



Improving Energy Efficiency and Environmental Mitigation Through Irrigation Management in Irrigated-Wheat Production

Mehmet Ali Dündar^{1,a}, Havva Nur Demir Devenci^{2,b}, Ramazan Topak^{3,c*}

¹Tarım ve Orman Bakanlığı, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

²Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Meslek Yüksekokulu, Konya, Türkiye

³Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Konya, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 17.10.2024 Accepted : 10.12.2024</p> <p>Keywords: Winter wheat Supplemental irrigation Energy efficiency GHG emissions Environmental pollution</p>	<p>The aim of this work was to evaluate the potential for environmental mitigation, including the reduction of total greenhouse gas (GHG) emissions from agricultural inputs, and the potential for improving the energy efficiency in winter wheat production by managing irrigation water. In this context, the data on the required production inputs and product yield were obtained from the field experiment on supplemental irrigation in wheat in Konya in the 2018-2020 period. Five different irrigation regimes were considered in the study, namely: TTS, irrigation equal to the amount of moisture reduction in the 0-90 cm soil layer during the three critical development periods of wheat; KTS-1, irrigation with 90 mm of water during the three critical development periods of wheat; KTS-2, irrigation with 70 mm of water during the three critical development periods of wheat; KTS-3, irrigation with 50 mm of water during the three critical development periods of wheat, and Y, non-irrigated (rainfed). According to the results obtained from the study, the highest grain yield (7918 kg ha⁻¹) and energy output (285857 MJ ha⁻¹) were obtained in the TTS application, while the best energy productivity (0,935 kg MJ⁻¹) with energy efficiency ratio (12,46) and the lowest environmental pollution (2272 kgCO₂ eq ha⁻¹) were achieved under the KTS-3 regime. The analysis of energy efficiency and environmental pollution in this research led to very important findings. In regions like Konya, where agricultural land is abundant and water resources are limited, it has been observed that instead of full irrigation (TTS) where high yield per unit area (1 ha) is obtained, the same amount of product can be produced from 1,04 ha under KTS-2 and 1,09 ha under KTS-3 regime. In this way, irrigation water savings of 32,4% to 49% can be achieved without a decrease in product quantity, while greenhouse gas emissions can be reduced by 10,3% to 15,6%.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 13(1): 194-203, 2025

Sulamalı Buğday Üretiminde Sulama Yönetimi Yoluyla Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi ve Çevresel Etkinin Azaltılması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 17.10.2024 Kabul : 17.10.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Kışlık buğday Tamamlayıcı sulama Enerji verimliliği GHG emisyonu Çevresel kirlilik</p>	<p>Bu çalışmanın amacı sulamalı buğday üretiminde, üretim girdilerinden kaynaklanan toplam sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması da dahil olmak üzere, sulama yönetimi yoluyla buğday üretiminde enerji verimliliğini artırma ve çevresel etkiyi azaltma potansiyelini değerlendirmektir. Bu kapsamda gerekli olan üretim girdileri ve ürün verimine ilişkin veriler, 2018-2020 döneminde, Konya’da buğdayda tamamlayıcı sulama üzerine yürütülen tarla denemesinden elde edilmiştir. Bu bağlamda beş farklı sulama rejimi dikkate alınmış olup, bunlar: TTS, buğdayın üç kritik gelişme döneminde, 0-90 cm toprak katmanında eksilen nem miktarı kadar sulama; KTS-1, buğdayın üç kritik gelişme döneminde 90’ar mm su ile sulama; KTS-2, buğdayın üç kritik gelişme döneminde 70’er mm su ile sulama; KTS-3, buğdayın üç kritik gelişme döneminde 50’şer mm su ile sulama ve Y, yağışa dayalı konudur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, en yüksek dane verimi (7918 kg ha⁻¹) ve enerji çıktısı (285857 MJ ha⁻¹) TTS uygulamasında elde edilirken, en iyi enerji üretkenliği (0,935 kg MJ⁻¹) ile enerji verimliliği oranı (12,46) ve en düşük çevre kirliliği (2272 kgCO₂ eşd ha⁻¹) KTS-3 rejimi altında gerçekleşmiştir. Çalışma kapsamındaki enerji verimliliği ve çevresel kirlilik analizi önemli bulgulara yol açmıştır. Konya gibi tarım arazisi çok, su kaynakları kısıtlı olan bölgelerde, birim alandan (1 ha) yüksek verimin elde edildiği tam sulama (TTS) yerine, aynı ürün miktarının KTS-2 altında 1,04 ha ve KTS-3 rejimi altında ise 1,09 ha’den üretilebileceği görülmüştür. Bu yolla, ürün miktarında bir azalış olmadan, sulama suyunda %32,4 ile %49 arasında bir tasarruf sağlanırken, sera gazı emisyonu ise %10,3 ile %15,6 arasında azaltılabilecektir.</p>

^a mehmetali.dundar@tarimorman.gov.tr

^b <https://orcid.org/0000-0001-6125-0116>

^c hndemir@erbakan.edu.tr

<https://orcid.org/0009-0005-6827-7334>

^c rtopak@selcuk.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-3748-2720>



Giriş

Buğday dünyadaki önemli tahıllardan biridir ve dünyada düşük gelirli haneler arasında önemli bir yere sahiptir (Taki ve ark., 2016). Buğday, insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan önemli bir ürün olup, dünyada en çok ekilen bitkilerden biridir. USDA (2021) verilerine göre 2019-2020 üretim sezonunda dünya genelinde 215,6 milyon ha alanda buğday ekimi yapılmış ve 762,2 milyon ton üretim gerçekleşmiştir. Aynı dönemde dünya buğday ekim alanının %55,3'ünü Hindistan, Rusya, AB, Çin ve ABD'den oluşan 5 ülke oluştururken, bu ülkeler dünya buğday üretiminin de yaklaşık %65,9'unu gerçekleştirmişlerdir. Türkiye ise dünya buğday üretiminde 10'ununcu büyük üretici ülke durumundadır. Türkiye'de 2022-2023 yetiştirme yılında 6,83 milyon ha alanda buğday tarımı yapılmış ve 22 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2024a).

Türkiye'de 2023 yılı verilerine göre buğday üretiminin ekim alan olarak %8,71'i ve üretim miktarı olarak yaklaşık %10'u tek başına Konya ilinde gerçekleşmektedir (Anonim, 2024). Buğday, Konya bölgesinde hem suluda ve hem de yağışa dayalı olarak tarımı yapılmaktadır. Konya bölgesinde kışlık buğday için tahmin edilen mevsimlik su tüketimi 500 -550 mm arasında değişirken (Anonim, 2017), yıllık yağış miktarı uzun dönem (1985-2020) ortalaması olarak 326 mm kadardır (MBM, 2021). Bölgedeki düşük yağış ve yağışların yıl içindeki dağılımının düzensiz olması yüksek verim için sulamayı zorunlu kılmaktadır. DSİ (2021) verilerine göre, Konya 2,94 milyar m³'ü yerüstü, 1,5 milyar m³'ü yeraltı olmak üzere toplam 4,45 milyar m³ su potansiyeline sahiptir. Toplam su potansiyelin kullanılabilir miktarı ise 2.5 milyar m³ kadardır. Bölgede yeraltı suları (YAS) temel sulama suyu kaynağını oluşturmaktadır. Konya'nın toplam 1,88 milyon ha tarım alanı (Anonim, 2024) ve mevcut bitki deseni dikkate alındığında, ilin su kaynakları varlığının çok kısıtlı olduğu görülmektedir. Konya bölgesinde yaklaşık 609 bin ha tarım alanı sulamaya açılmış (Anonim, 2024) olup, bunun 165 000 ha'ı yerüstü su kaynakları (DSİ, 2023) ile geri kalan 444 bin hektarlık bölümü ise yeraltı su kaynakları ile sulanmaktadır. DSİ (2020) verilerine göre Konya bölgesinde ruhsatlı 22006 ve ruhsatsız 41071 olmak üzere toplam 63077 adet bireysel YAS sulama kuyusu ile 3256 civarında sulama kooperatifi kuyusu bulunmaktadır. Görüldüğü üzere, il düzeyindeki sulama alanının yaklaşık %73'ünün sulama suyu ihtiyacı YAS kaynaklarından elektrikle işletilen kuyularla karşılanmaktadır. Bölgede sulama kuyuları önemli bir enerji tüketicisidir. Özellikle plansız şekilde açılan ruhsatsız kuyularla emniyetli rezervin dışında aşırı çekim yapıldığı için havzada YAS seviyesi her yıl daha aşağıya düşmektedir. Bunun sonucu olarak tarımsal sulamada elektrik tüketimi artmakta ve dolayısıyla daha çok sera gazı (SG) emisyonu ortaya çıkmaktadır. Kısacası Konya Ovasında sulama önemli bir enerji kullanıcısı ve önemli bir sera gazı emisyon unsurudur.

Tarımsal alanda enerji, üretkenliği artırma, gıda güvenliğini geliştirme ve kırsal ekonomik kalkınmaya katkıda bulunma gibi çeşitli nedenlerle kullanılan bir girdidir (FAO, 2000). Enerji, kalkınmanın önemli bir itici gücü olup, tarım sektöründe özellikle etkilidir. Çünkü tarım hem bir enerji tüketicisi hem de üreticisidir. Bitkiler,

biyokütle üretmek için güneş enerjisini kullanırken, ana karbon kaynağı olarak atmosferik karbondioksiti (CO₂) kullanmaktadır. Tarım, güneş enerjisini biyokütleyle dönüştüren ürünler yetiştirerek enerji üretir ve bu da insanlara ve hayvanlara enerji sağlar. Ancak tarım; tohum, motorin, elektrik, gübre, bitki koruma kimyasalları, makine ve insan emeği gibi büyük miktarda enerji girdisi kullanır.

Bazı bitkilerin enerji girdi-çıkı analizleri üzerine çalışan araştırmacılara göre (Mrini ve ark., 2002; Singh ve ark., 2003; Topak ve ark., 2005; Karimi ve ark., 2008; Davoodi ve Housyar, 2009; Mantineo ve ark., 2009; Topak ve ark., 2010; Yavuz ve ark., 2016; Ceran, 2020; Halkacı, 2022) toplam enerji girdisinin çok büyük bir bölümü sulama işleminden kaynaklanmaktadır. Enerji tüketiminin yanı sıra sera gazı emisyonu ve küresel ısınma potansiyeli konuları da tarımsal üretim sistemlerinde kritik öneme sahip hale gelmiştir (Khoshnevisan ve ark., 2013). Çünkü bitkisel üretimde, üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan sera gazları, doğal sera etkisini arttırmaktadır. Bununla birlikte, bitkiler fotosentez süreci yoluyla havadaki CO₂'yi kullanarak azaltırken, kendisinin üretimi de bir sera gazı emisyonu kaynağıdır.

Bitkisel üretimin neden olduğu çevresel etkiler üzerine yapılan bazı araştırmalarda, tarımsal kurak bölgelerde sulama işleminin en çok enerji tüketen faaliyet olduğu ve dolayısıyla sulama işleminin önemli seviyede sera gazı emisyonuna neden olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2016; Yousefi ve ark., 2014; Mohammadi ve ark., 2013). Bu bağlamda, bazı araştırmacılar sulama kaynaklı sera gazı emisyonu payını; şekerpancarı için %33-53 (Topak ve Kalender, 2020) ve %46 (Halkacı, 2022), yağlık ayçiçeğinde %35-63 (Topak ve Ceran, 2021), mısır için %47 (Nisar ve ark., 2021) ve kışlık buğday için ise %46 (Gao ve ark., 2022), %45-55 (He ve ark., 2017) %52 (Rafiee ve ark., 2022) ve %66 (Nisar ve ark., 2021) olarak belirlemişlerdir.

Sera gazı envanteri sonuçlarına göre, Türkiye'de 2022 yılında toplam 558,3 milyon ton CO₂ eşd sera gazı emisyonu gerçekleşmiş olup, bu miktarın %12,8'ini tarım sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları oluşturmuştur (TÜİK, 2024b). Konya kapalı havzasında 2020 yılı sulaması için %93,3'ü yeraltı su kaynaklarından yapılan sulamada olmak üzere toplam 1,7 milyon ton CO₂ eşd sera gazı emisyonu gerçekleştiği belirlenmiştir (Kalender, 2023). Dünya genelinde kurak ve yarı kurak bölgelerde, sulu tarım yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından sulama suyu temini büyük ölçüde enerji kaynaklarına dayanmaktadır (He ve ark., 2017). Yeraltı suyunu kullanarak tarımsal sulama dünya çapında giderek yaygınlaşmaktadır (McGill ve ark., 2018). Günümüzde, tarımsal sulama için tüketilen enerji, sera gazı emisyonları da dahil olmak üzere önemli çevresel sonuçları ortaya çıkarmaktadır (Khan ve ark., 2014; Pradeleix ve ark., 2015).

İklim değişikliği ile mücadele, uyum sağlama ve azaltım tedbirlerini zorunlu kılmaktadır (Black ve ark., 2011). Azaltım, insan kaynaklı net sera gazı emisyonlarını azaltmak için yapılan bir müdahaledir (Glantz ve ark., 2009). Bitki ile kaplı alanların artırılması iklim değişikliği ile mücadelede azaltım başlığı altında

değerlendirilmektedir (Spittlehouse ve Stewart, 2003). Bu da göstermektedir ki tarımsal üretim hem doğrudan sera gazı emisyonu azaltımına katkı sağlamakta ve hem de gıda güvenliğini garanti altına almaktadır. Ancak bitkisel üretim faaliyetleri neticesi açığa çıkan ve iklim değişikliğine katkı sunan sera gazlarının minimal seviyede olması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada kısıtlı su kaynaklarına sahip Konya bölgesinde, buğday tarımında farklı tamamlayıcı sulama rejimleri uygulamasının buğday üretiminin enerji verimliliğine ve çevresel kirliliğe etkisi değerlendirilmiştir.

Materyal ve Metot

Bu makalede, sulamalı kışlık buğday üretim girdileri ve çıktıları ile bunlara ilişkin enerji eşdeğeri ve sera gazı emisyon faktörü değerleri kullanılmıştır. Kışlık buğdayın üretim verileri, Konya'da Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma Enstitüsü'nde 2018/2019 ve 2019/2020 üretim yıllarında yürütülen tarla denemesinden toplanmıştır. Üretim girdileri ile çıktılarına ilişkin enerji eşdeğeri ve sera gazı emisyon faktörü değerleri literatürden derlenmiştir. Tarla denemesinin yürütüldüğü 2018, 2019 ve 2020 yıllarında yıllık yağış miktarı sırasıyla 306, 330 ve 217 mm olarak gerçekleşmiştir (TSCMAE, 2020). Bu yılların aylık yağış verileri dikkate alındığında, 2018-2019 ve 2019-2020 üretim yıllarında buğdayın yetiştirme döneminde (10 Ekim -1 Temmuz) düşen yağış miktarları sırasıyla 260 ve 276 mm olmuştur. Her iki üretim yılında da buğday üzerine düşen yağış miktarı, bölgenin uzun yıllar yağış ortalamasının (292 mm) altında gerçekleşmiştir. Buğday bitkisinin bölgede suya en çok ihtiyaç duyduğu dönemde (Nisan + Mayıs + Haziran); buğday üzerine düşen yağış miktarı 2019 yılında 70 mm, 2020 yılında ise 50 mm olarak gerçekleşmiştir (TSCMAE, 2020).

Denemenin yürütüldüğü tarla parseli kulaklı pullukla sürülmüş, kazayağı, kombi kürüm ve merdane ile toprak işlenerek ekime hazır hale getirilmiştir. Tohum ekimi, kombine hububat ekim mibzeri ile 2018'de 19 Ekim, hasat 12 Temmuz ve 2019 yılında ise 24 Ekim, hasat ise 19 Temmuz tarihlerinde yapılmıştır. Hasat işlemi parsel biçerdöveri ile gerçekleştirilmiştir. Ekimde dekara 20 kg tohumluk kullanılmıştır. Deneme alanı bütün halinde ekilmiş ve çıkış sonrası parsel bitkilerce örtüldüğü dönemde deneme parsellerine ayrılmıştır.

Tarla denemesinde, her araştırma konusuna saf madde olarak, 160 kg ha⁻¹ azot ve 100 kg ha⁻¹ fosfor hesabıyla gübreleme yapılmıştır. Fosforun tamamı Diamonyum fosfat (%18-46) gübresi (220 kg ha⁻¹) ile ekimde tabana uygulanmıştır. Azotun bir kısmı ekimle birlikte tabana, kalan kısmı ise üst gübresi olarak buğdayın; kardeşlenme döneminde üre gübresi (%46) (150 kg ha⁻¹), sapa kalkma ve başaklanma dönemlerinde ise sulamalarla birlikte Amonyumsülfat (%21) gübresi (250 kg ha⁻¹) ile uygulanmıştır. Ayrıca, yağışa bağlı konuda (Y) ekimle birlikte fosforun tamamı ve azotlu gübrenin bir kısmı tabana uygulanmış, yağış durumuna göre üst gübresinin tamamı üre gübresi (%46) olarak buğdayın kardeşlenme döneminde tek seferde uygulanmıştır.

Bu makalede farklı tamamlayıcı sulama rejimleri altında buğday üretiminin enerji verimliliği ile çevreye olan etkisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı

tamamlayıcı sulama stratejileri ve yağışa dayalı (Y) üretim olmak üzere toplam beş araştırma konusunun üretim girdi ve çıktıları bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Tamamlayıcı sulama stratejileri, buğdayın sapa kalkma (SK), başaklanma (BŞ) ve süt olum (SO) dönemlerinde farklı seviyelerdeki sulamalardan oluşmuştur. Bu kapsamda, biri toprak nemine dayalı olmak üzere dört farklı tamamlayıcı sulama konusu dikkate alınmıştır. Birincisinde (TTS), sapa kalkma, başaklanma ve süt olum dönemleri başında; bitki kök bölgesi mevcut nemi belirlenmiş ve mevcut nem sulama ile tarla kapasitesine ulaştırılmıştır. İkincisinde (KTS-1), sapa kalkmada 90 mm, başaklanma 90 mm ve süt olumda 90 mm sulanmıştır. Üçüncüsünde (KTS-2), sapa kalkmada 70 mm, başaklanma 70 mm ve süt olumda 70 mm sulanmıştır. Dördüncüsünde (KTS-3), sapa kalkmada 50 mm, başaklanma 50 mm ve süt olumda 50 mm sulanmıştır. Böylece KTS-1 konusuna 270 mm, KTS-2 konusuna 210 mm ve KTS-3 konusuna ise 150 mm sulama suyu uygulanmıştır. Uygulanan tamamlayıcı sulama rejimlerine ilişkin detaylı bilgiler Çizelge 1'de ve toprak nemine dayalı olmayan tamamlayıcı sulama rejimlerinde, bitki kritik dönemlerinde, TTS uygulamasına göre gerçekleşmiş olan sulama suyu kısıntı oranları Çizelge 2'de verilmiştir.

Tarla denemesinde sulama suyu, parsel yakınındaki derin kuyudan temin edilmiş olup, TTS, KTS-1, KTS-2 ve KTS-3 sulama stratejilerinde sırasıyla 1581, 1323, 1034 ve 738 kWh elektrik tüketimi gerçekleşmiştir. Sulama rejimleri altında yapılan buğday üretiminde eşit şekilde hektar başına 135 litre dizel yakıtı kullanılmıştır. Üretimde kullanılan tarım makinelerine ilişkin bilgiler Çizelge 3'de verildiği gibidir.

Farklı sulama rejimleri altında buğday üretimine ilişkin iki yıl ortalaması olarak sulama suyu miktarları ile ürün verim değerleri Çizelge 4'de verildiği gibidir.

Çizelge 4'de görüldüğü gibi, iki yılın ortalaması olarak TTS stratejisinde 321 mm ile en yüksek ve KTS-3 rejiminde ise 150 mm ile en düşük seviyede sulama suyu uygulanmıştır. İki yıl ortalaması olarak 7918 kg ha⁻¹ ile en yüksek dane verimi TTS konusunda gerçekleşmiş olup, bunu sırasıyla KTS-1 (7688 kg ha⁻¹), KTS-2 (7660 kg ha⁻¹) ve KTS-3 (7285 kg ha⁻¹) stratejileri izlemiştir. Bu verilere göre, KTS-1 ile KTS-2 rejimlerinin dane verimleri arasında bir fark yoktur. Ancak KTS-2 rejiminde 60 mm daha az sulama suyu kullanılmıştır ve dolayısıyla KTS-2 rejimi, KTS-1'in üstünüdür ve KTS-1 uygulamasını geçersiz hale getirmiştir.

Enerji Analizleri ve Verimlilik Göstergeleri

Farklı tamamlayıcı sulama rejimleri altında buğday üretiminin enerji verimliliğini karşılaştırmak için enerji girdi-çıkıtı analizi yapılmıştır. Kışlık buğdayın üretim girdileri; dizel yakıtı, elektrik, tarım makineleri ve gübre girdilerinden oluşmuştur. Buğdayın ürün çıktısı ise dane ve samanıdır. Buğday üretiminin girdi ve çıktı değişkenleri, literatürden derlenen enerji katsayıları kullanılarak (Çizelge 5), megajul (MJ) biriminde enerji eşdeğerine dönüştürülmüştür. Üretimde tüketilen enerji (EG) ile üretilen enerji (EÇ) miktarları her bir sulama stratejisi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Buğdayın enerji girdisi (EG), enerji değerlendirmesinin önemli bir göstergesi olup, sulama işlemi ve buğdayın tüm üretim süreci için ne kadar enerji tüketildiğini gösterir.

Enerji çıktısı (EÇ), ürün veriminin (tane ve saman) (kg ha⁻¹) enerji eşdeğeriyle çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Bir üretim sisteminin enerji verimliliğini değerlendirmek için kullanılan göstergeler vardır (Yuan ve Peng, 2017; Taki ve ark., 2018a). Bu çalışmada, net enerji verimi (NEV), enerji verimlilik oranı (EVO), enerji üretkenliği (EÜ) ve sulamanın enerji üretkenliği (SEÜ) gibi dört önemli gösterge kullanılmıştır.

Her bir makinenin enerji tüketimini ve buğday üretimindeki payını hesaplamak için, makinelerin etkin kullanım ömrü ve makina ağırlığı önemli faktörlerdir. Her makinenin ve ekipmanın payını ve enerjisini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Ramedani ve ark., 2011). Burada; ME, makine enerjisi (MJ ha⁻¹); G, makine ağırlığı (kg); E_M, traktör veya makinenin birim ağırlığı başına imalat enerjisi eşdeğeri (MJ kg⁻¹); T, traktör veya makinenin ekonomik ömrü (h) ve Th, buğday üretim sezonunda traktör ve makinelerin her birinin birim alan başına çalışma süresini (h ha⁻¹) göstermektedir.

$$ME = E_M \times G/T \times Th \quad (1)$$

Birim alan (ha) başına enerji girdisi ve enerji çıktısı ile verimlilik değerlendirme göstergeleri aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$EG \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} = E \times E_1 + D \times E_2 + G \times E_3 + ME \quad (2)$$

$$E\check{C}_T \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} = DV \times EE + SV \times EE \quad (3)$$

$$EVO = E\check{C}_T \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} / EG \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

$$E\check{U} \text{ (kg MJ}^{-1}\text{)} = DV / EG \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (5)$$

$$NEV \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} = E\check{C}_T \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} - EG \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (6)$$

$$SE\check{U} \text{ (MJ m}^{-3}\text{)} = SU - YA / TSM$$

E : Sulama için yıllık elektrik tüketimi (kWh);
E₁ : Elektriğin enerji değeri (MJ kWh⁻¹);
D : Buğday üretiminde tüketilen yıllık dizel yakıtı (L);
E₂ : Dizelin enerji değeri (MJ L⁻¹);
G : Kullanılan gübre miktarı (kg);
E₃ : Gübrelerin enerji katsayısı (MJ kg⁻¹);
ME : Makine enerjisi (MJha-1).
DV : Dane verimi (kg ha⁻¹)
EE : Enerji eşdeğeri (MJ kg⁻¹)
SV : Saman verimi (kg ha⁻¹)
SU : Suluda EÇ_T
YA : Yağışa dayalı EÇ_T
TSM: Toplam sulama suyu miktarı (m³ha⁻¹).

Çevresel Kirliliğin Değerlendirilmesi

Farklı tamamlayıcı sulama rejimleri altında buğday üretiminin çevre kirliliği üzerindeki etkisini belirlemek için sera gazı (GHG) emisyon değerlendirme yapılmıştır. Farklı sulama rejimi uygulamaları için toplam sera gazı emisyonları, tarım makineleri, dizel yakıtı, elektrik ve gübreler de dahil olmak üzere her üretim faaliyeti için sera gazı emisyonların ayrı ayrı hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Farklı ölçü birimleri dikkate alınarak, toplam tarımsal girdilere ilişkin sera gazı emisyonları, literatürden temin edilerek Çizelge 5’de sunulan GHG emisyon eşdeğerleri kullanılarak, ortak bir CO₂ eşd (karbondioksit eşdeğeri) sisteminde hesaplanmıştır.

Bitkisel üretim esnasında karbondioksit (CO₂) ve CO₂ olmayan gazlar (N₂O, CH₄) gibi sera gazları üretilmekte ve bu da atmosferin doğal sera etkisini artırmaktadır. Ancak bitkiler fotosentez yoluyla havadaki CO₂’yi kullanarak, atmosferik CO₂’nin azaltılmasına vesile olmaktadır. Bu çalışmada, farklı sulama rejimleri altındaki buğday üretiminin sezonluk CO₂ kullanım miktarları tahmini olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda, ürünün (dane +saman) kuru maddesindeki karbon miktarı Çizelge 5’de verilen değere göre hesaplanmış, belirlenen karbon miktarı, CO₂/C (44/12) oranı ile çarpılarak, fotosentezde kullanılan sezonluk CO₂ miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 1. Tamamlayıcı sulama konuları ve sulama programlarına ilişkin bilgileri

Table 1. Information on supplemental irrigation treatments and irrigation programs

Sulama Rejimleri	SK dönemi		BŞ Dönemi		SO Dönemi		Toplam Sulama Suyu(mm)
	Sulama Zamanı	Sulama Miktarı (mm)	Sulama Zamanı	Sulama Miktarı (mm)	Sulama Zamanı	Sulama Miktarı (mm)	
TTS	14.04.2019	81,5	13.05.2019	117,6	28.05.2019	119,4	318,5
	13.04.2020	78,3	15.05.2020	121,8	27.05.2020	123,4	323,5
KTS-1	14.04.2019	90	13.05.2019	90	28.05.2019	90	270
	13.04.2020	90	15.05.2020	90	27.05.2020	90	270
KTS-2	14.04.2019	70	13.05.2019	70	28.05.2019	70	210
	13.04.2020	70	15.05.2020	70	27.05.2020	70	210
KTS-3	14.04.2019	50	13.05.2019	50	28.05.2019	50	150
	13.04.2020	50	15.05.2020	50	27.05.2020	50	150
Y	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 2. İki yıl ortalaması olarak gerçekleşen sulama suyu kısıntı oranları

Table 2. As average of two years, irrigation water deficit rates

Sulama Rejimleri	SK Dönemi Kısıntı Oranı (%)	BŞ Dönemi Kısıntı Oranı (%)	SO Dönemi Kısıntı Oranı (%)	Toplamda Kısıntı Oranı (%)
TTS	0,0	0,0	0,0	0,0
KTS-1	0,0	24,8	25,8	15,9
KTS-2	12,5	41,5	42,3	34,6
KTS-3	37,5	58,2	58,8	53,3

Çizelge 3. Tarım makineleri, teknik özellikleri ve kullanım bilgileri

Table 3. Agricultural machinery, technical specifications and usage information

Makine Kullanımı	Ağırlığı (kg)	Faydalı Ömrü(h)*	İş Kapasitesi (h ha ⁻¹)
Traktör	3396	16000	8,17
Pulluk	687	2000	3,5
Kazayağı (Kültivatör)	585	2000	1,30
Kombi kürüm	550	2000	1,2
Mibzer	1066	1500	1,5
Merdane	1000	2000	0,67

*ASAE (2000)

Çizelge 4. İki yıl ortalaması sulama suyu miktarları ve ürün verim değerleri

Table 4. Irrigation water amounts and crop yield values as average of two years

Sulama Rejimleri	Sulama Suyu Miktarı (mm)	Sezonluk Su Tüketimi (mm)	Dane Verimi (kg ha ⁻¹)	Saman Verimi (kg ha ⁻¹)	Biyolojik Verim (kg ha ⁻¹)
TTS	321	568,5	7918	13557	21475
KTS-1	270	518,7	7688	12870	20558
KTS-2	210	459,3	7660	12148	19808
KTS-3	150	408	7285	12107	19392
Y	0.0	259,5	3508	12050	15558

Çizelge 5. Üretim girdileri ve çıktılarına ilişkin enerji katsayıları ile sera gazı emisyon faktörleri

Table 5. Energy coefficients and greenhouse gas emission factors related to production inputs and outputs

	Enerji Eşdeğeri	Kaynaklar	Sera Gazı Emisyon Faktörü	Kaynaklar
A-Üretim girdileri				
Elektrik	10,28 MJ kWh ⁻¹	Acaroğlu (2001)	0,55 kgCO ₂ eşd kWh ⁻¹	K1
Dizel yakıtı	40,68 MJ L ⁻¹	Boustead (2003)	2,76 kgCO ₂ eşd L ⁻¹	K2
Azot (N)	38,7 MJ kg ⁻¹	Tzilivakis ve ark. (2005)	7,759 kgCO ₂ eşd kg ⁻¹	K3
Fosfor (P ₂ O ₅)	12 MJ kg ⁻¹	Tzilivakis ve ark. (2005)	2,332 kgCO ₂ eşd kg ⁻¹	K3
Makineler	49,35 MJ kg ⁻¹	Hacıseferoğulları ve Acaroğlu (2015)	0,071 kgCO ₂ eşd MJ ⁻¹	K4
Traktör	71,38 MJ kg ⁻¹	Acaroğlu ve Aksoy (2005)	0,071 kgCO ₂ eşd MJ ⁻¹	K4
B-Ürünler				
Karbon (C) içeriği				
Dane	14,7 MJ kg ⁻¹	Devasenapathy ve ark. (2009)	0,45 kg C kg ⁻¹ (KM)	K5
Saman	12,5 MJ kg ⁻¹	Devasenapathy ve ark. (2009)	0,45 kg C kg ⁻¹ (KM)	K5

KM: Kuru madde; K1: Dulkadiroğlu (2018), K2: Dyer ve Desjardins (2003); K3: Chen ve ark (2015); K4: Dyer ve Desjardins (2006); K5: Epstein ve Bloom (2005); Bolinder ve ark. (2007)

Çizelge 6. Sulama rejimleri altında buğday üretiminde gerçekleşen enerji tüketimleri

Table 6. Energy consumption in wheat production under irrigation regimes

Sulama Rejimleri	Elektrik (MJ ha ⁻¹)	Dizel Yakıtı (MJ ha ⁻¹)	Azot (MJ ha ⁻¹)	Fosfor (P ₂ O ₅) (MJ ha ⁻¹)	Tarım Makineleri (MJ ha ⁻¹)	Toplam Enerji Tüketimi (MJ ha ⁻¹)
TTS	16205	5492	6192	1200	274	29363
KTS-1	13600	5492	6192	1200	274	26758
KTS-2	10629	5492	6192	1200	274	23787
KTS-3	7586	5492	6192	1200	274	20744
Y	0.0	5492	6192	1200	274	13158

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Enerji Tüketimi

Farklı buğday üretim sistemlerine ilişkin toplam enerji girdileri, her tamamlayıcı sulama rejimi için işgücü, yakıt, makine, elektrik ve gübre ile ilgili enerji tüketimi tahmini olarak hesaplanarak sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Sulama rejimlerinin tümü için, en yüksek enerji tüketimi elektrik, gübre ve dizel yakıtı gibi girdilerden oluşmaktadır.

Buğday üretiminde farklı tamamlayıcı sulama rejimleri karşılaştırılması, en yüksek toplam enerji tüketiminin (29363 MJ ha⁻¹) buğdayın üç gelişme döneminde toprak nemine dayalı TTS kontrol uygulamasında olduğunu göstermiştir. Kontrol TTS konusu ile karşılaştırıldığında,

KTS-1, KTS-2, KTS-3 rejimleri altında enerji tüketimi daha düşüktür. Buğdayın SK, BŞ ve SO dönemlerinde eşit 90 mm sulama suyu uygulanan KTS-1 rejiminde, toplam enerji tüketimi (26758 MJ ha⁻¹) TTS'ye göre yaklaşık %8,9 daha düşük gerçekleşmiştir. Diğer KTS-2 ve KTS-3 sulama rejimlerinde toplam enerji tüketimi sırasıyla 23787 ve 20744 MJ ha⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar diğer yazarlarınkilerle tutarlıdır. Sözgelimi, Taki ve ark (2018b) İran'da buğday üretimi için toplam enerji tüketimini; yağışa dayalı sistemde 9350 ve suluda 23410 MJ ha⁻¹, Safa ve Samarasinghe (2011) Yeni Zelanda'da bu değerleri sırasıyla 17450 ve 25600 MJ ha⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada en düşük enerji tüketimi 13158 MJ/ha ile

yağışa dayalı buğday üretim sisteminde gerçekleşmiştir. Düşük enerji tüketiminin tek nedeni sulama yapılmamış olması sebebiyle elektrik tüketilmemesidir. Diğer araştırmacılar da toplam enerji tüketiminde sulama işleminin rolüne dikkat çekmişlerdir. Örneğin Ghorbani ve ark (2011) geleneksel tam sulamalı buğday üretiminde toplam enerji tüketiminin 45370 MJ ha⁻¹, yağışa dayalı buğday üretiminde ise 9350 MJ ha⁻¹ olduğunu rapor etmişlerdir. Failla ve ark (2020) Güney İtalya'da yağışa dayalı buğday üretiminin toplam enerji tüketimini 13300 MJ ha⁻¹ olarak bildirmişlerdir.

Enerji Verimlilik Analizi

Farklı tamamlayıcı sulama rejimlerine dayalı buğday tarımına ilişkin Çizelge 4'de sunulan veriler incelendiğinde, dane verimi yönünden KTS-1 (7688 kg ha⁻¹) ve KTS-2 (7660 kg ha⁻¹) arasında bir fark bulunmazken, sulama suyu yönünden KTS-2'nin 60 mm tasarruf sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla KTS-2 rejimi KTS-1 rejiminin üstünüdür ve bölge koşullarında buğday tarımında KTS-1 uygulamasına yer olmadığını göstermektedir. En yüksek dane verimine sahip TTS rejimi ile kıyaslandığında, KTS-2 rejimi dane verimini %3,2 düşürürken, sulama suyundan %34,6 (111 mm) tasarruf sağlamaktadır. Benzer şekilde KTS-3 rejimi de dane verimini sadece %8 azaltırken, sulama suyundan %53,3 (171 mm) tasarruf sağlamaktadır. Bu hususlar birlikte değerlendirildiğinde, TTS, KTS-2 ve KTS-3 rejimleri altında buğday yetiştiriciliği, enerji performansları yönünden iyi bir analize ihtiyaç duymaktadır.

Enerji verimlilik değerlendirmesine esas teşkil eden toplam enerji girdisi ile üretilen toplam enerji değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 7'den görüleceği gibi, enerji üretimi hem dane bazında (116395 MJha⁻¹) ve hem de biyolojik kütle bazında (285857 MJha⁻¹) en yüksek TTS rejiminde ve en düşüğü ise yağışa dayalı buğday üretim sisteminde sırasıyla 51567 ve 202192 MJ ha⁻¹ gerçekleşmiştir. Kısıntılı tamamlayıcı sulama rejimlerinden KTS-1 ile KTS-2'nin dane kaynaklı enerji üretimleri arasında bir fark bulunmazken, KTS-2'de saman kaynaklı üretilen enerji miktarı %5,6 daha düşüktür. Yukarıda da zikredildiği gibi, KTS-1'e göre KTS-2 60 mm su tasarrufu sağladığından ve çok kısıtlı su kaynaklarına

sahip bu bölge için KTS-2, KTS-1'in üstünüdür. Tanık TTS rejimi ile karşılaştırıldığında, KTS-2 ve KTS-3 rejimleri altında EÇ_D sırasıyla %3,3 ve %8 ve EÇ_T sırasıyla, %7,5 ve %9,6 daha düşüktür. Buna karşılık yine TTS ile kıyaslandığında, KTS-2 ve KTS-3 rejimleri sulama suyundan sırasıyla %34,6 ve 53,3 gibi büyük oranda tasarruf sağlamaktadır. Bu sonuçları üretim artışı ve su tasarrufu olmak üzere iki açıdan değerlendirmek mümkündür (Çizelge 8). Çizelge 8'de görüldüğü gibi amaç üretimi artırmak ise, TTS rejiminde uygulanan 321 mm sulama suyu, KTS-2 rejimi ile uygulanırsa, yaklaşık 1,53 birim (ha) alan sulanarak, dane üretimi 11704 kg'a, toplam enerji üretimi (EÇ_T) de 404082 MJ'e çıkarılabilir. Benzer şekilde KTS-3 rejimi ile uygulandığında, yaklaşık 2,14 birim (ha) alanda üretim yapılarak, dane üretimi 15590 kg'a ve toplam enerji çıktısı (EÇ_T) ise 611733 MJ'e artırılabilir. Sudan tasarruf öncelikli ise, TTS rejimi altında üretilen dane ve eşdeğeri enerji miktarları, KTS-2 rejiminde yaklaşık 1.034 birim (ha) ve KTS-3 rejiminde ise yaklaşık 1,09 birim (ha) alandan üretililecektir. Bu durumda TTS ile karşılaştırıldığında, sulama suyunda, KTS-2 rejiminde %32,4 ve KTS-3 rejiminde %49 tasarruf sağlanabilecektir.

Farklı tamamlayıcı sulama rejimleri altında yetiştirilen buğdayın enerji verimlilik göstergelerine ilişkin veriler Çizelge 9'da verildiği gibidir. Çizelge 9'dan görüldüğü gibi en yüksek dane verimi ve enerji çıktısı TTS uygulamasında gerçekleşmesine rağmen, sulama rejimleri arasında KTS-3 rejiminde 12,46 gibi biraz daha iyi bir enerji verimliliği oranı gözlenirken, en kötü oran 9,74 ile TTS uygulamasında gerçekleşmiştir. Enerji verimlilik oranı, hektar başına, buğdayı yetiştirmek için ne kadar enerji tüketildiğini ve ne kadar enerji üretildiğini gösterir. Aynı derecede önemli olan diğer enerji göstergeleri enerji üretkenliği ve sulamanın enerji üretkenliğidir. Tamamlayıcı sulama rejimleri arasında EÜ performansı KTS-3 rejiminde 0,935 kgMJ⁻¹ ile en yüksek ve TTS rejiminde ise 0,731 kgMJ⁻¹ ile en düşüktür. Bu gösterge, buğday üretiminde tüketilen 1 MJ enerjiye karşılık kg cinsinden üretilen biyolojik verimi göstermektedir. Sulama rejimleri altında gerçekleşen SEÜ gösterge değerleri 26,06 MJm⁻³ ile 37,49 MJm⁻³ arasında değişmiş olup, en iyi performansı KTS-3 rejimi göstermiştir.

Çizelge 7. Konuların enerji girdileri ve enerji çıktıları

Table 7. Energy inputs and energy outputs of treatments

Sulama Rejimleri	EG (MJ ha ⁻¹)	Dane Verimi (kg ha ⁻¹)	EÇ _D (MJ ha ⁻¹)	Saman Verimi (kg ha ⁻¹)	EÇ _S (MJ ha ⁻¹)	EÇ _T (MJ ha ⁻¹)
TTS	29363	7918	116395	13557	169462	285857
KTS-1	26758	7688	113014	12870	160895	273889
KTS-2	23787	7660	112602	12148	151850	264452
KTS-3	20744	7285	107090	12107	151337	258427
Y	13158	3508	51567	12050	150625	202192

EG: Tüketilen enerji (MJha⁻¹); EÇ_D=Dane kaynaklı enerji üretimi (MJha⁻¹); EÇ_S = Saman kaynaklı enerji üretimi (MJha⁻¹); EÇ_T= Toplam enerji çıktısı (MJha⁻¹).

Çizelge 8. Sulama rejimlerinin ürün ve su kazancı yönünden analizi

Table 8. Analysis of irrigation regimes in terms of yield and water gain

Sulama Rejimleri	USS	Amaç: Üretimi Artırmak			Amaç: Su Tasarrufu Sağlamak		
		SA	DÜ	EÇ _T	TTS	SSİ	SST
TTS	321	1,0	7918	285857	1.0	321	0,0
KTS-2	210	1,53	11704	404082	1.034	217,1	32,4
KTS-3	150	2,14	15590	611733	1.090	163,5	49

USS: Uygulanan Sulama Suyu (mm); SA: Sulanabilecek Alan (ha); DÜ: Dane Üretimi (kg); TTS: TTS Eşdeğeri Dane Üretim Alanı (ha); SSİ: Sulama Suyu İhtiyacı (mm); SST: Sağlanan Su Tasarrufu (%)

Çizelge 9. Enerji verimlilik göstergeleri

Table 9. Energy efficiency indicators

Sulama Rejimleri	Dane + Saman			
	NEV (MJ ha ⁻¹)	EÜ (kg MJ ⁻¹)	SEÜ (MJ m ⁻³)	EVO
TTS	256469	0,731	26,06	9,74
KTS-1	247131	0,768	26,55	10,24
KTS-2	240665	0,833	29,65	11,12
KTS-3	237683	0,935	37,49	12,46
Y	189034	1,182	-	15,36

NEV: net enerji verimi(MJha⁻¹); EÜ: Enerji üretkenliği (kgMJ⁻¹); SEÜ: Sulama enerji üretkenliği (MJ m⁻³)

Çizelge 10. Sulamanın enerji tüketimine etkisi

Table 10. Effect of irrigation on energy consumption

Sulama Rejimleri	Sulamada Enerji Tüketimi (MJ ha ⁻¹)	Sulamada Nispi Enerji Azalışı (%)	Toplam Enerji Tüketimi (MJ ha ⁻¹)	Sulama Enerjisi Payı (%)
TTS	16205	0,0	29363	55,19
KTS-1	13600	16,07	26758	50,82
KTS-2	10629	34,41	23787	44,68
KTS-3	7586	46,81	20744	36,57
Y	-	-	13158	-

Çizelge 11. Konuların GHG emisyonları (kg CO₂eşd ha⁻¹)Table 11. GHG emissions of the irrigation regimes (kg CO₂eq ha⁻¹)

Sulama Rejimleri	Elektrik	Dizel Yakıtı	Azot	Fosfor (P ₂ O ₅)	Traktör ve Makine	Toplam GHG Emisyonu
TTS	869,6	372,6	1241,4	233,2	19,5	2736,3
KTS-1	727,6	372,6	1241,4	233,2	19,5	2594,1
KTS-2	568,7	372,6	1241,4	233,2	19,5	2435,2
KTS-3	406	372,6	1241,4	233,2	19,5	2272,5
Y	0,0	372,6	1241,4	233,2	19,5	1866,5

Çizelge 12. Buğday üretiminde kısıntılı tamamlayıcı sulamanın çevresel etki azaltım potansiyeli

Table 12. Environmental impact reduction potential of deficit supplementary irrigation in wheat production

Sulama Rejimleri	SKS	TTS-1	TTS-2	TTS-3	TTS-4
TTS	869,6	1,00	869,6	2736,3	0,0
KTS-2	568,7	1,034	588,04	2454,5	10,3
KTS-3	406	1,090	442,54	2309	15,6

SKS: Sulama Kaynaklı GHG Salımı (kgCO₂ eşd ha⁻¹); TTS-1: TTS Eşdeğeri dane verimi (7918 kg) için gerekli üretim alanı (ha); TTS-2: TTS eşdeğeri ürün için sulamanın GHG salımı (kgCO₂ eşd ha⁻¹); TTS-3: TTS eşdeğeri ürün için Toplam GHG salımı (kgCO₂ eşd ha⁻¹); TTS-4: TTS konusuna göre çevresel etki azaltım oranı (%)

Sulamanın Enerji Tüketimine Etkisi

Çalışma kapsamında elektrik tüketimi, yeraltı suyu ile sulamada gerçekleşmiştir. Özellikle bu havzada, sulama suyu yeraltı sularından elektrikli derin kuyulardan pompalanmaktadır. Bu bölgedeki ciddi sorunlardan biri de aşırı tüketim nedeniyle yeterli suyun bulunamamasıdır. Dolayısıyla bu bölgede buğday üretiminde en büyük enerji tüketen kaynaklardan biri, elektrikli pompalarla su pompalamak ve sulama işlemini gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan elektriktir. Özetlenen elektrik tüketimi sonuçları, buğday üretiminde, farklı tamamlayıcı sulama işlemlerinin uygulanmasının elektrik tüketimi üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. TTS uygulaması, hektar başına 3200 m³ sulama suyunun terfisi ve tarlaya uygulamasında yaklaşık 1581 kWh ha⁻¹ elektrik tüketmiştir (Çizelge 4). Tamamlayıcı sulamada sulama suyu miktarını azaltarak, sulamada tüketilen toplam elektrik tasarrufu %16,3'den (KTS-1) %53,3'e (KTS-3) artırılabilir. Buğday yetiştiriciliğinde en düşük elektrik tüketimi (738 kWh ha⁻¹) KTS-3 rejiminde gerçekleşir.

Diğer sulama rejimleri ile karşılaştırıldığında, KTS-3 rejimi altında elektrik tüketimi önemli ölçüde (1,40 ila 2,14 kat) daha düşüktür.

Sulama suyu derin kuyudan temin edilerek doğrudan damla sulama sistemine verilmiştir. Bu çalışma kapsamında belirtilen elektrik, sulama suyu temini ve sulama işleminde tüketilmiştir. Sulama rejimleri altında, sulamada ve toplamda tüketilen enerjilerin miktarları Çizelge 10'da verildiği gibidir. Bu verilere göre, sulama işleminin tüketilen toplam enerji içindeki payı, sulama rejimine göre farklı olup, %36,57 (KTS-3) ile %55,19 (TTS) arasında değişmektedir. Tamamlayıcı sulama suyu miktarları azaldıkça, sulama enerjisinin payı da azalmaktadır. Bununla birlikte, TTS ve KTS-1 rejimlerinde sulamada tüketilen enerji miktarı, buğday üretiminde tüketilen toplam enerjinin yarısından fazlasını oluşturmuştur. Bu sonuçlar, sulu buğday tarımında, sulamanın önemli ölçüde enerji tüketen bir faaliyet olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, buğday üretiminde, sulamanın elektrik ve elektrik kaynaklı enerji tüketimini azaltılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, sulamada enerji tüketimi ve dane verimi en yüksek olan TTS rejimi yerine, KTS-3 rejimi uygulaması ile aynı dane verimi 1,09 birim (hektar) alandan üretilebilirken, sulama enerji tüketimi de 8269 MJ (7586 MJ \times 1,09 = 8269 MJ) olmaktadır. Bu durumda da TTS rejimi (16205 MJha⁻¹) ile kıyaslandığında, dane üretiminde bir azalma olmadan KTS-3 rejimi ile sulamada enerji tüketimi %48,97 [(16205-8269 / 16205) \times 100] azaltılabilecektir.

Çevresel Etki Analizi

Tarım sektörü çevreyi kirleten sektörlerden biri olduğundan, farklı tamamlayıcı sulama uygulamaları altında buğday yetiştirmeye ilişkin çevresel göstergelerin ölçülmesi ve çevre üzerindeki etkisinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Farklı sulama rejimleri altında yapılan buğday tarımından kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanarak Çizelge 11'de verilmiştir. Sera gazı emisyonlarının değerlendirilmesi, buğdayın TTS rejimi altında yetiştirildiği durumda emisyonların en yüksek olduğunu (2736 kgCO₂eşd ha⁻¹) ve yağışa dayalı sistemde ise en düşük olduğunu (1866 kgCO₂eşdha⁻¹) göstermiştir. Azaltılmış su ile tamamlayıcı sulama uygulamaları, sera gazı emisyonlarının azalmasına bağlı olarak çevre kirliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Bireysel sulama rejimleri ve diğer üretim materyallerinin çevre kirliliği üzerindeki etkisinin analizi, sera gazı emisyonlarının en büyük oranının azotlu gübre (TTS %45,3 - Y %66,5), sulama elektriği (KTS-3 % 17,87 - TTS %31,8) ve dizel yakıtı (TTS %13,63 - Y %19,77) ile ilgili olduğunu göstermiştir.

Dane verimi yönünden KTS-1 (7688 kg ha⁻¹) ve KTS-2 (7660 kg ha⁻¹) arasında bir fark bulunmazken, sulama suyu yönünden KTS-2 60 mm tasarruf sağlamaktadır. Dolayısıyla KTS-2 rejimi KTS-1 rejiminin üstünüdür. En yüksek dane verimine sahip TTS rejimi ile kıyaslandığında, KTS-2 rejimi dane verimini %3,2 düşürürken, sulama suyundan %34,6 tasarruf sağlamaktadır. Benzer şekilde KTS-3 rejimi de dane verimini sadece %8 azaltırken, sulama suyundan %53,3 tasarruf sağlamaktadır. Bu hususlar birlikte değerlendirildiğinde, TTS, KTS-2 ve KTS-3 rejimleri altında buğday yetiştiriciliği iyi bir enerji performansı gösterse de, çevresel değerlendirme yalnızca bir üretim sisteminin (KTS-3) diğer sulama rejimleri ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha düşük çevre kirliliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Farklı tamamlayıcı sulama rejimleri altında yapılan buğday tarımında, sulama harici tüm üretim girdileri ve miktarları aynı olduğundan, sera gazı emisyonunu etkileyen tek faktör sulamada kullanılan elektrik miktarıdır. Özellikle verim ve enerji performansını en iyi olan TTS rejimi yerine, KTS-2 ve KTS-3 rejimleri ile aynı verim ve enerji performansının elde edilmesi yoluna gidilmesi, sera gazı salımlarını azaltılabilecektir. Şöyle ki; KTS-2 rejimi ile 1,034 birim (ha) alanda ve KTS-3 rejimi altında ise 1,09 birim (ha) alanda buğday yetiştirilmesi, TTS rejimine eşdeğer dane verimini ve enerji üretimini sağlayacaktır (Çizelge 12). Bu durumda Çizelge 12'de görüleceği üzere, TTS rejimi ile karşılaştırıldığında, üretim

alanı KTS-2 rejimi altında %3.4 veya KTS-3 rejimi altında %9 artırılması koşulunda, dane ve enerji üretiminde bir azalma olmadan, sera gazı salımı sırasıyla %10,3 ve %15,6 azaltılabilecektir.

Bilindiği üzere, bitkisel üretim hem bir enerji kullanıcısı hem de bir enerji üretici sistemdir. Bitkiler, biyokütle üretmek için güneş enerjisini için kullanırken, ana karbon kaynağı olarak atmosferik karbondioksiti (CO₂) kullanmaktadır. Yani bitkisel üretim atmosferdeki CO₂'yi bu yolla azaltmaktadır. Tarım, güneş enerjisini biyokütleyle dönüştüren ve bu da insanlara ve hayvanlara enerji sağlayan mahsuller yetiştirerek enerji sağlar. Farklı sulama rejimleri altında gerçekleşen buğday üretimlerinin bu yolla kullandıkları mevsimlik CO₂ miktarları tahmini olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre, buğday bitkisi hektar başına TTS, KTS-2, KTS-3 ve yağışa dayalı sistemde sırasıyla 34.4, 32.7, 32 ve 25.7 ton atmosferik CO₂'nin kullanıldığı kestirimi yapılmıştır. Buradan da görüldüğü gibi, buğday üretimi, üretim girdilerinin neden olduğu CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyon miktarının, katbekat üzerinde atmosferik CO₂'yi etkisiz hale getirmektedir.

Sonuç

- Genel olarak, bu çalışma buğday üretiminde uygulanan tamamlayıcı sulama seviyesinin çevre kirliliği ve enerji kullanım verimliliği üzerinde bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Buğdayın kritik dönemlerinde sulanması yoluyla sulamanın ve sulama suyu miktarının azaltılmasıyla, buğday verimi üzerinde önemli bir etki olmaksızın elektrik tüketimi, enerji tüketimi ve çevre kirliliği üzerinde olumlu etkiler bulunmuştur.
- Buğday üretiminde kısıntılı tamamlayıcı sulama uygulamaları, toprak nemine dayalı tamamlayıcı sulamaya (TTS) göre %34,6 (KTS-2) ile %53,3 (KTS-3) arasında daha az elektrik ve %18,99 (KTS-2) ile %29,35 (KTS-3) arasında daha az enerji tüketilmiştir.
- Bu çalışmanın sonuçları tamamlayıcı sulamalı buğday üretiminde en yüksek enerji verimliliği oranının KTS-3 (12,46) uygulamasında bulunduğunu göstermektedir. En yüksek toplam enerji tüketimi (29363 MJ ha⁻¹) ve en yüksek enerji çıktısı ise (285857 MJ ha⁻¹) TTS rejiminde elde edilmiştir. Ayrıca, sulama rejimleri arasında en iyi EÜ (0,935 kg MJ⁻¹) ve en yüksek SEÜ değeri (37,49 MJ m⁻³) KTS-3 rejiminde elde edilmiştir.
- Miktarı azaltılmış tamamlayıcı sulama, çevre kirliliğini azaltmaya katkıda bulunabilecek önemli bir stratejidir. Bulgularımız, buğday üretimindeki en yüksek GHG emisyonlarının (2736,3 kgCO₂eşd ha⁻¹) geleneksel tam tamamlayıcı sulama ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Kısıntılı tamamlayıcı sulama usulü ile sulama suyu yönetimini iyileştirerek, önemli ölçüde su tasarrufu sağlamak ve suluda buğday üretim alanını kısmen artırmak mümkündür. Bu yolla toprak nemine dayalı tam tamamlayıcı sulamayı terk etmek, GHG emisyonlarını %10,3'den (KTS-2) %15,6'ya (KTS-3) kadar azaltılabilir.

Beyanlar

Yazar Katkısı

Mehmet Ali Dündar: Araştırmanın planlanması, tarla denemesinin yürütülmesi, tarla deneme verilerinin elde edilmesi, makalenin hazırlanması. Havva Nur Demir Devenci: Makalenin planlanması, literatüre dayalı verilerin toplanması, tarla ve literatür kaynaklı verilerin işlenmesi, makale taslağının oluşturulması, makalenin hazırlanması. Ramazan Topak: Araştırmanın ve makalenin planlanması, literatüre dayalı verilerin toplanması, tarla ve literatür kaynaklı verilerin işlenmesi, makalenin hazırlanması.

Finansal Destek

Bu çalışma için herhangi bir kurum/kuruluşa mali destek için başvuru yapılmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Acaroğlu, M., & Aksoy, A.Ş. (2005). The cultivation and energy balance of *Miscanthus×giganteus* production in Türkiye. *Biomass and Bioenergy*, 29(1):42–48.
- Acaroğlu, M. (2001). Tarımsal üretimde enerji bilançoları-I. *Selçuk Teknik Online Dergisi*, 2(2): 1-9.
- Anonim. (2017). Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü web sayfası. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Menu/28/Yayinlar_veriler.
- Anonim. (2024). Konya tarımı. Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. <https://konya.tarimorman.gov.tr/Link/16/E-Kutuphane>.
- ASAE.(1999). ASAE Standarts. D497.4 MAR99: Agricultural Machinery Data. pp. 350-357 ASAE 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI, 49085-9659, USA.
- Black, R., Bennett, S.R., Thomas, S.M., & Beddington, J.R. (2011). Climate change: Migration as adaptation. *Nature*, 478(7370): 447-449.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., & Vanden Bygaart, A.J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 29-42.
- Boustead, I. (2003). Eco-profiles of the European plastics industry, Olefins. Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME), Brussels.
- Ceran, R. (2020). Konya’da sulu koşullarda yapılan ayçiçeği tarımının ekonomik ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Chen, S., Lu, F., & Wang, X. (2015). Estimation of greenhouse emission factors of China’s nitrogen, phosphate and potash fertilizers. *Acta Ecologica Sinica*, 35: 1–19. doi:10.5846/stxb201402210304
- Davoodi, M.J.S., & Housyar, E. (2009). Energy consumption of canola and sunflower production in Iran. *American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 6(4): 381-384.
- Devasenapathy, P., Senthilkumar, G., & Shanmugam, P.M. (2009). Energy management in crop production. *Indian Journal of Agronomy*, 54(1), 80–90.
- DSİ. (2020). Devlet Su İşleri IV. Bölge Müdürlüğü. Konya Kapalı Havzası yeraltı suyu durumu bilgilendirme dökümanı (09.01.2020), Konya.
- DSİ. (2021). DSİ IV. Bölge Müdürlüğü Web sayfası, Toprak ve Su Kaynakları. <https://bolge04.dsi.gov.tr/>
- DSİ. (2023). DSİ’ce inşa edilerek işletmeye açılan sulama ve bataklık ıslahı tesisleri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi. *ÖHÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1): 67-74. doi: 10.28948/ngumuh.369948
- Dyer, J.A., & Desjardins, R.L. (2003). The impact of farm machinery management on the greenhouse gas emissions from Canadian agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22: 59 –74. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_07
- Dyer, J.A., & Desjardins, R.L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems Engineering*, 93(1):107–118. doi:10.1016/j.biosystemseng.2005.09.011
- Epstein, E., Bloom, A. (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd Edition, Sunderland, Mass: Sinauer Associates, USA.
- Failla, S., Carlo Ingrao, C., & Arcidiacono, C. (2020). Energy consumption of rainfed durum wheat cultivation in a Mediterranean area using three different soil management systems. *Energy*, 195, 116960. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116960>
- FAO. (2000). The energy and agricultural nexus. Environment and natural resources working paper no. 4, Rome.
- Gao, Z., Wang, C., Zhao, J., Wang, K., Shang, M., Qin, Y., Bo, X., Chen, F., & Chu, Q. (2022). Adopting different irrigation and nitrogen management based on precipitation year types balances winter wheat yields and greenhouse gas emissions. *Field Crops Research*, 280: 108484. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108484>
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S., & Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy*, 88:283–288.
- Glantz, M.H., Gommers, R., Ramasamy, S. (2009). Coping with a changing climate: considerations for adaptation and mitigation in agriculture. Environment and Natural Resources Management Series, Monitoring and Assessment-Food and Agriculture Organization of the United Nations, 15:33-57.
- Haciseferogulları, H., & Acaroğlu, M. (2015). Energy Balance on Pumpkin Seed Production. *Journal of Agricultural Science and Applications*, 1(2): 49-53. doi:10.14511/jasa.2012.010203
- Halkacı, A.Y. (2022). Bireysel sulama kuyu işletmeciliğinin enerji kullanımı ve buna bağlı sera gazı (SG) emisyonunun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- He, G., Cui, Z., Ying, H., Zheng, H., Wang, Z., & Zhang, F. (2017). Managing the trade-offs among yield increase, water resources inputs and greenhouse gas emissions in irrigated wheat production systems. *Journal of Cleaner Production*, 164:567–574. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.085>
- Kalender, M.A. (2023). Konya havzası sulamasında enerji kullanımı ve ilişkili sera gazı salımı üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Karimi, M., Rajabi-Pour, A., Tabatabaeefar, A., & Borghei, A. (2008). Energy Analysis of sugarcane production in plants farms a case study in Debel Khazai agro-industry in Iran. *American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 4: 165–171

- Khan, M.A., Khan, M.Z., Zaman, K., & Arif, M. (2014). Global estimates of energy-growth nexus: Application of seemingly unrelated regressions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29:63–71. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.088>.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013). Reduction of CO₂ emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. *Energy*, 55: 676–682. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.021>
- Mantinea, M., D'Agosta, G.M., Copani, V., Patane, C., & Cosentino, S.L. (2009). Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 114: 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.020>
- MBM. (2021). Uzun yıllar (1985-2020) ortalaması bazı meteorolojik veriler. Meteoroloji 8. Bölge Müdürlüğü kayıtları. Konya.
- McGill, B.M., Hamilton, S.K., Millar, N., & Robertson, G.P. (2018). The greenhouse gas cost of agricultural intensification with groundwater irrigation in a Midwest U.S. row cropping system. *Global Change Biology*, 24:5948–5960. <https://doi.org/10.1111/gcb.14472>.
- Mrini, M., Senhaji, F., & Pimentel, D. (2002). Energy analysis of sugar beet production under traditional and intensive farming systems and impacts on sustainable agriculture in Morocco. *Journal of Sustainable Agricultural*, 20(4): 5-28. <https://doi.org/10.1300/J064v20n04-03>
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Dalgaard, T., Knudsen M.T., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., & Hermansen, E. (2013). Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: a combined use of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 54: 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.019>
- Nisar, S., Benbi, D.K., & Toor, A.S. (2021). Energy budgeting and carbon footprints of three tillage systems in maize-wheat sequence of north-western Indo-Gangetic Plains. *Energy*, 229: 120661. doi:10.1016/j.energy.2021.120661
- Pradeleix, L., Roux, P., Bouarfa, S., Jaouani, B., Lili-Chabaane, Z., & Bellon- Maurel, V. (2015). Environmental impacts of contrasted groundwater pumping systems assessed by life cycle assessment methodology: contribution to the water-energy nexus study. *Irrigation and Drainage*, 64:124–138. <https://doi.org/10.1002/ird.1865>
- Rafiee, H., Aminizadeh, M., Hosseini, E.M., Aghasafari, H., & Mohammadi, A. (2022). A Cluster Analysis on the Energy Use Indicators and Carbon Footprint of Irrigated Wheat Cropping Systems. *Sustainability*, 14: 4014. <https://doi.org/10.3390/su14074014>
- Ramedani, Z., Rafiee, S., & Heidari, M.D. (2011). An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy* 36 (11), 6340-6344. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.173>
- Safa, M., Samarasinghe, S., & Mohssen, M.. (2011). A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. *Energy Conversion and Management*, 52:2526–32.
- Singh, H., Mishra, D., Nahar, N.M., & Ranjan, M. (2003). Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India: part II. *Energy Conversion and Management*, 44(7): 1053-1067. doi:10.1016/S0196-8904(02)00115-2
- Spittlehouse, D.L., & Stewart, R.B. (2003). Adaptation to climate change in forest management. *Journal of Ecosystems and Management*, 4(1):1-11.
- Taki, M., Soheili-Fard, F., Rohani, A., Chen, G., & Yildizhan, H. (2018a). Life cycle assessment to compare the environmental impacts of different wheat production systems. *Journal of Cleaner Production*, 197: 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.173>
- Taki, M., Ajabshirchi, Y., & Ghobadifar, A. (2016). Application of nonparametric method for optimization of energy consumption and greenhouse gas emission in wheat production. *Journal of Environmental Science and Technology*, 18 (2), 101-114.
- Taki, M., Rohani, A., Soheili-Fard, F., & Abdeshahi, A. (2018b). Assessment of energy consumption and modeling of output energy for wheat production by neural network (MLP and RBF) and Gaussian process regression (GPR) models. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3028-3041.
- Topak, R., Süheri, S., Kara, M., & Çalışır, S. (2005). Investigation of the energy efficiency for raising crops under sprinkler irrigation in semi-arid area. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(5): 761-768. doi:10.13031/2013.19701
- Topak, R., Süheri, S., & Acar, B. (2010). Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. *Energy*, 35: 5464-5471. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.018>
- Topak, R., & Ceran, R. (2021). Energy use and related greenhouse gas emissions of groundwater-irrigated oil sunflower production. *Seria Agronomie*, 64(2): 285-294.
- Topak, R., & Kalender, M.A. (2020). Environmental mitigation through irrigation management in sugar beet production. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(3): 207-213.
- TŞÇMAE. (2020). Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma Enstitüsü, Meteoroloji İstasyonu kayıtları. Konya.
- TÜİK. (2024a). Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel üretim istatistikleri. İstatistiksel tablolar. Türkiye İstatistik Kurumu web sayfası. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>
- TÜİK. (2024b). Türkiye İstatistik Kurumu. Sera gazı emisyon istatistikleri 1990-2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701>
- Tzivilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85: 101–119. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015>.
- USDA. (2021). United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>.
- Wang, Z., Zhang, H., Lu, X., Wang, M., Chu, Q., Wen, X., & Chen, F. (2016). Lowering carbon footprint of winter wheat by improving management practices in North China Plain. *Journal of Cleaner Production*, 112(1): 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.084>
- Yavuz, D., Süheri, S., & Yavuz, N. (2016). Energy and Water Use for Drip-Irrigated Potato in the Middle Anatolian Region of Türkiye. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 35 (1): 212-220. doi:10.1002/ep.12216
- Yousefi, M., Khoramivafa, M., & Mondani, F. (2014). Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, 92:501 – 505. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.050>
- Yuan, S., & Peng, S. (2017). Input-output energy analysis of rice production in different crop management practices in central China. *Energy*, 141: 1124-1132. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.007>