sorgulanmaktadır. Bu bağlamda, su ayak izi hesaplama süreçlerinde kullanılan modellerin daha yenilikçi ve parametrik yaklaşımlarla zenginleştirilmesi, ilerleyen dönemde araştırma ve uygulama alanlarının genişlemesine katkıda bulunabilir. Özellikle, iklim değişikliği ve su kaynaklarının kıtlığı gibi küresel sorunların tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, gelecekteki araştırmaların odak noktalarından biri olmalıdır. Bu etkileşimlerin çözümlemesi, su yönetimi stratejilerinin yeniden değerlendirilmesine ve yeşil tarım uygulamalarının entegrasyonuna olanak tanıyabilir.

Aynı zamanda, su ayak izinin hesaplanmasında yerel ve bölgesel verilerin entegrasyonu da ilerleyen araştırmalar için elzemdir. Farklı coğrafi bölgelerdeki tarımsal uygulamaların su kullanımı üzerinde farklı etkileri olduğundan, bu farklılıkların göz önüne alınması gerekmektedir. Örneğin, sulama teknikleri, arazinin topografyası ve iklim koşulları gibi faktörler, su ayak izinin hesaplanmasını doğrudan etkileyen unsurlardır. Bu unsurların etkileşimlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi, bölgesel bazda daha doğrulanmış ve uygulanabilir su yönetim stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, çok disiplinli yaklaşımlar benimseyen araştırmalar, su ayak izinin sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini analiz ederken daha kapsamlı bir perspektif sunabilir.

Son olarak, dijital teknolojilerin ve veri analitiğinin tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanmasında kullanımı, gelecekteki araştırmalar için umut verici bir trend olarak öne çıkmaktadır. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri ve büyük veri analizi, su ayak izinin daha hassas ve gerçek zamanlı hesaplanmasını mümkün kılarak, tarımsal üretim süreçlerinin optimize edilmesine katkıda bulunabilir. Bu bağlamda, bilim ve teknoloji sinerjisinin sağlanması, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesine yönelik yenilikçi çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır. Bu araştırma alanları, tarım sektörünün gelecekteki sürdürülebilirliğini güvence altına almak amacıyla hayati öneme sahiptir.

9. Sonuç

Sonuç bölümünde, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması konusundaki mevcut yöntemlerin etkinliğini ve önemini özetlemek amacıyla, başlıca bulgulara ve bu bulguların tarımsal sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerine odaklanmak gereklidir. Su ayak izi, tarım sektöründe su tüketiminin izlenebilirliğini sağlayarak, ürün bazındaki su kullanım verimliliğini değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, aquifer düzeyinde su tüketimi, toprak yapısı ve hava durumu gibi değişkenlerin dikkate alınması, tarımsal faaliyetlerin çevresel etkilerini anlamaya yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir. Bu önemli ölçüm, yalnızca su kaynaklarının yönetimi açısından değil, aynı zamanda sera gazı emisyonları ve genel ekosistem üzerindeki baskılar açısından da kritik bir rol oynamaktadır.

Hesaplama yöntemlerinin çeşitliliği, her bir tarımsal ürün için spesifik koşullar ve bölgesel iklim farklılıkları göz önünde bulundurulduğunda büyük bir önem taşımaktadır. Modelleme yaklaşımı, su ayak izinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılan bir teknik olmasına karşın, bu yöntemlerin doğruluğu ve geçerliliği yerel verilerin kalitesine bağlıdır. Matematiksel ve istatistiksel modellerin yanı sıra, saha ölçümleri ve uzaktan algılama teknolojileri de, su ayak izinin hesaplanmasında bütünleyici araçlar olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, farklı hesaplama yöntemleri arasında yapılan karşılaştırmalar, hem gelecekteki araştırmalar hem de politikaların şekillendirilmesi açısından parmak izi kimliğidir.

Sonuç olarak, tarımsal üretimde su ayak izinin hesaplanması, yalnızca su kaynaklarının korunmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda tarımsal üretkenliğin teşvik edilmesi ve iklim değişikliği ile mücadele gibi daha geniş çevresel hedeflerle de doğrudan ilişkilidir. Tarım politikalarının ve yönetim stratejilerinin, bu tür hesaplamalara dayanan verilerle desteklenmesi, su kıtlığı ile mücadele eden bölgelerde tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliğinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Dolayısıyla, su ayak izi hesaplaması, tarımsal uygulamaların ekolojik ayak izini azaltmak ve gelecekteki nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmak amacıyla kritik bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. (Çetintaş, 2024; Dikel ve Demirkale, 2023; Aktürk ve Gültekin, 2023; Bulut ve Özer, 2024; Baysal, 2023; Dündar ve Kolay, 2021)



Kaynaklar

- Adıyan, N. N. (2024). Sürdürülebilir menülerin tasarlanması ve planlanması: Dijital modelleme yönteminin uygulanmasına ilişkin bir çalışma. hku.edu.tr
- Ağızan, S. (2024). İklim Değişikliği Açısından Konya İlinde Organik ve Geleneksel Tarım Faaliyetlerinin Analizi. selcuk.edu.tr
- Akçayır, Ö. & Akın, F. (2024). Sürdürülebilir çevre perspektifinde Türkiye'nin ekolojik açığı ve yakınsama analizi: Fourier kss birim kök testi. Politik Ekonomik Kuram. dergipark.org.tr
- Akpınar, A. (2022). İnsansız hava araçları ile elde edilen görüntülerden ağaçların toprak üstü biyokütle tahmini ve karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi. akdeniz.edu.tr
- Aktürk, E., & Gültekin, S. (2023). Gelir Eşitsizliği ve Ticari Açıklığın Ekolojik Ayak İzi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği. Paradigma: İktisadi ve İdari Araştırmalar Dergisi, 12(1), 1-17. dergipark.org.tr
- Aydın, E. E. (2023). Konya İli Karatay İlçesi Tarım Arazilerinde Atık Su Kirliliğinin Değerlendirilmesi. selcuk.edu.tr
- Bağmancı, M. F. (2022). Elektrikli araç batarya taşıyıcılarında kullanılan farklı kaynak türlerinin karşılaştırılması. uludag.edu.tr
- Başakçı, T. (2023). Hava yolu şirketlerinin sürdürülebilirlik uygulamalarının tüketicinin kabulünü etkileyen unsurların belirlenmesi. gelisim.edu.tr
- Başkılıç, Y. (2023). Sürdürülebilir su yönetimi kapsamında su ayak izi ve tekstil endüstrisinde bir örnek uygulama. uludag.edu.tr
- Başoğlu, B. (2024). Sürdürülebilir Kalkınma Perspektifinden Yeşil Finans. [HTML]
- Batan, M. (2021). Kuraklıkla mücadele eden Şanlıurfa ilinde su kullanımının planlanması: Su ayak izi analizleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(4), 2135-2150. dergipark.org.tr
- Baysal, T. (2023). Uluslararası işletmelerde yeşil yönetim uygulamaları ve örnekleri. subu.edu.tr
- Boz Yılmaz, E., & Tunalıoğlu, R. (2024). Akıllı tarım uygulamalarında akademi ve özel sektörün rolü. Turkish Journal of Agricultural Economics, 30(2). [HTML]
- Bulut, A. P., & Canbaz, G. T. (2022). Sivas İlinde Buğday, Arpa, Şeker Pancarı ve Ayçiçeği Üretimi İçin Su Ayak İzinin Hesaplanması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(1), 249-255. dergipark.org.tr
- Bulut, G., & Özer, M. A. (2024). Ekolojik Modernleşmeye İklim Değişikliği ve "Çevresel Ayak İzleri" Üzerinden Bakmak. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(3), 752-778. dergipark.org.tr
- Çakır, D., Odabas, M. S., Kayhan, G., & Oktaş, R. (2022). 5G teknolojilerinin akıllı tarım sistemlerinde kullanımı ve geleceği üzerine değerlendirme. Black Sea Journal of Engineering and Science, 7-8. dergipark.org.tr
- Çakmak, B. & Torun, E. (2023). Konya kapalı havzası sulama şebekelerinde tarımsal su ayak izinin değerlendirilmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi. dergipark.org.tr
- Carfi, S. (2022). Kamu binalarının karbon ayak izi miktarındaki rolü. bilecik.edu.tr
- Çetintaş, E. (2024). Akademisyenlerin ekolojik ayak izinin bazı değişkenlere göre incelenmesi: Bursa Uludağ Üniversitesi örneği. aksaray.edu.tr
- Ceylan, Z. (2024). Akdeniz diyeti, vegan diyet ve Türkiye beslenme rehberi önerileri ile oluşturulan diyetle karbon ayak izi, su ayak izi ve protein kalitesinin hesaplanarak karşılaştırılması. izu.edu.tr
- Demirci, M. O. (2024). Metal sektöründe karbon ayak izi ve su ayak izi hesaplaması. erbakan.edu.tr
- Demirel, M. (2023). Ticaret Metası Olarak Su: Su Ayak İzi, Sanal Su ve Sanal Su Ticareti. Akademik İzdüşüm Dergisi. dergipark.org.tr
- Dikel, S., & Demirkale, İ. (2023). Su Ürünleri Üretiminin Su Ayakizi. International Congresses of Turkish Science ve Technology Publishing, 14-18. turjaf.net
- Dindar, G. (2021). Otomotiv yan sanayinde karbon ayak izinin hesaplanması-Bursa ili örneği. uludag.edu.tr
- Dündar, A. O., & Kolay, A. (2021). Karayolu yük ve yolcu taşımacılığının çevresel sürdürülebilirlik bakımından değerlendirilmesi ve Konya ili sera gazı emisyonunun hesaplanması. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(1), 317-334. dergipark.org.tr
- Durmuşlar, S., Eymirli, E. B., & Ayalp, E. (2023). İzmir'de Yeşil Dönüşüm İçin Öncelikli Sektörler Ve Odak Mekânlar. Bölgesel Kalkınma Dergisi. dergipark.org.tr
- Duru, M. O. & Koç, İ. (2021). Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) İle Entegrasyonuna Yönelik Bir Araştırma. STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi. dergipark.org.tr
- Ediz, S. B. (2023). Otomotiv yan sanayisinde parça üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonları, karbon ayak izi hesaplamaları ve enerji verimliliği uygulama önerileri. uludag.edu.tr
- Ergani, G. (2024). Sürdürülebilirlik Raporlaması İçin Standartlara Uygun Veri Toplama ve Analitik Yaklaşımlar ile Karar Verme: Simülasyon Tabanlı bir Uygulama. [HTML]
- Eryılmaz, O. D. (2024). Farklı güneş paneli üretim süreçlerinin çevresel etkilerinin LCA yöntemi ile karşılaştırılması. erbakan.edu.tr
- Fakıoğlu, P. A. & Seçkin, E. (2023). Tarım ve Kırsal Kalkınma Aracı olarak IPARD II Programının Türkiye'deki Uygulamaları ve Desteklerin Mekânsal Dağılımı. Coğrafya Dergisi. dergipark.org.tr
- Hakki, S. O. Y., Sariçoban, H., Hocaoglu, F. O., Demirtas, E. A., Eroglu, Y., Dayan, T., ... & Yildiz, Y. O. (2022). Mühendislik Bilimlerinde Güncel Araştırma Örnekleri. Livre de Lyon. [HTML]
- İlhan, A. O., & Deniz, E. (2021). Anket metodolojisinde dört ana hata türüne giriş. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 42, 199-214. academia.edu
- İlhan, A., & Deniz, E. (2021). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri: Anket Metodolojisine Giriş. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (42), 199-214. dergipark.org.tr
- İpekçi, E. (2023). Küresel İklim Krizinde Sektörel Yeşil Dönüşüm: Türk Lojistik Sektörü İçin bir Model Önerisi. [HTML]



- İşler, F. (2022). Yeşil bilişim farkındalığına yönelik bir karma yöntem araştırması: Konya ili örneği= A mixed method research on green computing awareness: the case of Konya sakarya.edu.tr
- Javidrooz, V., Carter, C., Grace, M., & Shah, H. (). Akıllı, Sürdürülebilir, Yeşil Şehirler: Son Teknoloji Bir İnceleme. mlgp4climate.com. mlgp4climate.com
- Kadioğlu, İ. (2024). Türkiye'de sürdürülebilir kalkınma paradigması: Yeşil büyüme göstergeleri. uludag.edu.tr
- Kahriman, N. (2023). Yeşil Enerjili Binalar ve Maliyetleri üzerine bir İnceleme. [HTML]
- Kalender, M. A. (2023). Konya Havzası Sulamasında Enerji Kullanımı ve İlişkili Sera Gazı Salınımı Üzerine Bir Araştırma. selcuk.edu.tr
- Karadağ, N. (2022). Poliesterin boyanmasında susuz ve klasik proseslerin yaşam döngüsü analizi. uludag.edu.tr
- Karadeniz, N. (2024). İklim değişikliği ile mücadelede paradiplomatik ilişkiler. selcuk.edu.tr
- Karakayaci, Z., & Tuyluoğlu, K. (2022). Ekolojik ayak izinin biyoekonomide sürdürülebilirliğe etkisi. In 2nd International Conference on Sustainable Ecological Agriculture 2. Uluslararası Sürdürülebilir Ekolojik Tarım Kongresi (p. 276). researchgate.net
- Karakoç, A. (2022). Yerel yönetimler için karbon ayak izinin hesaplanması; Kahramankazan örneği. erbakan.edu.tr
- Karaman, R. (2024). Tüketim bencilliğinin ekolojik ayak izi farkındalığına ve tüketici tercihlerine etkisi: Yeşil restoranlar örneği. balikesir.edu.tr
- Karlı, R. G. & Artar, M. (2021). Kentsel su yönetiminde araç olarak su ayak izi ve mavi-yeşil altyapı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. dergipark.org.tr
- KARLI, R. G., ARTAR, M., Peyzaj, P., & İzi, S. A. (). Kentsel su yönetiminde araç olarak su ayak izi ve mavi-yeşil altyapı. academia.edu. academia.edu
- Kaya, H., & Mazlum, H. (2025). Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2), 970-984. dergipark.org.tr
- Kayadibi, Ö. (2024). Yerel yönetimlerin tarımsal desteklerinin kırsal girişimcilik üzerindeki rolü: konya örneği. Konya Araştırmaları Dergisi. bilimalani.org
- Koç, İ., Duru, M. O., & Dinçer, S. G. (2022). Yapılarda gömülü ve kullanım enerjisi kavramlarının yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisiyle irdelenmesi. bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture ve Design, 3(1), 55-69. dergipark.org.tr
- Körbalta, H. (2023). Kentlerde Su Krizi ve Mekânsal Planlama. Kent ve Kriz. researchgate.net
- Muratoğlu, A. (2024). Türkiye'de pamuk üretiminin su yönetimi açısından incelenmesi. Research in Agricultural Sciences. dergipark.org.tr
- Öntaş, E., Sezer, B., & Okyay, P. (2024). Çevrimiçi veri toplamının temelleri: yöntemler ve yaklaşımlar için pratik bir kılavuz. Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi. dergipark.org.tr
- Örtlek, Z. (2024). Finansal gelişme ve yeşil teknolojik inovasyonun çevre kalitesi üzerindeki etkisi. aksaray.edu.tr
- Özbek, S. (2023). Ekonomik büyüme, küreselleşme ve ekolojik ayak izi ilişkisi: ASEAN-5 ülkeleri üzerine ekonometrik bir analiz. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi. dergipark.org.tr
- Özyiğit, H. (). Sürdürülebilir iklim değişikliği muhasebesi. researchgate.net. researchgate.net
- Rustamov, E. (2023). Sürdürülebilir pazarlama stratejileri bağlamında yeşil pazarlama ve pazarlamada minimalist yaklaşımlar. selcuk.edu.tr
- Sabır, E. C., Sırlıbaş, S., Uzun, İ. D., & Yiğit, D. C. (2023). Yenilikçi soya lifi içeren mamul denim ve spor giyim kumaşların yaşam döngüsü analizi (LCA). Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 887-898. dergipark.org.tr
- Sak, N. (2024). Sivil toplum kuruluşlarında kurumsal karbon ayak izinin belirlenmesi: SOBE örneği. selcuk.edu.tr
- Sandallar, S. (2024). Madencilik sektöründe karbon ayak izi hesaplamaları ve Türkiye'deki uygulamaları. aksaray.edu.tr
- Sezer, Ş., & Önder, K. (2024). Doğalgaz kullanımına bağlı karbon ayak izi: türkiye düzey 1 analizi. İktisadi ve idari bilimler alanında teori, uygulama ve güncel konular, 111. iksadyayinevi.com
- Tanrıverdi, İ. (). Tedarik Zinciri Yönetiminde Su Ayak İzi. researchgate.net. researchgate.net
- Turgut, G. (2024). Konya ilinde bulunan atık toplama tesisindeki ürünlerin karbon ayak izinin belirlenmesi. aksaray.edu.tr
- Yavuz, E. (2021). Çevre vergileri ile ekolojik ayak izi arasındaki ilişki: Türkiye üzerine kanıtlar. Journal of Social, Humanities ve Administrative Sciences (JOSHAS), 7(45), 1937-1945. researchgate.net
- Yılmaz, D. (2022). Bilgi ve iletişim teknolojilerinin makroekonomik faktörler üzerindeki etkileri. bilecik.edu.tr
- Yımam, M. T. (2023). Etiyopya'da teff üretiminin su ayak izi değerlendirmesi. ankara.edu.tr
- Zahariev, A., Barbu, A. L. M. C. M., Dalay, B. K. İ., Radjenovic, S. S. T., Mihaylova, P. A. M., Deatcu-Gavril, C. E. P. C., ... & Talic, Y. S. M. (2024). İşletmeler ve toplum için döngüsel ekonomi zorlukları el kitabı. researchgate.net

