

Türkiye’de Pamuk Üretiminin Su Yönetimi Açısından İncelenmesi

Water Management Perspective on Cotton Production in Türkiye

Abdullah MURATOĞLU¹ 

¹: Batman Üniversitesi,
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Batman, Türkiye

Öz

Pamuk üretimi üzerine yapılan çalışmalar, pamuk yetiştiriciliğinin yüksek su tüketimine sahip olduğunu dolayısıyla, özellikle kurak bölgelerde su kaynaklarının sürdürülebilirliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Pamuk sulamasında ihtiyaç duyulan suyun az olduğu bölgelerin tespit edilmesi, ülke bazında su kaynaklarının korunması adına önem arz etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’deki pamuk üretiminin yeşil ve mavi su kullanımı üzerinde derinlemesine bir analiz sunarak su ve tarım yönetimi çalışmalarına katkı sağlamaktır. Bu bağlamda ulusal iklim ve bitki verileri sanal su (SS) ve su ayak izi (SA) metodu kapsamında analiz edilmiştir. ArcMap 10.7 yazılımı ve alansal interpolasyon araçları kullanılarak ülke genelinde ekimi yapılan pamuğun yeşil ve mavi su ayak izi yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükle hesaplanmış, sonuçlar 24 il ve 141 ilçe genelinde görselleştirilmiştir. Buna göre, 2019-2023 yılları arasındaki üretim verileri dikkate alındığında Türkiye genelinde yıllık kütlü pamuk üretimine yaklaşık 3.68 milyar m³ mavi suyun harcandığı görülmektedir. Tarladaki pamuğun birim yeşil ve mavi su ayak izleri ise ortalama 205 ve 1641 m³/ton olarak bulunmuştur. Hali hazırda Şanlıurfa, Diyarbakır ve Aydın illeri, ülke için en önemli pamuk ekim merkezleri olup, pamuk yetiştiriciliği için tüketilen suyun yarıya yakını Şanlıurfa ilinde kullanılmaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, pamuk üretiminde kullanılan birim mavi su (m³/ton), bazı bölgelerde iki katına kadar çıkmakta, bu durum özellikle toprak neminin az olduğu kurak bölgelerde aşırı miktarda su tüketilmesine sebep olmaktadır. Buna göre, Türkiye’deki pamuk yetiştiriciliğinin Güneydoğu bölgesinden Çukurova bölgesine kaydırılması, ülkenin su kaynaklarının korunması adına önemli bir strateji olacaktır. Bu çalışmada pamuğun su tüketimini azaltmaya yönelik stratejiler de tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Pamuk, Sanal su, Ayak izi, Politika, Yönetim

ABSTRACT

Studies on cotton production have shown that cotton cultivation has high water consumption and thus negatively impacts the sustainability of water resources, especially in arid regions. Identifying areas with lower water requirements for cotton irrigation is important for the conservation of water resources at the national level. The primary aim of this study is to provide an in-depth analysis of green and blue water use in cotton production in Türkiye and contributing to water and agricultural management works. In this context, national climate and crop data were analyzed using the virtual water (VW) and water footprint (WF) methods. Using ArcMap 10.7 software and spatial interpolation tools, the green and blue WF of cotton cultivated across Türkiye were calculated with high spatial and temporal resolution, and the results were visualized for 24 provinces and 141 districts. According to the production data for the years 2019-2023, approximately 3.68 billion m³ of blue water is used annually for cotton production in Turkey. The unit green and blue WFs of cotton were found to be 205 and 1641 m³/ton on average, respectively. Currently, Şanlıurfa, Diyarbakır, and Aydın are the most important cotton centers in the country, with nearly half of the water used for cotton cultivation being consumed in Şanlıurfa. According to the results of this study, the unit blue water (m³/ton) used in cotton production can increase up to two times in some regions, leading to excessive water consumption, particularly in arid areas with low soil moisture. Thus, shifting cotton cultivation from the Southeast region to the Çukurova region would be an important strategy for conserving the country's water resources. Strategies to reduce water consumption in cotton cultivation are also discussed in this study.

Keywords: Türkiye, Cotton, Virtual, Water, Footprint, Policy, Management



Geliş Tarihi/Received 09.03.2024
Kabul Tarihi/Accepted 31.07.2024
Yayın Tarihi/Publication Date 29.09.2024

Sorumlu Yazar/Corresponding author:
Abdullah MURATOĞLU

E-mail:
abdullah.muratoglu@batman.edu.tr
Cite this article: Muratoğlu, A. (2024).
Water Management Perspective on Cotton
Production in Türkiye. *Research in
Agricultural Sciences*, 55(3), 158-174.



Content of this journal is licensed under a Creative
Commons Attribution-NonCommercial 4.0
International License.

Giriş

Son derece stratejik öneme sahip olan pamuk, sanayi devriminin en temel ürünlerinden birisi olup, tekstil endüstrisi başta olmak üzere çeşitli sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Telatar vd., 2016). Tarladan kütlü pamuk şeklinde hasat edilen ürünler, çırçırılama sürecinden sonra lif ve çiğit (pamuk çekirdeği) olarak ikiye ayrılmaktadır. Lif pamuk, tekstil, selülöz kimya sanayi, savaş endüstrisi ve yatak ve dolgu sanayiinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çiğitten elde edilen ham yağ, margarin veya likit yağ şeklinde rafine edilmekte, kalan alt ürünler ise hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir (ZMO, 2018).

Küresel pamuk üretimi 2021 yılı itibarıyla, yaklaşık 25 milyon ton/yıl olup, toplam üretim miktarı yılda ortalama %1.5, ekim alanı ise yaklaşık %0.5 artmaktadır (OECD-FAO, 2021). 2021 istatistiklerine göre, Hindistan ve Çin dünyanın en büyük pamuk üreticileri olup, toplam pamuk üretiminin yaklaşık yarısını bu iki ülke karşılamaktadır. Bunların ardından ABD, Brezilya ve Pakistan gibi ülkeler gelmektedir. Küresel pamuk üretiminin %77'si bu ülkeler tarafından karşılanmaktadır. ABD ve Brezilya ise global pamuk ihracatının yarısından fazlasını tek başlarına karşılamaktadırlar (OECD-FAO, 2021).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2022 yılında Türkiye'de yaklaşık 573 bin hektarlık alanda 2.25 milyon ton kütlü pamuk üretimi yapılmıştır. Bu, yaklaşık 1.02 milyon ton lif pamuğa denk gelmektedir. Son yıllardaki rakamlara bakıldığında, Türkiye'nin lif pamuk üretiminin 0.8-1 milyon ton/yıl arasında değiştiği görülmektedir. Türkiye'de pamuk üretimi, 23 ilde yapılmakta olup, bu üretimin yaklaşık %87'sini Şanlıurfa, Diyarbakır, Aydın, Hatay, Adana ve İzmir illeri karşılamaktadır (Özüdoğru, 2023). Türkiye'de küt ve lif pamuğun verim ortalaması son altı sezon (2018-2024) için sırasıyla 4.75 ve 1.81 ton/ha olarak hesaplanmıştır (Özüdoğru, 2023).

Dış ticaret istatistikleri Türkiye'nin pamukta net bir ithalat ülkesi olduğunu göstermektedir. İhracat miktarları da düşüldüğünde 2023/24 sezonunda, yurt içi kullanımın yaklaşık %52'sine denk gelen net 0.837 milyon ton lif pamuğun yurt dışından ithal edildiği görülmektedir. Buna karşılık Türkiye'nin lif pamuk ihracatı 0.1-0.2 milyon ton arasında değişmektedir. Ülkemizde, pamuk üretiminin tüketimi karşılama oranı ortalama %45'tir. Türkiye'de lif pamuk ihracatının az olması, iç piyasadaki hazır giyim sektörünün yüksek ihtiyacına bağlanmaktadır (Özüdoğru, 2023). Uluslararası Pamuk İstişare Komitesi'nin (ICAC) güncel (2023/2024) verilerine göre ise, Türkiye, dünyanın en büyük yedinci (lif) pamuk üreticisi (0.75 milyon ton), beşinci en yüksek verimli ülkesi (1.67 ton/ha) ve dördüncü en çok tüketen (1.78 milyon ton) ülkesidir (ICAC, 2024).

Pamuğun uluslararası piyasası genellikle lif pamuk üzerinden yürümekte olup, ekonomik değeri dış etkilere bağlı olarak dalgalanmasına karşın genellikle 1500-2000 USD/ton arasında değişmektedir. 2010/2011 yıllarındaki petrol ve ilişkili polyester fiyatlarındaki aşırı artıştan dolayı pamuk ürününe talep artmış ve uluslararası piyasadaki pamuk fiyatları yaklaşık iki katına kadar çıkmıştır. Ancak, özellikle polyester ve diğer sentetik liflerin piyasada alıcı bulması sonucu, ABD doları bazında her ne kadar artsa da, son yıllarda pamuğun reel fiyatının düştüğü bildirilmiştir (OECD-FAO, 2021).

Pamuk, su tüketimi yüksek olan bir tarımsal üründür. Pamuğun bitkisel gelişimin sağlanabilmesi için gerekli su; iklim, toprak ve sulama yöntemine göre değişmekte olup bu miktarın 700-1300 mm arasında olduğu bilinmektedir (Dağdelen vd., 2005). Dolayısıyla pamuk bitkisinin su tüketimi bölgeler arasında ciddi farklılıklar sergilemektedir. Bölgenin toprak nemi veya yağış durumu da dikkate alındığında pamuk yetiştiriciliğinde kullanılan sulama suyu miktarında Türkiye genelinde kayda değer farklılıklar mevcuttur. GAP sulamalarının yaygınlaşması ile birlikte, Güneydoğu Anadolu bölgesi, son yıllarda önemli bir pamuk merkezi olmuştur.

Ülkemizde ekimi yapılan pamuk bitkisinin farklı özelliklerinin çalışıldığı birçok araştırma mevcuttur. Pamuğun bitkisel özellikleri Bozбек ve Ünay (2005), Bayhan vd. (2015) ve Haliloğlu (2016) tarafından çalışılmış; Memiş ve Özpinar (2021) pamukta bitki koruma uygulamalarını analiz etmiştir. Sulama yönetiminin bitki kalitesine etkisi; Ektiren ve Değirmenci (2018), Tunalı vd. (2019), Üzen vd. (2019), Yazdıç ve Değirmenci (2018) gibi araştırmacılar tarafından detaylandırılmıştır. Pamukta su stresi ve sulama ile ilgili özellikler; Ertek ve Kanber (2002), Ödemiş vd. (2018), Tanrıverdi vd. (2018), Erten ve Dağdelen (2020) tarafından araştırılmıştır. Çopur (2018), Eski ve Kayalak (2018), Caner ve Engindeniz (2020), üretim ile ilgili yaklaşım ve tahminleri çalışmış; Candemir vd. (2017) ve Özüdoğru (2021) ise pamukta üretim ekonomisini analiz etmişlerdir. Dağdelen vd. (2005), Aydın Ovası koşullarında, yüzey sulama yöntemi ile pamuğun su tüketimini analiz etmişlerdir. Sarı ve Dağdelen (2010), damla sulama yönteminde farklı arazi uygulamalarının su ve verim arasındaki ilişkilerini çalışmışlardır. Yeşil vd. (2023); kumaş üretimi, çırçırılama, nakliye ve tüketici kullanımları gibi endüstriyel süreçlerindeki su ayak izini raporlamışlardır. Son olarak, pamuk bitkisinin iklim değişikliğinden etkilenmesi (Ünay & Başal, 2005), gübre kullanımı (Cevheri vd., 2021) ve uzaktan algılama (Kılıçaslan vd., 2023) ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. Ancak, ülkemizdeki pamuk üretiminin su kaynakları üzerindeki etkisinin su yönetimi açısından değerlendirilmesi ile ilgili kayda değer çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

Türkiye’de pamuk ve tekstil sektörünün su ayak izinin (SA) değerlendirildiği birkaç tez çalışması mevcuttur. Alper (2015), Adana, Aydın, Diyarbakır, İzmir, Şanlıurfa ve Antalya illerindeki pamuğun sanal su içeriğini hesaplamış, ancak bu çalışma, pamuğun su ayak izi konusundaki ilk çalışmalardan biri olmasından dolayı su ayak izindeki değişimler ve alt SA parametreleri yeterince analiz edilmemiştir. Başkılıç (2023), tekstil sektöründeki su ayak izi üzerinde örnek bir uygulama yürütmüştür. Ancak, söz konusu çalışma endüstriyel açıdan yapılan bir çalışma olduğu için, mevcut çalışmanın kapsamı dışındadır. Engin (2019); 2016 ve 2018 yılları için Şanlıurfa, Aydın, Hatay, Diyarbakır, Adana ve İzmir illerinde pamuğun mavi ve yeşil su ayak izlerini net sulama suyu ihtiyacı ve sulama randımanını gözeterek analiz etmiştir. Ancak söz konusu çalışma, il bazında bir yaklaşım sergilemiş ve çalışmada nispeten sayılı iklim ve yağış istasyonları kullanılmış, dolayısıyla alansal değişiklikler haritalandırılmamış, aylık değişimler yansıtılmamış, ayrıca konu, su yönetimi açısından yeterince tartışılmamıştır. Avanoz (2020), Türkiye’de ekimi yapılan tarımsal ürünlerin su ayak izini 2008-2018 yılları için il bazında raporlamıştır. İraz (2021) tarafından Fırat havzası; Erdem (2021) tarafından ise Seyhan, Ceyhan ve Asi havzasındaki tarımsal üretimin su ayak izi analiz edilmiştir. Ancak bu çalışmalarda geniş bir ürün yelpazesine yer verildiği için pamuktaki su yönetimi yeterince tartışılmamıştır.

Su ayak izinin hesaplanması üzerine ilk uluslararası çalışmalar Hoekstra, Mekonnen, Chapagain ve ark. (2006; 2011; 2012; 2017) tarafından yürütülmüştür. Muratoğlu ve ark. (2019, 2020b, 2020a; 2022, 2023; 2019) tarafından yapılan çalışmalar ise Türkiye’deki tarımsal faaliyetlerin detaylı su ayak izlerinin hesaplandığı ve görselleştirildiği ilk uluslararası çalışmalardandır. SA konusunda artan uluslararası farkındalık ve GAP bölgesinde artan pamuk tarımı, pamuk üretiminin ülkemizin su güvenliği açısından detaylı bir şekilde gözden geçirilmesi gerekliliği ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’nin ulusal pamuk üretiminin, su kaynaklarının sürdürülebilirliği yönünden analiz edilmesi, ilgili sorunların tespit edilmesi ve gerekli çözüm önerilerinin getirilmesidir. Türkiye’de pamuk yetiştiriciliğinde, optimum su yönetiminin sağlanması adına ilgili araştırmacı ve kurumlara, güncel veri ve metodolojiler kapsamında bilgi sağlanması, bu çalışmanın temel hedeflerindedir. Bu bağlamda, pamuk yetiştiriciliğinin su tüketimi son yıllarda uluslararası literatürde sıklıkla kullanılmaya başlanan Su Ayak İzi (SA) metodolojisi kapsamında analiz edilmiştir. Türkiye’de ekimi yapılan pamuğun mavi ve yeşil SA değerleri belirlenerek, son dört yıllık (2019-2022) ekili alan ve üretim miktarı verileri kullanılarak il ve ilçe bazında analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar alansal ve zamansal değerlendirmelere tabi

tutularak özellikle mavi (yüzeysel ve yeraltı) su kaynaklarının sürdürülebilirliği yönünden gerekli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Mevcut çalışmada, Türkiye’de yetiştirilen pamuğun mavi ve yeşil su tüketimi hesapları, bugüne kadarki en yüksek alansal çözünürlük ve en güncel veriler ile gerçekleştirilmiş ve su ayak izi miktarları uzun dönem iklim verileri ile ortaya koyulmuştur. Analizlerin doğruluğunun artırılması amacı ile çok sayıda iklim ve yağış istasyonu kullanılmıştır. Elde edilen bulguların, ülkedeki su yönetimi, tarımsal planlama ve sürdürülebilirlik çalışmalarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Materyal ve Yöntem

Su ayak izi (SA) metodu

Su ayak izi (SA) metodu, ürün ve süreçlerin arka planında bulunan suyun nicelleştirilmesi amacı ile son yıllarda ortaya koyulan modern araçlardan biridir. SA metodunda suyun türünün dikkate alınarak direkt ve dolaylı su tahsisinin modele katılması klasik su kullanım hesaplarına karşı avantaj sağlamaktadır. Bundan dolayı, SA metodolojisi son yıllarda geniş bir araştırma alanı bulmuş, bölgesel ve küresel su yönetimi açısından kayda değer sonuçlar ortaya koymuştur. Bu açıdan, özellikle tarım sektörünün ve ilgili süreçlerin SA analizlerinin yapılması son yıllarda su güvenliği açısından önem kazanmıştır.

SA metodolojisi, temelde *sanal su* (SS) yaklaşımına dayanmaktadır. *SS ise, nihai bir ürünün elde edilebilmesi için işlemde geçen toplam su* olarak tanımlanmaktadır. Sanal suyun, son ürün içerisinde hapsolmesi gerekmez, ürün üretilirken herhangi bir süreçten geçiyse sanal su hesaplarına dahil edilir. Bu yaklaşım, 90’lı yıllarda Allan (1998) tarafından stratejik bir kaynak olarak ortaya koyulmuştur. Akabinde, ulusların sanal su ticareti konusu önem kazanmaya başlamıştır. Nihayetinde, 2000’li yıllarda Chapagain ve Hoekstra (2004) tarafından SA kavramı geliştirilmiş ve ileriki yıllarda bu yaklaşımın teorisi detaylandırılmaya başlanmıştır. Pamuk da, yüksek su ayak izi ve uluslararası değeri ile SA çalışmaları kapsamında önemli olduğu değerlendirilen ve ilk çalışılan (Chapagain vd., 2006) ürünlerdendir. Günümüzde, en güncel SA metodu, “Su Ayak İzi Değerlendirme Kılavuzu” (İng: Water Footprint Assessment Manual) adlı esere dayanmaktadır. SA metodu ve SS yaklaşımı ile ilgili diğer hususlar bu çalışmanın kapsamı dahilinde olmayıp, detaylı bilgi Hoekstra vd. (2011) ve Muratoglu (2022a, 2022b) çalışmalarından elde edilebilir.

SA metodu, işlemde geçen suyu üç farklı renk altında incelemektedir. Bunlar; yeşil, mavi ve gri sulardır. *Yeşil su, hidrolojik olarak toprak nemi depolama sisteminde biriktirilen yağış miktarını ifade eder.* Her ne kadar taşınabilirliği özelliği olmasa da diğer metotların aksine, toprak suyu bir su kaynağı olarak kabul edilir. *Mavi su ise*

akışkan özelliği gösteren yüzey ve yeraltı sularını simgeler. SA metodunda mavi suyun yeri ve konumundan ziyade ulaşılabilirliği önemlidir. Bu bağlamda, yeşil ve mavi su kaynakları her ne kadar farklı su türleri olsa da nihai ürünün su ihtiyacını karşılamaları yönünden birbirlerini tamamlayıcı özelliğe sahiptirler. Mavi su, farklı sektörlerde saklanabilme, iletilibilme ve dağıtılabilmek özelliğine sahip olduğu için son derece değerli bir su kaynağı iken, yeşil su toprağın üst kısımlarında depolanması ve bitki kökleri tarafından kullanılabilmesinden dolayı bölgesel bir özelliğe sahiptir. *Mavi ve yeşil SA ise, bir ürünün yaşam döngüsünde bu kaynaklardan çekilen toplam su miktarını ifade etmektedir.* Son olarak *gri su*, bu çalışmanın kapsamı dışında olup *belli kontaminantlar ile kirletilen suyun doğal konsantrasyonlara geri çekilebilmesi için eklenmesi gereken temiz su* miktarını ifade etmektedir (Muratoglu, 2019).

Bu çalışmadaki yeşil ve mavi SA hesapları Hoekstra vd. (2011) tarafından önerilen metodolojiye dayanılarak yapılmıştır. Buna göre tarımsal ürünlerin toplam su ayak izinin (gri SA hariç), tarla koşullarında bitki su tüketimine (BST) eşit olduğu kabul edilmiştir. BST ise, bitkisel evapotranspirasyon (ET_c) hesapları ile modellenmektedir. BST, ilk olarak bitki kökleri ile ulaşılabilir bölgedeki yeşil su kaynaklarından karşılanmakta, kalan miktar ise teorik olarak sulama ile bitkiye mavi su cinsinden verilmektedir. Buna göre, ET_c , iki alt bileşene ayrılabilir:

$$ET_c = ET_{mavi} + ET_{yeşil} \quad (1)$$

Burada; ET_c , evapotranspirasyon (mm); ET_{mavi} , sulama suyundan gerçekleşen evapotranspirasyon (mm); $ET_{yeşil}$ ise toprak neminden gerçekleşen evapotranspirasyon (mm) olarak verilebilir.

Yeşil sudan gerçekleşen evapotranspirasyonun modellenmesi için önerilen en ideal yöntem "*toprak su dengesi*" (TSD) metodudur. Ancak, geniş uzamsal sınırlarda yapılan çalışmalarda, topraktaki su dengesinin deneysel olarak yeterli hassasiyet ile takip edilmesi neredeyse imkansızdır. Buna göre, birçok çalışmada, daha pratik bir yöntem olan "*etkili yağış*" (P_{eff}) metodu kullanılmaktadır. *Etkili yağış, bitkilerin gelişim periyodu içerisinde su tüketimlerini karşılamaya yardımcı olan toplam yağış fraksiyonu* (Pathwardhan vd., 1990) olarak tanımlanmaktadır. Literatürde birçok etkili yağış metodu tavsiye edilmiş olup, bunlardan SA hesaplarında en güvenilir olanının USDA-SCS (1993) metodu olduğu belirtilmiştir (Muratoglu vd., 2023). Bu çalışma kapsamında etkili yağış, CROPWAT programı yardımı ile söz konusu metod kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre etkili yağış aylık olarak Denklem 2'deki gibi modellenmiştir. BST, ilk olarak toprak neminden karşılandığına göre, eğer bitkinin toplam ihtiyacı kadar su, toprak nemi formunda bitki kökleri tarafından ulaşılabilir bölgede mevcut ise etkili yağış miktarı

evapotranspirasyondan büyük olacağı için sulama suyu ihtiyacı (SSİ) olmayacaktır. Bu durumda, su tüketiminin tümü yeşil sudur. Eğer yeterli miktarda toprak nemi yok ise, $ET_c - P_{eff}$ kadar mavi suya gerek duyulacaktır (Denklem 4). Nihai olarak, yeşil ve mavi sudan gerçekleşen evapotranspirasyon miktarları sırasıyla Denklem 5 ve 6'da verilmektedir. Söz konusu bağıntılar, bitki su tüketiminin ideal koşullarda gerçekleştiği ve herhangi bir su stresi olmayan durumlar için geçerlidir. Dolayısıyla, bu koşul mevcut çalışmanın varsayımlarından bir tanesidir. Kısıntılı sulamanın verim ve su tüketimine etkisi bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

$$P_{eff} = \begin{cases} (P(125 - 0.2P))/125; & P \leq 250\text{mm} \\ 125 + 0.1P; & P > 250\text{mm} \end{cases} \quad (2)$$

$$BST = ET_c \quad (3)$$

$$SSİ = \begin{cases} 0; & P_{eff} > ET_c \\ ET_c - P_{eff}; & ET_c > P_{eff} \end{cases} \quad (4)$$

$$ET_{yeşil} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (5)$$

$$ET_{mavi} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (6)$$

Burada; P , yağış yüksekliği (mm); P_{eff} , etkili yağış (mm), BST ; bitki su tüketimi ve $SSİ$, sulama suyu ihtiyacı (mm) olarak verilebilir.

Yeşil ve mavi su yükseklikleri belirlendikten sonra toplam ve birim SA hesaplarına geçilir. SA hesabı yapılırken genellikle su hacminden bahsedilir. Dolayısıyla birim su yüksekliğinin, belirli bir tarım alanı (ha) kapsamında kullanılan su hacmine (m^3) Denklem 7 ve 8 kullanılarak dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$SA_{yeşil} = 10 \sum ET_{yeşil} x A \quad (7)$$

$$SA_{mavi} = 10 \sum ET_{mavi} x A \quad (8)$$

$$SA_{toplam} = SA_{yeşil} + SA_{mavi} \quad (9)$$

Burada; SA , su ayak izi (m^3), A ise ekilen alan (ha) olarak alınmalıdır.

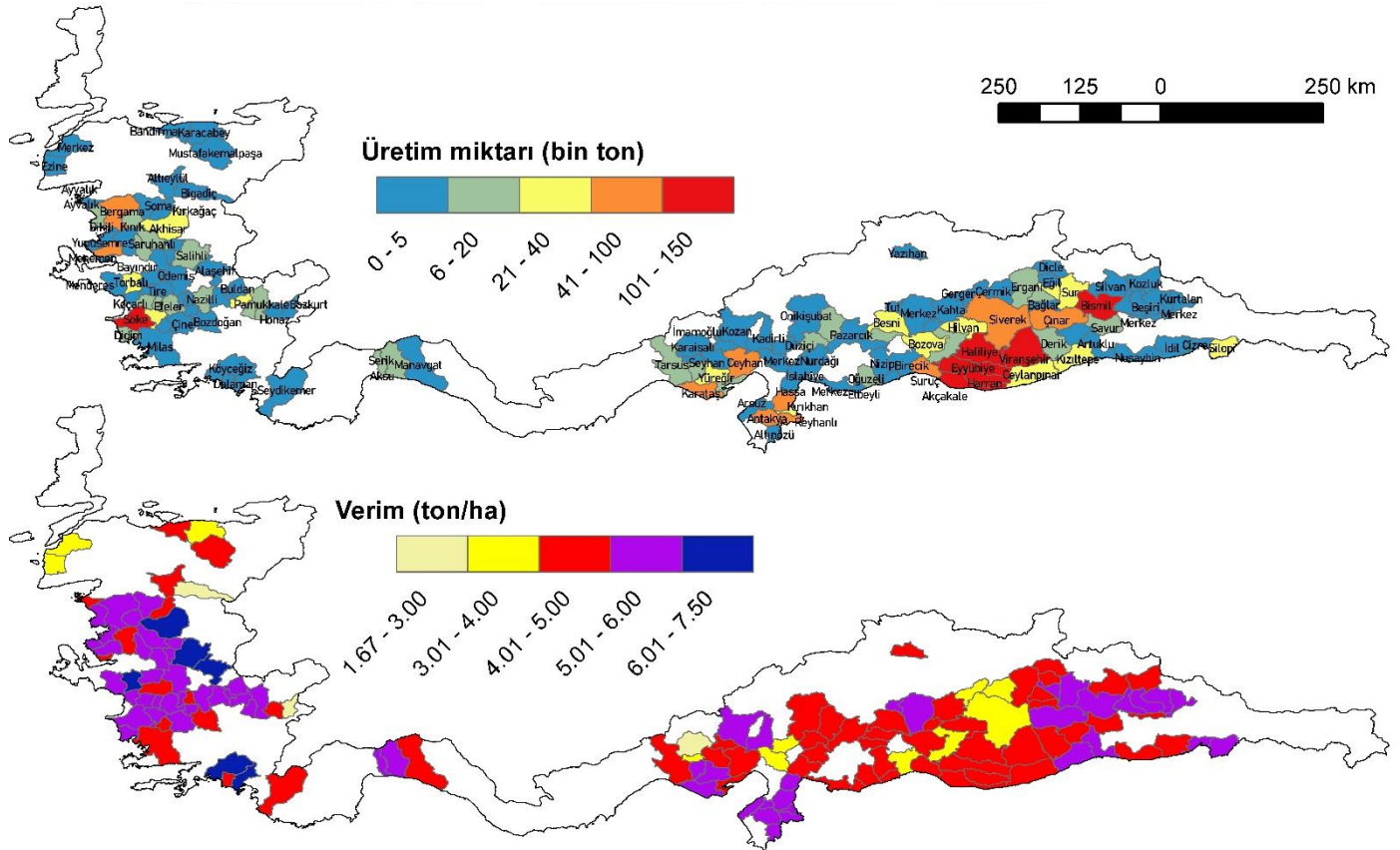
Toplam su ayak izi miktarı, belirli bir bölgede tüketilen toplam su hacmini verdiği için su tüketimine yönelik genel bir çerçeve sunmaktadır. Bu yolla su mevcudiyeti ile tüketimi arasında kolaylıkla ilişki kurulabilir. Ancak, farklı ürünlerin su ayak izlerinin karşılaştırılması veya aynı ürünün farklı bölgelerdeki SA değişimlerinin araştırılması için bu yeterli değildir. Bunun için birim su ayak izi parametreleri geliştirilmiştir. Bunlardan en sık kullanılanı *sanal su muhtevasıdır* (SSM). Bu parametre, tarımsal ürünlerin birim kütledeki su içeriğini göstermekte ve sıklıkla m^3/ton cinsinden ifade edilmektedir. Buna göre, SSM, *bir ton tarımsal ürünün yetiştirilebilmesi için harcanması gereken suyun metreküp cinsinden karşılığıdır.* Ancak, SA hesabından SSM hesabına geçilebilmesi için bitkisel üretim miktarı veya verimi kullanmak gerekmektedir (Denklem 10).

$$SSM = \frac{SA}{T} \quad (10)$$

Burada; SSM , sanal su muhtevası (m^3/ton); SA , su ayak izi (m^3), T ise bitkisel üretim miktarıdır (ton).



Şekil 1. Çalışma alanı



Şekil 2. Kütlü pamuk üretim miktarı ve veriminin ilçe bazlı dağılımı

Çalışma alanı, veri ve veri analizi

Bu çalışma, Türkiye'nin ülke sınırları dahilinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan pamuk üretim miktarı, ekili alan ve verim istatistikleri Türkiye İstatistik Kurumunun 2019-2023 arasındaki dört yıllık verilerine dayanmaktadır (TÜİK, 2024). Bu bağlamda pamuk ekimi yapılan 24 il ve 141 ilçe bu çalışmanın kapsamına alınmıştır. İçdir'in Aralık, Karakoyunlu ve Merkez ilçelerinde yapılan pamuk ekimleri oldukça düşük olduğu için, sonuçların daha

iyi yansıtılabilmesi amacıyla işleme alınmamıştır (Şekil 1).

Bu çalışma kapsamında uzun dönem aylık yağış gözlemleri kullanılmıştır. Bu veriler CLIMWAT 2.0 (FAO, 2024) yazılımının veri tabanından çekilmiştir. Pamuk yetiştiriciliğin yapıldığı bölge ve yakın çevresinde toplam 59 yağış istasyonunun verisi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 91 adet istasyonun bitkisel su tüketimleri (ET_c) ise Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Su Tüketim Rehberinden (TAGEM, 2017) alınmıştır. Bu veriler, ideal koşullarda uzun dönem bitki su

tüketimi değerlerini (mm) yansıtmaktadır.

Bu çalışmada, sonuçların görselleştirilebilmesi ve veri analizinin sağlanması amacıyla ArcMap 10.7 yazılımı kullanılmıştır. Noktasal yağış ve bitkisel evapotranspirasyon değerlerinin sürekli dağılımının ortaya koyulması ve bölgesel (il, ilçe) ortalamaların türetilmesi için alansal interpolasyon araçları ve (ordinary) Kriging yaklaşımı kullanılmıştır.

Küt ve lif pamuk istatistikleri genellikle birbirleri ile karıştırılabilmektedir. Bu çalışmada, tarımsal üretim ile ilgili değerlerde pamuk bitkisi veya kütlü pamuk kastedilmektedir. Uluslararası piyasa veya fiyatlandırmada ise lif pamuk ürünü kastedilmektedir. Bu çalışmada esas alınan TÜİK bitkisel üretim verilerine bakıldığında kütlü pamuktan lif pamuk üretim verimi %37, çığit üretiminin ise %60 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu bağlamda kütlü pamuktan lif ve çığit verimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$L = 0.37K \quad (11)$$

$$\Ç = 0.60K \quad (12)$$

Burada; K, kütlü pamuk üretim miktarı (kg), L, pamuk lifi üretim miktarı (kg), Ç ise çığit üretim miktarıdır (kg).

Bulgular ve Tartışma

Bitkisel üretim ve verim değerleri

Çalışma periyodu (2019-2023) içerisinde, Türkiye genelinde yıllık ortalama 460.7 bin hektar (ha) alanda 4.87 ton/ha verim ile 2.24 milyon ton (Mton) kütlü pamuk üretimi yapılmıştır. Bu, 0.83 Mton lif pamuğa denk gelmektedir. En düşük kütlü pamuk üretimi 2020 yılında 1.77 Mton; en yüksek üretim ise 2022 yılında 2.75 Mton olarak gerçekleşmiştir. Pamuk üretiminin en yoğun olduğu iller sırasıyla Şanlıurfa, Diyarbakır, Aydın, Hatay, İzmir, Adana, Manisa, Denizli, Mardin ve Adıyaman olarak verilebilir. Şanlıurfa, Türkiye'deki pamuk üretiminin %37.6'sını tek başına karşılamaktadır. Ulusal pamuk üretiminin yarısı ise Şanlıurfa ve Diyarbakır illerinden tedarik edilmektedir. Şanlıurfa'daki pamuk verimi 4.42 ton/ha ile Türkiye ortalamasının altında, Diyarbakır'daki verim ise 5.17 ton/ha ile ortalamanın üstündedir. Aydın'ın Söke; Diyarbakır'ın Bismil ve Şanlıurfa'nın Akçakale ilçeleri sırasıyla Türkiye'de en çok pamuk üretimi yapılan alt bölgeleri olup her birindeki üretim, Türkiye'nin toplam üretiminin yaklaşık %6'sının biraz üstündedir. Şanlıurfa'nın Viranşehir, Eyyübiye, Harran ve Haliliye ilçelerinden her biri ise ulusal pamuk üretiminin yaklaşık %5'ine denk gelmektedir. Çınar, Kırıkhan, Suruç, Siverek, Antakya, Karataş, Bergama, Reyhanlı ve Ceyhan ilçeleri de pamuk üretiminin kayda değer (~%2-3) olduğu diğer ilçelerdendir. Türkiye'de kütlü pamuk üretim miktarı ve veriminin ilçe bazlı dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. En yüksek pamuk verimi, Köyceğiz, Dalaman, Alaşehir, Salihli, Akhisar, Torbalı, Kınık ve Seyhan (6-7 ton/ha) gibi ilçelerde elde

edilmiştir. Şekil 2'de (alt) sarı ve kırmızı ile gösterilen ilçeler, nispeten düşük pamuk verimi; mor ve mavi ile gösterilen ilçeler ise yüksek pamuk verimi sergilemektedirler.

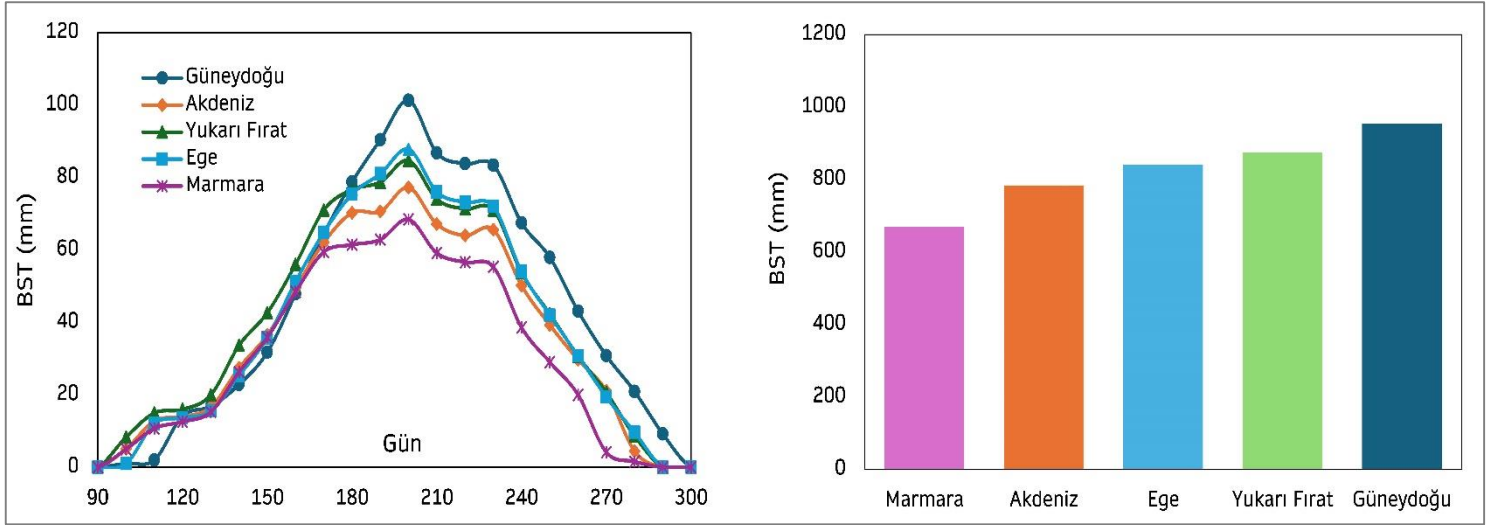
Bitki su tüketimleri

Ülkemizde pamuğun bitki su tüketimi 541-1153 mm arasında değişmekte olup, en düşük su tüketimi Yalova ili Çınarcık ilçesinde, en yüksek ise Adıyaman ili Kahta ilçesinde gerçekleşmektedir. Şekil 3'te Türkiye'nin 5 farklı bölgesindeki pamuk yetiştiriciliğinin 10'ar günlük ve sezonluk su tüketim değerleri karşılaştırılmış; Şekil 4'te ise aylık ve toplam değerler sürekli yüzey haritası şeklinde gösterilmiştir. Buna göre, Marmara bölgesi (669 mm) en düşük BST yüksekliğini sergilemekte, akabinde Akdeniz (883 mm) ve Ege (840 mm) bölgeleri gelmektedir. Güneydoğu Anadolu (953 mm) ve Yukarı Fırat (874 mm) bölgeleri en yüksek BST değerlerini yansıtmaktadır. Genellikle Nisan ayının ikinci on gününde başlayan pamuk ekimi, Güneydoğu bölgesinde Mayıs ayını bulmaktadır. Marmara bölgesinde vejetasyon süresi erken tamamlanan pamuk, Güneydoğu Anadolu bölgesinde daha geç toplanmaktadır. Nisan-Haziran periyodunda, BST değerleri arasında çok yüksek fark bulunmamakta; ancak Haziran-Ekim ayları arasında BST miktarında bölgeler arasında kayda değer varyasyonlar bulunmaktadır. Güneydoğu ve Yukarı Fırat bölgeleri, iklim koşulları ve pamuğun bitkisel özelliklerinden dolayı nispeten yüksek evapotranspirasyon değerleri sergilemektedir.

SA miktarları ve SSM değerleri

Türkiye'de pamuk üretiminin yeşil, mavi ve toplam SA miktarları sırasıyla 0.46, 3.68 ve 4.14 milyar m³ (Gm³) olarak hesaplanmıştır. İl ve ilçelerdeki mavi ve yeşil su akışları Şekil 5'te, il bazında mavi ve yeşil SA ve SSM miktarları, mavi su kullanımları ve yeşil su oranları Şekil 6'da, ilçe bazında farklı SA parametrelerinin harita üzerindeki dağılımı ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, pamuk tarımındaki mavi suyun %46'sı 1.7 Gm³ ile Şanlıurfa'da kullanılmaktadır. En yüksek mavi su tüketimleri sırasıyla Şanlıurfa'nın Akçakale, Viranşehir, Eyyübiye, Harran ve Haliliye; Diyarbakır'ın Bismil; Aydın'ın Söke ilçelerinde gerçekleşmektedir (Şekil 6). En yüksek yeşil su tüketimleri ise Söke, Bismil, Kırıkhan (Hatay), Viranşehir, Akçakale ve Eyyübiye ilçelerinde mevcuttur.

Etkili bir su yönetimi açısından, toplam su ayak izi skorlarının bölgesel veya havza bazında su mevcudiyeti ile birlikte değerlendirilmesi tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada, pamuk özelinde suyun iki temel rengi, su yönetimi açısından farklı incelemelere tabi tutulmaktadır. Yeşil su, sadece doğal yollardan depolanabilirliği, taşınmaz ve iletilemez olma özelliklerinden dolayı son derece lokal bir kaynaktır. Bölgeler arası yeşil su mevcudiyeti ise toprak, bitki, iklim ve coğrafya karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.
Farklı bölgelerdeki pamuk yetiştiriciliğinin su tüketim değerleri

Su yönetiminin en temel amaçlarından biri, sulama suyunu ve ilgili alt yapı, bakım ve onarım maliyetlerini minimuma indirmek sureti ile toprak neminden maksimum fayda sağlamak olmalıdır. SA analizi sonuçları bu açıdan değerlendirilirse mavi su kullanımında kayda değer düşüşler elde etmek mümkündür.

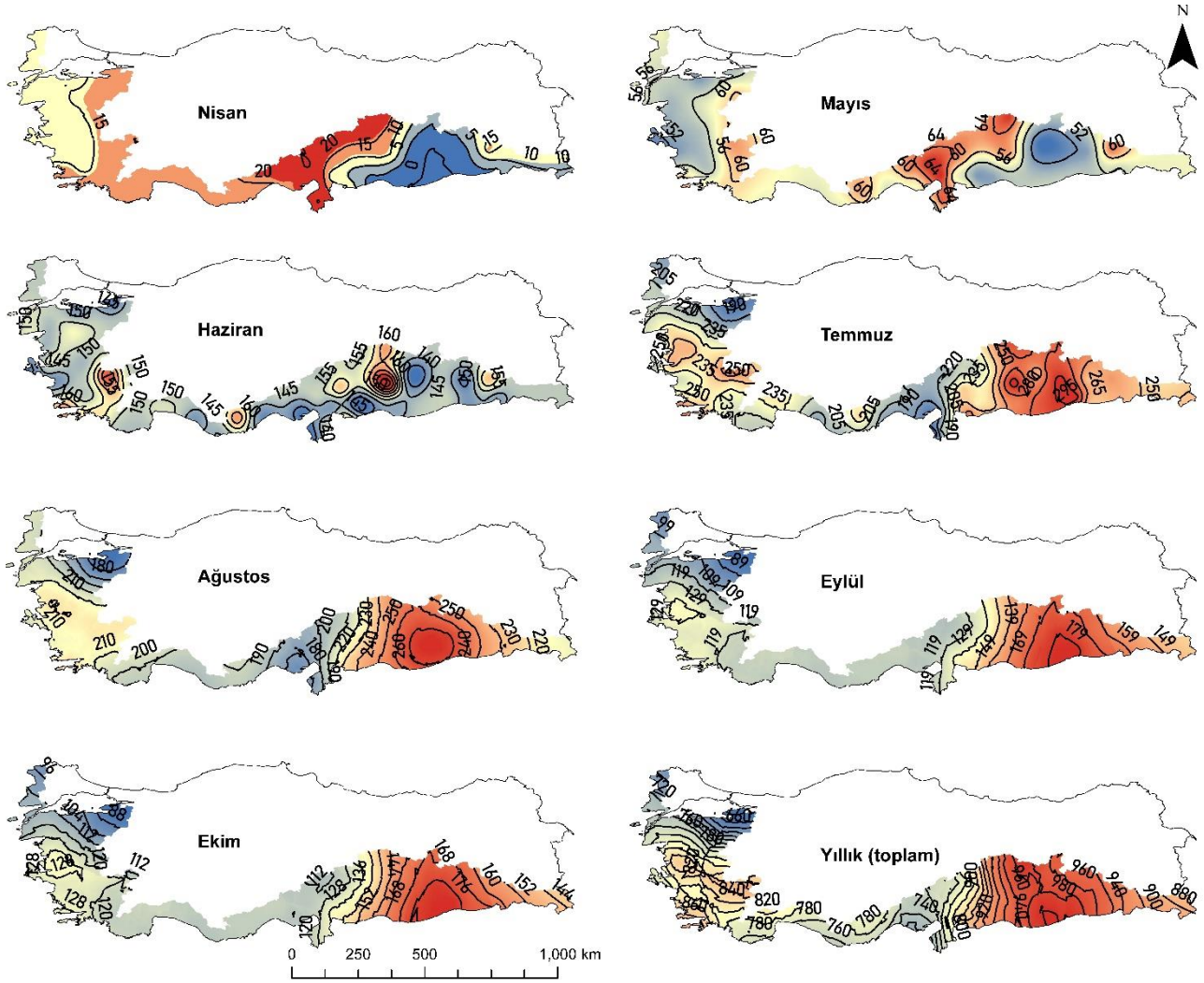
SA (m^3) sonuçları, her ne kadar ürünlerin mavi su içeriklerinden etkilense de aynı zamanda üretim miktarının da bir fonksiyonudur. Toplam su ayak izinin düşürülmesi, üretim miktarlarında da bir düşüş anlamına geleceğinden, etkili su yönetimi açısından tek başına bir amaç olmamalıdır. Dolayısıyla tarımsal ürünlerin daha az sulama suyu tükettiği bölgelerin belirlenebilmesi için birim SA parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu açıdan Şekil 6 ve 7'de m^3/ton ve m^3/ha cinsinden su ayak izi parametreleri de yansıtılmıştır. Burada, SSM veya kütle başı su ayak izi (m^3/ton), bir ton pamuk üretilmesi için gerekli (mavi veya yeşil) su hacmini ifade etmektedir. Benzer bir şekilde m^3/ha cinsinden su ayak izi parametresi ise alan başı harcanması gereken su hacmini göstermektedir. Ton başı su ayak izinin, hektar başı su ayak izine karşı avantajı, bitkisel üretim veriminin de bu parametre içinde kodlanmış olmasıdır. Bu bağlamda bölgeler arası karşılaştırma yapılırken SSM (m^3/ton) farklılıkları son derece önemlidir.

Mevcut çalışmanın sonuçlarına göre, Bozkurt (Denizli) ve Karaisalı (Adana) ilçeleri, sırasıyla 4288 ve 2845 m^3/ton ile mavi SSM parametresinin en yüksek olduğu ilçelerdir. Nitekim, bu ilçeler, sırasıyla 1.67 ve 2.11 ton/ha değeri ile Türkiye'de pamuk tarımının en düşük verim ile gerçekleştirildiği ilçeleri belirtmektedir. Bu ve benzer bölgelerde, pamuk tarımının bu verimler ile yapılması, su kaynaklarının sürdürülebilirliği adına elverişsiz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu ilçelerdeki istatistiklere bakıldığında, pamuk üretiminin 10 ton'un altında kaldığı ve toplamda kayda değer bir su kullanılmadığı

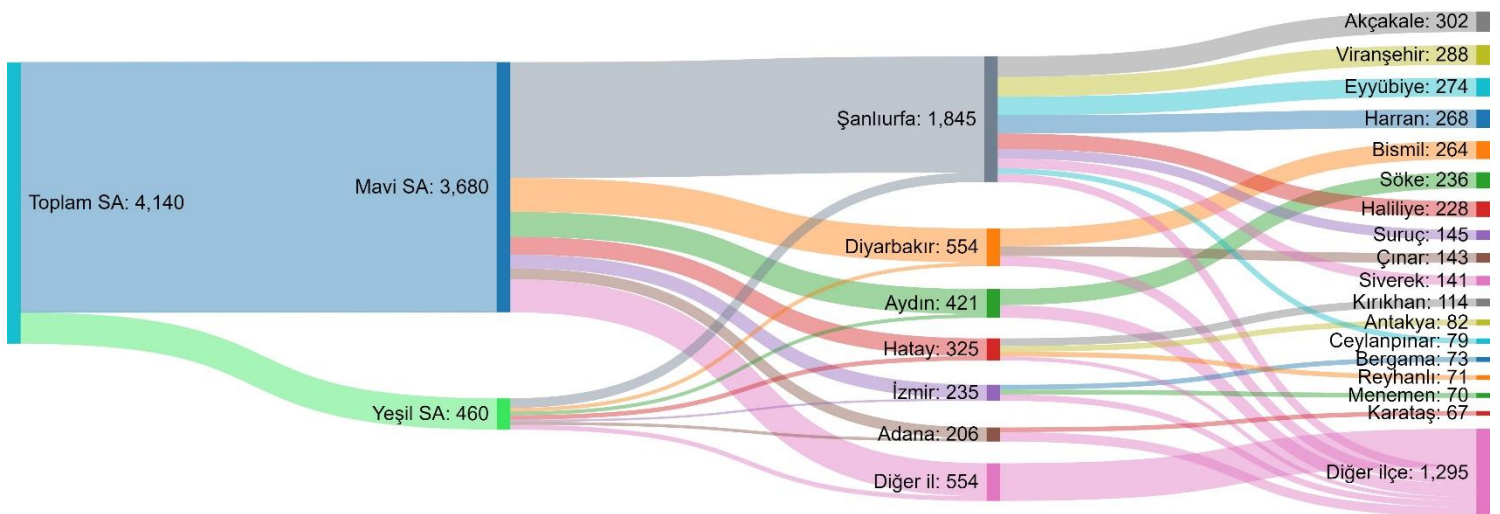
görülmektedir. Bu bağlamda, etkili bir su yönetimi çerçevesinin çizilmesi için hem mavi SSM değerinin düşüğü olduğu, hem de yoğun tarım yapılan ilçelerin belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre, Şanlıurfa'nın Akçakale, Suruç, Eyyübiye, Bozova ve Haliliye ilçeleri, sırasıyla Türkiye'de pamuk tarımının en çok mavi su tükettiği ilçelerden olup, mavi SSM değerleri de 2000 m^3/ton değerine yakın veya üzerindedir. Buralardaki yeşil SSM değerleri de oldukça düşük olup 200 m^3/ton 'un altındadır. Şanlıurfa ilinin geneline bakıldığı zaman ise mavi ve yeşil SSM değerleri sırasıyla 2018 ve 167 m^3/ton olarak bulunmuştur. Su kaynakları açısından bakıldığında, Şanlıurfa'daki pamuk, aşırı yüksek mavi; aynı zamanda bölgesel iklim karakteristikleri gereği oldukça düşük yeşil su tüketim değerlerine sahiptir. Şanlıurfa, burada tipik bir örnek olarak sunulmuştur. Diyarbakır ve Mardin bölgeleri de bu kadar uç olmasa da benzer karakteristik sergilemektedirler.

Pamuk tarımında su tüketiminin düşürülmesi için önerilen stratejiler

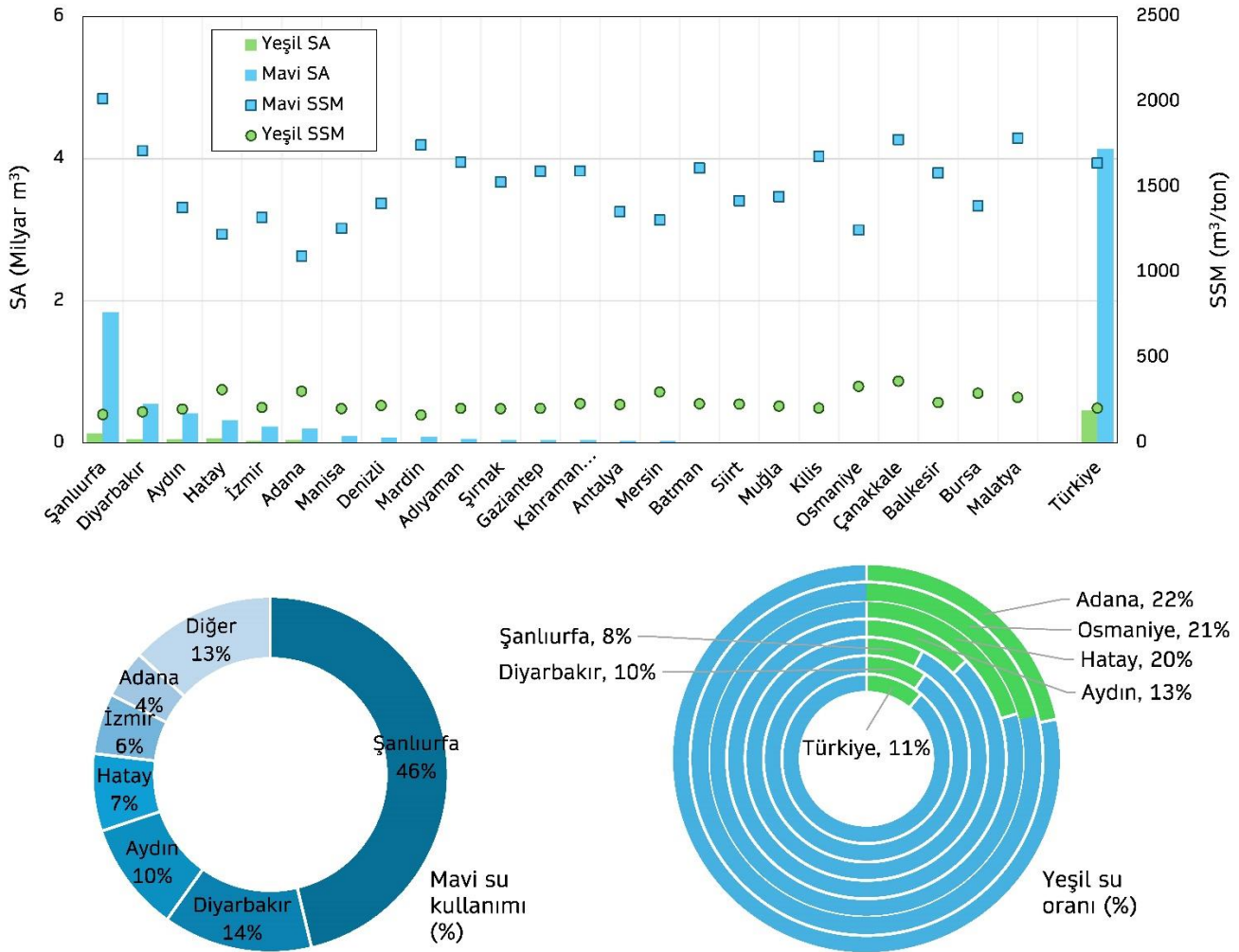
Bir önceki bölümde, bazı bölgelerde yakın üretim verimlerine sahip olunmasına rağmen, bitki su tüketimlerinde, iklim, topoğrafya, bitkisel karakteristikler vb. nedenlerden dolayı kayda değer farklılıkların olduğunu ortaya konmuştur. Bu bölümde ise, ülkedeki su kaynaklarının korunması adına pamuk özelinde geliştirilmesi gereken stratejiler incelenecektir. Bu kapsamda ilk dikkat edilmesi gereken husus, yoğun pamuk tarımında seçilmesi gereken bölgelerin gözden geçirilmesidir. Buna göre Şekil 8'de Türkiye genelinde aylık ve yıllık teorik (uzun dönem) yeşil ve mavi SA yükseklikleri paylaşılmıştır. Söz konusu haritaların evapotranspirasyon ve etkili yağışın bir fonksiyonu (Denklem 5 ve 6) olduğu unutulmamalı, geleceğe yönelik planlamalarda bu haritalar bitkisel verim (Şekil 2) ile değerlendirilmelidir.



Şekil 4.
Türkiye'de pamuk yetiştiriciliğinin su tüketim haritası (mm)



Şekil 5.
Türkiye'de pamuk tarımının mavi ve yeşil su akışları



Şekil 6.
Pamuk üretiminin il bazında mavi ve yeşil su ayak izi göstergeleri

Bitki gelişim periyodunun geç başlamasından dolayı Nisan ve Mayıs aylarında Güneydoğu bölgesinde yoğun bir yeşil ve mavi su kullanımı söz konusu değildir. Ayrıca, bu bölgede nispeten düşük yağış ve bununla ilişkili toprak neminin az olmasından dolayı, yılın geri kalan ayları boyunca (Ekim hariç) yeşil su ayak izi oldukça düşük seyretmektedir. Türkiye genelinde pamuğun yeşil su ayak izinin en yoğun olduğu merkezler iki farklı bölgede yoğunlaşmaktadır. Bunlar sırasıyla Adana ve Edirne illeri olup, buralara yakın bölgeler de benzer karakteristik sergilemektedir. Mavi su ayak izi yüksekliği dağılımına bakıldığında ise yine benzer coğrafi sebeplerden dolayı Güneydoğu bölgesindeki değerlerin oldukça yüksek olduğunu görmekteyiz. Daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilmesi için il ve ilçe bazındaki ortalamaların Türkiye geneli sonuçlar ile kıyaslanması önemli görülmektedir.

Yeşil ve mavi su yükseklikleri, sanal su muhtevası değerleri, verim ve toplam ulusal üretimi karşılama miktarları Şekil 9'da Türkiye ortalamaları ile normalize edilerek boyutsuzlaştırılmıştır. Buna göre şekildeki her bir parametre, ilgili parametrenin o il ve ilçedeki miktarının Türkiye ortalamasından farkının yüzdesini göstermektedir.

Karşılama oranı ise, o bölgedeki üretimin Türkiye'deki üretimin (ton) % kaçını karşıladığını ifade etmektedir. Negatif deviasyonlar, ilgili parametrenin Türkiye ortalamasının ne kadar altında (%); pozitif deviasyonlar ise ne kadar üstünde olduğu göstermektedir. İl ve ilçelerin sıralanışı ise mavi SSM parametresinin düşüklüğüne göre yapılmıştır. Sonuç olarak Şekil 9'daki grafiklerin sağ tarafı pamuk ekiminin su kaynakları yönünden en elverişsiz; sol tarafı ise en elverişli olduğu bölgeleri göstermektedir. Buna göre, Siverek, Karaköprü, Mazıdağı, Hilvan ve Derik ilçeleri su kaynaklarının korunması yönünden Türkiye'nin en elverişsiz bölgeleridir. Benzer bir şekilde Şanlıurfa, Malatya, Çanakkale, Mardin ve Diyarbakır illeri, mavi su tüketimleri en yüksek olan şehirleri temsil etmektedir. Kilis ve Adıyaman'da yapılacak yoğun pamuk tarımı, Türkiye'nin su tüketimini kayda değer bir şekilde değiştirmeyecek; Batman'dan itibaren grafikte sola doğru gösterilen şehirlerdeki tarım ise mavi su tüketimini önemli ölçüde düşürecektir. Çalışmamız kapsamında Türkiye'de pamuk ekimine en elverişli ilçeler ise Seyhan, Yüreğir, Karataş, Arsuz, Belen, Yumurtalık, Ceyhan gibi ilçeler; Adana, Hatay, Osmaniye ve Manisa gibi şehirlerdir.

Mevcut çalışma kapsamında yapılan analizler, SA

çalışmalarının önemli sonuçlarından birini daha ortaya çıkarmaktadır. Buna göre, Çanakkale ili, Türkiye’de SA parametreleri yönünden sıra dışı bir yere sahiptir. Şekil 4’teki evapotranspirasyon miktarları ve Şekil 8’deki yeşil ve mavi SA yükseklikleri haritaları, Çanakkale bölgesindeki pamuk ekiminin alan başına oldukça az su tükettiği bir merkez olarak öne çıkarmaktadır. Buna göre, Çanakkale ilinde mavi su yüksekliği, kayda değer bir şekilde düşüktür (640 mm). Ancak, üretim verimindeki azlıktan dolayı (3.60 ton/ha) mavi SSM oldukça yüksek çıkmakta, bu durumu Çanakkale ilini en dezavantajlı illerden biri olma konumuna (Şekil 9) getirmektedir. Buna göre, Çanakkale ve yakın bölgelerde eğer pamuk verimi modern zirai metotlarla iyileştirilip, Türkiye ortalamalarına yaklaştırılabilirse, gelecekte buranın önemli bir pamuk üretim merkezi olma potansiyeli vardır. Ancak bu çalışma kapsamında mevcut verimler ile Çanakkale bölgesinde pamuk tarımının önemli ölçüde su kaybı yaşanmasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

1980’li yıllara kadar Türkiye’deki pamuk üretiminin büyük çoğunluğu Akdeniz, ardından Ege bölgelerinde gerçekleştirilmekte idi. Ancak GAP sulamalarının başlaması ile birlikte 1995 yılından itibaren Güneydoğu’daki pamuk üretiminde kayda değer artışlar ortaya çıkmış, 2000 yılından bugüne, GAP sulamalarının artması ile Ege ve Akdeniz bölgesindeki pamuk ekim oranları önemli ölçüde azalmış, pamuğun yarısından çoğu artık GAP bölgesinde üretilmeye başlanmıştır. Harran ovasındaki pamuk ekiminin, toplam ürün deseni içerisinde yerinin 2000’li yıllardan bugüne kadar alan bazında % 75-90 arasında değiştiği raporlanmıştır (Çopur, 2018).

Ancak bu çalışma kapsamında yapılan analizler, ülkedeki geniş alan ve iklim çeşitliliği düşünüldüğünde Güneydoğu bölgesinde oldukça yoğun bir şekilde yapılan pamuk tarımının su kaynakları yönünden önemli miktarda kayıplara sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Güneydoğu’da pamuk tarımına en elverişli bölge ise, nispeten yüksek yeşil su muhtevası ile Siirt-Batman hattıdır. Gelecekte su yapılarının planlanmasında pamuk yönünden bu bölgeye ağırlık verilebilir. Ancak, temel sonuçlarımız ulusal üretimin genelinin Adana-Hatay-Osmaniye bölgesine kaydırılmasının gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Adana ve Şanlıurfa, ulusal pamuk tarımının su tüketimi açısından iki uç örnek olarak ortaya çıkmaktadır. Ortalama bir ton pamuk yetiştiriciliğinde Şanlıurfa ilinde kullanılan su, Adana ilinden yaklaşık 923 m³ daha fazladır. Ülkedeki pamuk tarımının ağırlıklı olarak bu bölgeye taşınması durumunda, toplam mavi su tüketiminin yaklaşık %30’una denk gelen 1.1 Gm³ değerinden fazla suyun tasarruf edilmesi mümkündür.

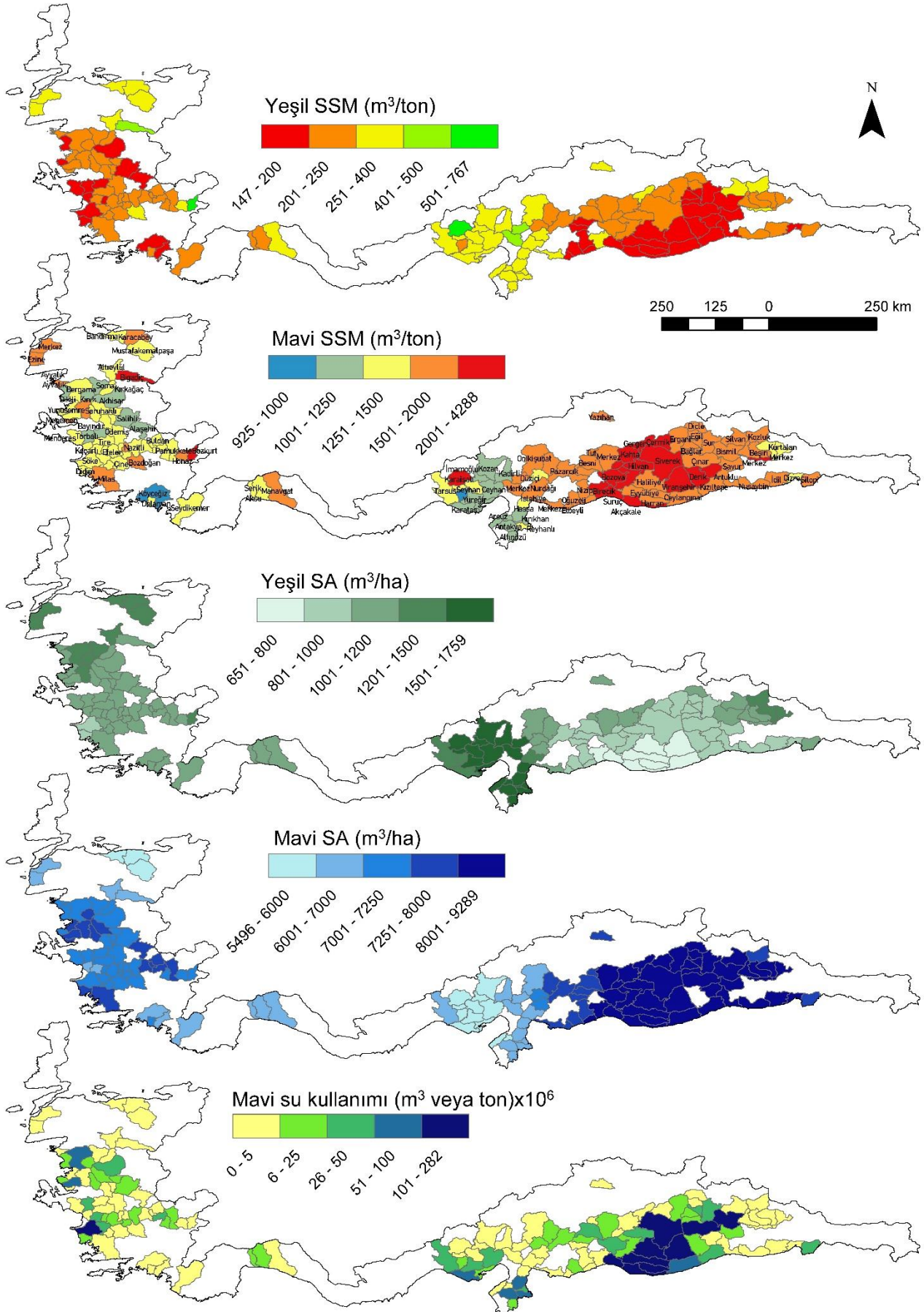
Su tüketimini düşürmeye yönelik diğer uygulamalar

Bitkisel üretim veriminin iyileştirilmesi, su kaynaklarının korunmasına en az diğer parametreler kadar etki

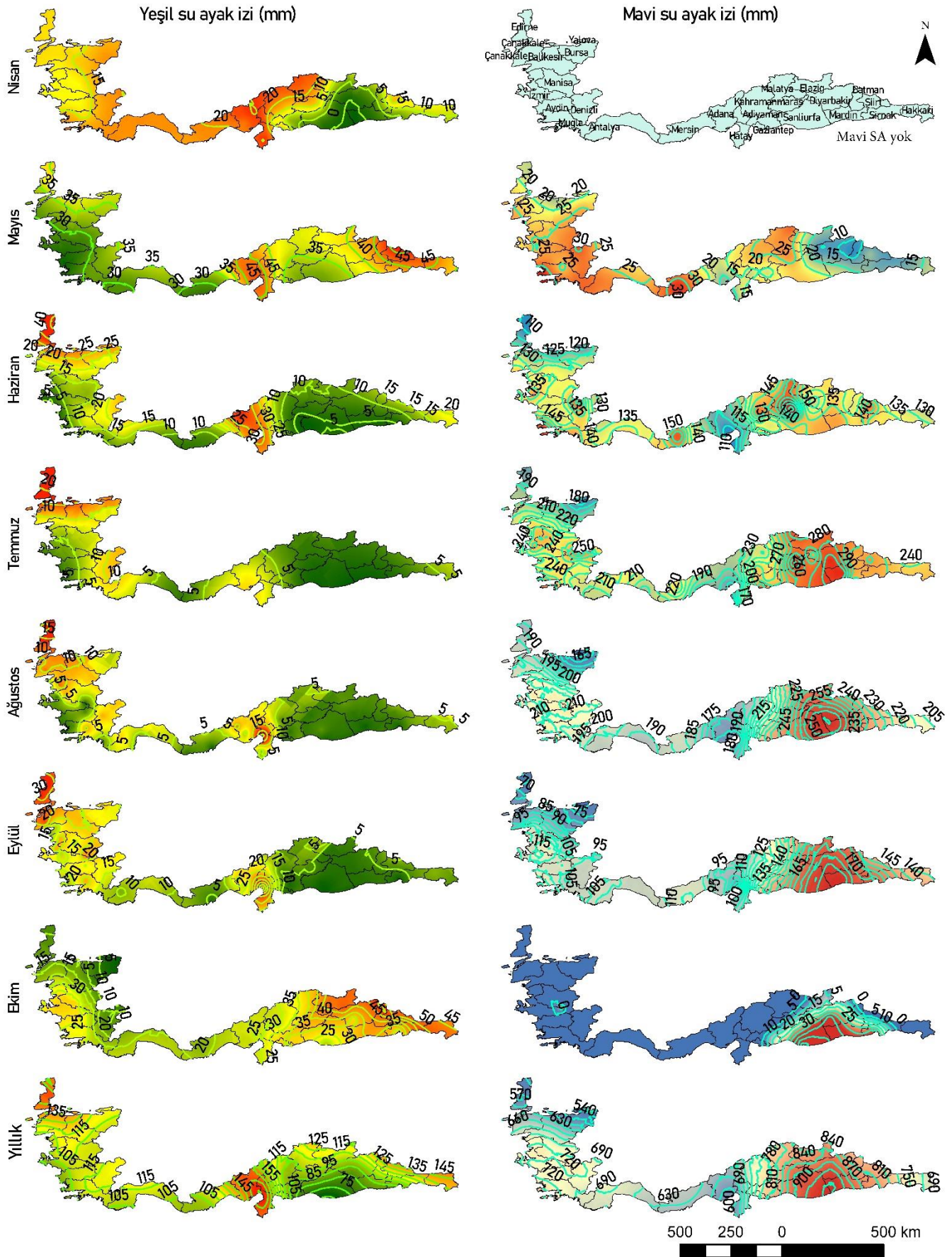
etmektedir. Ekim zamanı, bitki sıklığı (Bozbek & Ünay, 2005) gibi tarla ve arazi yönetimi uygulamaları, ürün kalitesinin yanında verimi de direkt olarak etkilemekte, bu da kullanılan suyun minimize edilmesini sağlamaktadır. Farklı pamuk türlerinin tarlalarda denemesinin yapılmasının (Ekinci & Gençer, 2015; E. Karademir vd., 2015; Mustafayev vd., 2005) ve farklı azot ve fosfor uygulamalarının (Ç. Karademir vd., 2005) verimi iyileştirdiği görülmüştür. Benzer bir şekilde sulama aralığı ve sulama düzeylerinin (Dağdelen vd., 2009) farklı bölgelerdeki pamuk için optimize edilmesi suretiyle kayda değer miktarlarda su tasarrufu sağlanabilir. Bu kapsamda toprağın su tutma kapasitesini artıracak organik ve inorganik maddelerin uygulanması ve su hasadı gibi tekniklerinin geliştirilmesi yerinde olacaktır. Bu sayede yeşil su miktarı artırılacak olup, yeşil suyun kullanımı maksimize edilebilecektir.

Kısıntılı sulama uygulamaları da su ayak izinin düşürülmesini sağlayan önemli tedbirlerdendir. Sulama suyundaki kontrollü eksiltmeler ile (Tunalı vd., 2019) her ne kadar bitki veriminde kısmi düşüşler yaşansa bile, bitki su tüketimi kayda değer miktarlarda azaltılabilir. Cheng vd. (2021) yaptıkları global analizlerde, kısıntılı sulama metotları ile WP (birim su başına tarımsal ürün üretim miktarı) değerlerinde ortalama %5.3’lük artış olmasına karşın, verimde %20.2’lik bir kayıp yaşanacağını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte fide ve çiçeklenme aşamasında kısıtlı sulama yapılması durumunda ise WP’de %16.2’lik artış sağlanabileceği gösterilmiştir. Zoidou vd. (2017) kısıtlı sulamanın pamuğun sanal su muhtevasını (m³/ton) %35’e kadar azaltabileceği; buna karşın mahsul veriminde % 30’a varan verim kayıpları yaşanabileceği göstermişlerdir. Ahmad vd. (2021) ise kısıntılı sulama ile pamuk veriminde %8-9 arasında verim kaybı görülmesine karşın su kullanım veriminde (kg/m³ha) %75’e varan artış gözlemlemişlerdir. Li vd. (2019) ise diğer çalışmalara paralel olarak kısıtlı sulama ile su verimliliğinin artacağını, fakat pamuk veriminin azalacağını ifade etmişler ve kısıtlı sulama ile sulama suyundan %37 oranında tasarruf sağlanabilmesine karşın bitki üretim veriminde %17.5 düşüş yaşanacağı göstermişlerdir. Söz konusu konu oldukça önem taşımakta olup, farklı gelişim aşamalarında uygulanacak olan kısıtların daha detaylı incelenmesi gerekmektedir. Bu sayede daha yüksek verimlerin elde edilmesi olasıdır.

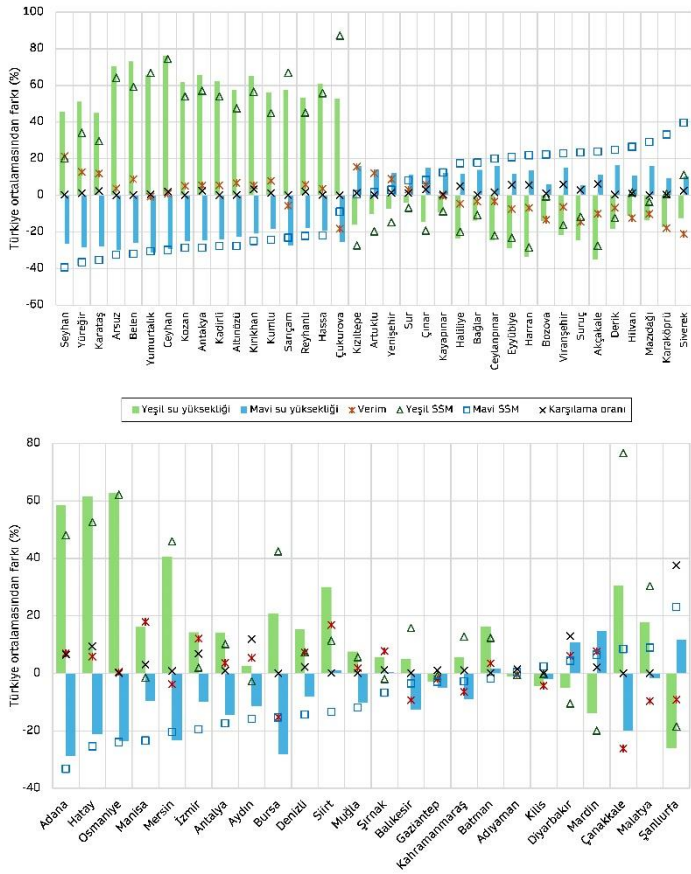
Mevcut çalışmada uzun dönem iklim verileri ve 2019-2023 bitkisel üretim verileri baz alınmıştır. Ancak, iklim değişikliğinin Türkiye geneli pamuk verimini % 14’e kadar düşüreceği (Gürkan vd., 2017) tahmin edilmektedir. Bu durum, gelecek yıllarda pamuğun su ayak izinde önemli değişiklikler olacağını ortaya koymakta ve ekim için uygun bölgelerin değişebileceği sonucunu doğurmaktadır. Bu açıdan, farklı bölgelere adapte olmuş pamuk türleri üzerinde yapılacak zirai çalışmalar (Köken & İlker, 2020) önem arz etmektedir.



Şekil 7.
Pamuk üretiminin ilçe bazlı alansal su ayak izi göstergeleri



Şekil 8. Türkiye genelinde pamuk üretiminin teorik ve zamansal su ayak izi yükseklikleri



Şekil 9. Pamuk üretiminin yeşil ve mavi su yükseklikleri, sanal su muhtevası değerleri, verim ve toplam ulusal üretimi karşılama oranları

Sonuçların önceki çalışmalar ile kıyaslanması

Engin (2019) tarafından yapılan çalışmada, pamuktaki yeşil su ayak izi oldukça düşük hesaplanmış, mavi su ayak izi değerleri ise bu çalışma ile tutarlı görünmemektedir. Alper (2015) ile kıyaslandığında, bu çalışmada ulaşılan mavi SSM değerleri daha düşük çıkmıştır. Ancak, bu çalışmada elde edilen yeşil ve mavi SSM dağılımları, Avanoz (2020) tarafından CROPWAT programı kullanılarak hesaplanan bitkisel su tüketim değerleri ile oldukça tutarlı görünmektedir. Bu çalışmada elde edilen ülke ortalamaları, Chapagain vd. (2006) tarafından hesaplanan, pamuğun mavi su tüketimleri (874 mm) ve etkili yağış (90 mm) değerleri (Şekil 8) ile oldukça tutarlıdır. Esetlili vd. (2022) tarafından Küçük Menderes havzası özelinde elde edilen sonuçlara göre, yeşil SSM (292 m³/ton) her ne kadar bu çalışma ile uyumlu olsa da, mavi SSM (2331 m³/ton) değerleri, pamuğun o bölgedeki bitkisel evapotranspirasyon değerleri göz önüne alındığında yazarlar tarafından oldukça yüksek hesaplanmıştır. Bu çalışmada elde edilen ulusal ortalama değerler Muratoglu ve Avanoz (2021) tarafından raporlanan 2008-2019 yılları arasındaki yeşil (244 1728 m³/ton) ve mavi SSM (1728 m³/ton) değerleri ile de paralellik arz etmektedir.

Pamuk üretiminin Dicle-Fırat bölgesinde sürdürülebilirliği ile ilgili kaygılar Pilevneli vd. (2023) tarafından da not edilmiştir. Bu çalışmanın Türkiye özelinde yapılan diğer çalışmalardan farkı, çok sayıda yağış ve bitki istasyonlardaki alansal varyasyonların yansıtılması ve en güncel bitkisel üretim verilerinin kullanılması suretiyle bugüne kadarki en geniş çözünürlükteki sonuçların yansıtılması ve bu sonuçların bölgesel ve ulusal su güvenliği açısından irdelenmesidir.

Kısıtlamalar

Bu çalışma kapsamında yapılan varsayımlardan kaynaklanan birtakım kısıtlamalar mevcuttur. Öncelikle, bitki su tüketiminin (BST), ideal koşullardaki evapotranspirasyona (E_{T_c}) eşit olduğu varsayılmış, su stresi ve kısıntılı sulama durumları göz önüne alınmamıştır. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, net bitki su tüketimini yansıtmaktadır. Bu bağlamda sulama randimanının %100 olduğu varsayılmış, farklı sulama yöntemlerinin su ayak izine etkisi dikkate alınmamıştır. Tarlada pamuğun sulanması sırasında kullanılan enerjinin su ayak izi, hesaplara dahil edilmemiştir. Su kirliliğinin bir göstergesi olan gri su ayak izi analizleri bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. İklim değişikliğinin olası etkileri göz önünde bulundurulmamıştır. Fabrikada kütlü pamuğun lif ve çiğit olarak ayrıştırılmasında kullanılan enerji ve tüketilen suyun ayak izi hesaplarda dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada pamuk su tüketimi açısından incelenmiş, nihai ürün kalitesi ve ticaret ile ilgili hususlar göz önünde bulundurulmamıştır.

Bu çalışmada kütlü pamuğun su ayak izi analizleri yapılmıştır. Lif, çiğit, yağ, kumaş vb. alt ürünlerin sanal su muhtevalarının belirlenmesi için kütlü pamuğun SSM değerlerinin, ilgili alt ürün fraksiyonuna bölünmesi ve bu süreçlerde de işlemde geçen su miktarının da eklenmesi tavsiye edilmektedir. Tekstil endüstrisindeki alt proseslerdeki su ayak izi değerleri için Başkılıç (2023) çalışması referans alınabilir.

Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye’de ekimi yapılan kütlü pamuğun su ayak izi analizleri yapılmış, işlemde geçen yeşil (toprak nemi) ve mavi su (yüzey ve yeraltı suyu) kaynakları yüksek çözünürlüklü alansal ve zamansal değerlendirmelere tabi tutulmuştur. Bu çalışmanın temel vizyonu, ulusal pamuk tarımında tüketilen su kaynaklarının miktarındaki bölgesel farklılıkların görselleştirilmesi ve analiz edilmesi sureti ile su yönetimi çalışmalarına katkıda bulunmaktır. Bu bağlamda, GAP bölgesi, Dicle-Fırat havzası veya Şanlıurfa-Diyarbakır bölgelerindeki yoğun pamuk tarımının düşük yeşil su ve oldukça yüksek mavi su tükettiği tespit edilmiştir. Temel bulgularımıza göre, ülkedeki pamuk ekiminin Adana, Hatay, Osmaniye illerinde veya Seyhan, Yüreğir, Karataş, Arsu, Belen, Yumurtalık, Ceyhan, Kozan, Antakya vs. gibi yeşil su muhtevası yüksek olan ilçelerde (Şekil 9)

yoğunlaştırılmasının, sulama suyu tüketiminde % 30'lara varan düşmeler ve bu suretle GAP bölgesindeki su kaynaklarının sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayacağı tespit edilmiştir. Uzun yıllar büyük alt yapı maliyetleri ile inşa edilen GAP sulamalarında, bölgesel su tüketimi daha düşük ürünler yetiştirecek şekilde ağırlıklandırılması ve tarımda fırsat maliyetine dikkat edilmesi elzemdir. Ülkemizdeki su kaynaklarının tasarruf edilebilmesi ve sürdürülebilirliğin artırılması için, bu çalışmada sunulan şekil, grafik ve temel çıktıların su yönetim otoriteleri tarafından gelecek planlamalarına dahil edilmesi tavsiye edilmektedir. İleriki çalışmalarda, pamuk tarımının yeraltı suyu kaynakları üzerinde oluşturduğu baskılar ve iklim değişikliğinin pamuk tarımının su tüketim paternleri üzerindeki potansiyel etkisinin analiz edilmesi tavsiye edilmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Teşekkür: Bu makalenin yazım ve düzeltilmesi süreçlerindeki katkı, düzeltme ve eklemelerinden dolayı Muhammed Sungur DEMİR ve Prof. Dr. İlker ANGIN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Etik Onayı: Bu çalışmada etik onay gerekmemektedir.

Çıkar Çatışması: Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Acknowledgments: I would like to thank Muhammed Sungur DEMİR and Prof. Dr. İlker ANGIN for their contributions, corrections and additions during the writing and editing of this article.

Conflict of Interest: The author has no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The author declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

- Ahmad, H. S., Imran, M., Ahmad, F., Rukh, S., Ikram, R. M., Rafique, H. M., Iqbal, Z., Alsahli, A. A., Alyemeni, M. N., Ali, S., & Tanveer-ul-Haq. (2021). Improving Water Use Efficiency through Reduced Irrigation for Sustainable Cotton Production. *Sustainability*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su13074044>
- Allan, J. A. (1998). Virtual water: A strategic resource. *Ground Water*, 36(4), 545-547.
- Alper, F. (2015). *Sürdürülebilirlik kavramı içerisinde su ayak izi: Tekstil sektörü örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Avanoz, Z. (2020). *Türkiye'de tarımsal üretimin su ayak izinin hesaplanması* [Yüksek Lisans Tezi]. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Başkılıç, Y. (2023). *Sürdürülebilir su yönetimi kapsamında su ayak izi ve tekstil endüstrisinde bir örnek uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayhan, E., Sağır, A., Uygur, F. N., Bayhan, S. Ö., Eren, S., & Bayram, Y. (2015). GAP Bölgesi pamuk alanlarındaki bitki koruma sorunlarının belirlenmesi. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 5(3), Article 3. <https://doi.org/10.16969/teb.92735>
- Bozbek, T., & Ünay, A. (2005). Ekim zamanı ve bitki sıklığının pamuk verimi üzerine etkisi. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15(1), Article 1.
- Candemir, S., Kizilaslan, N., Kizilaslan, H., Uysal, O., & Aydoğan, M. (2017). Kahramanmaraş İlinde Dane Mısır ve Pamuk Üretiminde Girdi Gereksinimi ve Karlılıkları Açısından Karşılaştırmalı Analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(1), Article 1.
- Caner, C. B., & Engindeniz, S. (2020). Türkiye'de Pamuk Üretimine ARIMA Modeli İle Tahmini. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 26(1), Article 1. <https://doi.org/10.24181/tarekoder.681079>
- Cevheri, C. İ., Yılmaz, A., & Beyyavaş, V. (2021). Harran ovası koşullarında yetiştirilen bazı pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşitlerine uygulanan organik ve mikrobiyal gübrelerin verim ve verim öğelerine etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(1), Article 1. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.737298>
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). *Water footprints of nations*. <https://research.utwente.nl/en/publications/water-footprints-of-nations>
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60(1), 186-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.027>
- Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, S., Wang, Y., Li, Y., Sun, X., Yang, L., & Zhang, F. (2021). Water productivity and seed cotton yield in response to deficit irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 255, 107027. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107027>
- Çopur, O. (2018). GAP Projesinin Türkiye Pamuk Üretimine Etkisi: Son On Yıldaki Değişimler. *ADYUTAYAM Dergisi*, 6(1), Article 1.
- Dağdelen, N., Sezgin, F., Gürbüz, T., Yılmaz, E., & Akçay, S. (2009). Farklı sulama aralığı ve sulama düzeylerinin pamukta bazı verim özellikleri ve lif kalitesi üzerine etkisi. *Adnan Menderes*

- Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 6(1), Article 1.
- Dağdelen, N., Yılmaz, E., & Durdu, Ö. F. (2005). Aydın ovası koşullarında yüzey sulama yöntemi ile sulanan pamuğun su tüketimi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(2), Article 2.
- Ekinci, R., & Genç, O. (2015). Pamuk Bitkisi Çift-Melez F1 Döl Kuşağında Verim ve Verim Özelliklerinin Genetik Yapısının Belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), Article 1.
- Ektiren, Y., & Değirmenci, H. (2018). Kısıntılı Sulama Uygulamalarının Pamukta (*Gossypium hirsutum* L.) Yaprak Bitki Besin Elementlerine Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(5), Article 5. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.399149>
- Engin, S. (2019). *Türkiye’de pamuk üretiminin su ayak izi* [Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü]. <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/71431>
- Erdem, E. (2021). *Seyhan, Ceyhan ve Asi havzalarının tarımsal su ayak izinin hesaplanması* [Yüksek Lisans Tezi]. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ertek, A., & Kanber, R. (2002). Damla Sulama Yönteminin Pamuk Sulamasında Topraktaki Tuz Dağılımına Etkileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), Article 2.
- Erten, E., & Dağdelen, N. (2020). Aydın Ovası Koşullarında İnfrared Termometre Tekniği ile Pamukta Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Sulama Zamanının Belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.33202/comuagri.687598>
- Esetlili, M. T., Serbeş, Z. A., Çolak Esetlili, B., Kurucu, Y., & Delibacak, S. (2022). Determination of Water Footprint for the Cotton and Maize Production in the Küçük Menderes Basin. *Water*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/w14213427>
- Eski, Ö., & Kayalak, S. (2018). Türkiye’de Pamuk Üretimi İçin Bir Öngörü Modeli: Var Yaklaşımı. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6, Article. <https://doi.org/10.33202/comuagri.503960>
- FAO. (2024). *CLIMWAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>
- Gürkan, H., Bayraktar, N., & Bulut, H. (2017). İklim Değişikliği Nedeniyle Artan Kuraklığın Ayçiçeği ve Pamuk Verimi Üzerine Etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 216-221. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.349207>
- Haliloğlu, H. (2016). Pamuk Üzerine Sıcaklık Stresinin Etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(4), Article 4.
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061-3081. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Routledge.
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- ICAC. (2024). *International Cotton Advisory Committee, Global cotton statistics*. https://icac.shinyapps.io/ICAC_Open_Data_Dashboard/
- İraz, E. (2021). *Fırat havzasının su ayak izinin hesaplanması* [Yüksek Lisans Tezi]. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karademir, Ç., Doran, E. K. İ., & Altikat, A. (2005). Diyarbakır Ekolojik Koşullarında Farklı Azot ve Fosfor Uygulamalarının Pamukta Verim ve Lif Teknolojik Özelliklere Etkisi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 2005(1), Article 1.
- Karademir, E., Karademir, Ç., Ekinci, R., & Sevilmiş, U. (2015). İleri Generasyondaki Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Hatlarında Verim ve Lif Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.19159/tutad.60964>
- Kılıçaslan, S., Ekinci, R., & Arslanoglu, M. C. (2023). Pamuk Bitkisi Üretim Alanı Ortam Nem ve Sıcaklık Değerlerinin, SAR ve Optik Uydu Görüntüleri ile Tahmin Edebilirliğinin Araştırılması. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.21597/jist.1265099>
- Köken, İ., & İlker, E. (2020). Ege Bölgesine Uygun Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.614833>
- Li, H., Qi, Z., Gui, D., & Zeng, F. (2019). Water use efficiency and yield responses of cotton to field capacity-based deficit irrigation in an extremely arid area of China. *International Journal of*

- Agricultural and Biological Engineering*, 12(6), Article 6.
<https://doi.org/10.25165/ijabe.v12i6.4571>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600.
<https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Memiş, S., & Özpinar, A. (2021). Manisa İli Pamuk Üreticilerinin Bitki Koruma Uygulamaları. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(1), Article 1.
<https://doi.org/10.28979/jarnas.890313>
- Muratoglu, A. (2019). Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, 106, 105467.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105467>
- Muratoglu, A. (2020a). Assessment of wheat's water footprint and virtual water trade: A case study for Turkey. *Ecological Processes*, 9(1), 13.
<https://doi.org/10.1186/s13717-020-0217-1>
- Muratoglu, A. (2020b). Grey water footprint of agricultural production: An assessment based on nitrogen surplus and high-resolution leaching runoff fractions in Turkey. *Science of The Total Environment*, 742, 140553.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140553>
- Muratoglu, A. (2022a). Applications and Response Formulations of Water Footprint Methodology for Conservation of Water Resources. İçinde D. A. DellaSala & M. I. Goldstein (Ed.), *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation* (ss. 360-370). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00090-8>
- Muratoglu, A. (2022b). Water Footprint: Concept and Methodology. İçinde D. A. DellaSala & M. I. Goldstein (Ed.), *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation* (ss. 351-359). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00034-9>
- Muratoglu, A., & Avanoz, Z. (2021). Spatial analysis of blue and green water footprints of agricultural crop patterns: Turkey. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 174(6), 291-308.
<https://doi.org/10.1680/jwama.20.00085>
- Muratoglu, A., Bilgen, G. K., Angin, I., & Kodal, S. (2023). Performance analyses of effective rainfall estimation methods for accurate quantification of agricultural water footprint. *Water Research*, 238, 120011.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120011>
- Muratoglu, A., Iraz, E., & Ercin, E. (2022). Water resources management of large hydrological basins in semi-arid regions: Spatial and temporal variability of water footprint of the Upper Euphrates River basin. *Science of The Total Environment*, 846, 157396.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157396>
- Muratoğlu, A. (2019). Assessment of water footprint of production: A case study for Diyarbakır province. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), Article 2.
<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.543933>
- Mustafayev, S. A., Efe, L., & Killi, F. (2005). Azerbaycan'da Elde Edilmiş Bazı Mutant Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Çesitlerinin Şanlıurfa Koşullarında Verim ve Lif Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 18(2), Article 2.
- OECD-FAO. (2021). Cotton. İçinde *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Ödemiş, B., Candemir, D. K., Delice, H., & Karazincir, K. (2018). Hatay Koşullarında Farklı Su Stres Düzeylerinin Pamuk (*Gossypium Hirsutum* L.) Bitkisinde Vegetatif ve Generatif Özelliklere Etkilerinin Belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1), Article 1.
- Özüdoğru, T. (2021). Dünya ve Türkiye'de pamuk üretim ekonomisi. *Tekstil ve Mühendis*, 28(122), Article 122.
- Özüdoğru, T. (2023). *TEPGE Pamuk Durum Tahmin Raporu*. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü.
- Pathwardhan, A. S., Nieber, J. L., & Johns, E. L. (1990). Effective Rainfall Estimation Methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116(2), 182-193. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1990\)116:2\(182\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:2(182))
- Pilevneli, T., Capar, G., & Sánchez-Cerdà, C. (2023). Investigation of climate change impacts on agricultural production in Turkey using volumetric water footprint approach. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 605-623.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.013>
- Sarı, Ö., & Dağdelen, N. (2010). Damla sulama yöntemiyle sulanan pmaukta farklı lateral aralıkların pamuk su-verim ilişkileri üzerine

- etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), Article 2.
- TAGEM. (2017). *Türkiye’de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri*. TAGEM.
- Tanrıverdi, Ç., Değirmenci, H., Gönen, E., & Şenyiğit, U. (2018). Doğu Akdeniz Bölgesinde Farklı Sıra Aralıklarının Pamuk Bitkisinin (*Gossypium hirsutum* L.) Verim ve Sulama Suyu Miktarına Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(2), Article 2. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.287802>
- Telatar, E., Türkmen, Ş., & Teoman, Ö. (2016). Pamuk borsalarında oluşan fiyatların etkinliği. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(2), Article 2.
- Tunalı, S. P., Gürbüz, T., Akçay, S., & Dağdelen, N. (2019). Aydın Koşullarında Pamuk Çeşitlerinde Su Stresinin Verim Bileşenleri ile Lif Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.33202/comuagri.548023>
- TÜİK. (2024). *Türkiye İstatistik Kurumu, Merkezi Dağıtım Sistemi (MEDAS)*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>
- USDA-SCS. (1993). Chapter:2 Irrigation Water Requirements. İçinde *Part 623 National Engineering Handbook*.
- Ünay, A., & Başal, H. (2005). İklim değişiklikleri ve pamuk. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), Article 1.
- Üzen, N., Çetin, Ö., Temiz, M. G., & Başbağ, S. (2019). Farklı damla sulama sistemleri ve sulama yönetiminin pamuk lif verimi, verim öğeleri ve lif kalitesine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), Article 3. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.458025>
- Yazdıç, M., & Değirmenci, H. (2018). Pamukta Farklı Sulama Seviyelerinin Yaprak Su Potansiyeli ve Klorofil Değerine Etkisi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.369337>
- Yeşil, E. Ş., Dal, A., Öztürk, E., & Kitiş, M. (2023). Pamuklu tekstil üretiminde su ayak izinin değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.21923/jesd.1276229>
- ZMO. (2018). *Pamuk Raporu*. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30467&tipi=17&sube=
- Zoidou, M., Tsakmakis, I. D., Gikas, G. D., & Sylaios, G. (2017). Water Footprint for cotton irrigation scenarios utilizing CROPWAT and AquaCrop models. *European Water*, 59, 285-290.