



İklim Değişikliği Baskısı Altında Tarımda Enerji Kullanım Etkinliğinin Artırılması

Increasing of Energy Use Efficiency in Agriculture Under the Pressure of Climate Change

Mustafa Vatandaş¹  Mehmet Metin Özgüven^{1,*} 

¹ Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): M.M. Özgüven, e-mail (e-posta): mmozguven@ankara.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 06.06.2024
Düzeltilme tarihi : 21.08.2024
Kabul tarihi : 22.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Enerji Etkinliği
İklim Değişikliği
Sera Gazı Emisyonu

Atf için:

Vatandaş, M., Özgüven, M.M., (2024). "İklim Değişikliği Baskısı Altında Tarımda Enerji Kullanım Etkinliğinin Artırılması", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(2): 112-126.

ÖZET

Fosil yakıt kullanımına bağlı oluşan sera gazı emisyonlarının atmosfere karışması nedeniyle küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları yaşanmaktadır. Son yüzyılda fosil yakıtların yoğun kullanılmasından kaynaklı atmosferdeki CO₂ miktarında ve ortalama dünya yüzey sıcaklığında artışlar yaşanmıştır. Sıcaklık artışlarının 4 °C'ye ulaşması durumunda, dünyanın çeşitli yerlerinin insanların yaşamasına elverişsiz hale gelmesi beklenmektedir. Tarım sektörü, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en belirgin olduğu sektördür. İklim değişikliğine bağlı olarak düzensiz yağışlar, kuraklık, su kıtlığı, toprağın bozulması, hastalık ve zararlıların artması gibi çeşitli sorunlar tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluklar tarımsal üretimde verim ve kalitede azalmaya neden olmaktadır. Dünya nüfusunun arttığı ve tarımsal alanların azaldığı bir trendde, insanların gıda talebinin karşılanması için bu olumsuzluklara karşı çözüm arayışları sürmektedir. Sera gazı emisyonları en büyük oranda enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle yaşanan olumsuzluklara karşı bilim insanları, ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından çeşitli çalışmalar ve anlaşmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir bölümü yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve enerji etkinliğinin sağlanması ile sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerinedir. Bu çalışmada, tarımsal üretimde enerji etkinliğinin artırılması konusunda alınabilecek önlemler açıklanmıştır.

Article Info

Received date : 06.06.2024
Revised date : 21.08.2024
Accepted date : 22.08.2024

Keywords:

Energy Efficiency
Climate Change
Greenhouse Gas Emission

Vatandaş, M., Özgüven, M.M., (2024). "İklim Değişikliği Baskısı Altında Tarımda Enerji Kullanım Etkinliğinin Artırılması", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(2): 112-126.

ABSTRACT

Global warming and climate change problems are experienced due to the release of greenhouse gas emissions resulting from the use of fossil fuels into the atmosphere. There have been increases in the amount of CO₂ in the atmosphere and the average earth's surface temperature due to the intensive use of fossil fuels in the last century. If temperature increases reach 4 °C, it is expected that parts of the world will become uninhabitable for humans. The agricultural sector is the sector where the negative effects of climate change are most evident. Various problems such as irregular rainfall, drought, water scarcity, soil degradation, and increase in diseases and pests due to climate change negatively affect agricultural production. These negativities cause a decrease in productivity and quality in agricultural production. In a trend where the world population is increasing and agricultural areas are decreasing, the search for solutions to these negativities continues in order to meet people's food demand. Greenhouse gas emissions are largely caused by energy production and consumption. Various studies and agreements have been made by scientists, national and international organizations against the negativities experienced due to climate change. Some of these studies are on reducing greenhouse gas emissions by increasing the use of renewable energy and ensuring energy efficiency. In this study, measures that can be taken to increase energy efficiency in agricultural production are explained.

GİRİŞ

Günümüz dünyasında fosil yakıt kullanımı ve ormansızlaşma gibi insan kaynaklı faaliyetlerin artması sonucunda oluşan sera gazlarının atmosfere karışması nedeniyle, küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları yaşanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımının artışı, çağımızın büyük çevre sorunu olarak nitelendirilen iklim değişikliği sorununun nedenleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Çünkü sera gazları arasında en önemli yer tutan gaz olan CO₂ miktarının çok büyük bir bölümü fosil yakıtların yanmasından oluşmaktadır (DEK-TMK, 2012; Özgüven ve Bilgili, 2023). Son yüzyılda fosil yakıtların yoğun kullanımı nedeniyle, atmosferdeki CO₂ miktarı sanayi devrimi öncesindeki değeri olan 270 ppm düzeyinden 389 ppm düzeyine yükselmiştir. Bu artışın durdurulamaması durumunda önemli iklimsel değişikliklerin meydana gelebileceği uzmanlar tarafından ifade edilmektedir. Ayrıca küresel ısınmanın etkisiyle ortalama dünya yüzey sıcaklığının 0,8 °C arttığı rapor edilmektedir. Sıcaklık artışının 4 °C'ye ulaşması durumunda dünyanın birçok bölgesinin insanların yaşaması için elverişsiz hale geleceği uzmanlar tarafından belirtilmektedir (Kasap vd., 2012). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporu, sıcak hava dalgaları, aşırı sıcaklıklar, şiddetli yağışlar, kuraklık ve tropik kasırgalar, daha uzun sıcak mevsimler ve daha kısa soğuk mevsimler gibi iklim değişikliklerinin önümüzdeki on yıllarda dünyanın tüm bölgelerinde artacağını öngörmektedir. Ayrıca, IPCC uzmanları tarım ve sağlık için aşırı sıcaklık eşiklerinin daha sık aşılabacağına dikkat çekmektedir (IPCC, 2021).

Enerji talebi kalıpları ve tedarik sistemlerinin iklim değişikliğine doğrudan etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler, azaltma ve uyum çabalarına çeşitli şekillerde yardımcı olacak veya engel olacaktır. Bu nedenle iklim değişikliğiyle mücadele için bu etkilerin iyi anlaşılması ve enerji sistemi karbonsuzlaştırma yollarının maliyetlerinin, fizibilitesinin ve optimal zamanlamasının kapsamlı bir şekilde incelenmesi ile küresel enerji sisteminde büyük bir dönüşüm yapılması gerekmektedir (Cronin vd., 2018). Enerji sektörü fosil yakıt bazlı üretim tesislerinden, yani elektrik santrallerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarıyla ilişkili iklim değişikliğinde önemli bir sorumluluk taşımaktadır. Dolayısıyla enerji sektöründeki faaliyetler, sektörün fosil yakıtlara aşırı bağımlılığının, sektörü sera gazı emisyonlarını sınırlamak ve azaltmak için tasarlanmış iyileştirici politikaların hedefi haline getirmektedir. Bu faaliyetler arasında sıkı izin süreçleri, emisyon hedefleri, temizleme teknolojileri, karbon yakalama yöntemleri ve yenilenebilir portföy standartları yer almaktadır. Sonuç olarak, iklim değişikliği konuları, enerji güvenliği, kaynakların yenilenebilirliği ve ekonomik kalkınma ile ilgili kaygıların yanı sıra modern enerji politikalarına da etkili olmaktadır. Bu nedenle enerji sağlayıcıları, emisyon azaltımına, alternatif enerji kaynaklarına, iletim tesislerine ve şebeke modernizasyonuna önemli yatırımlar gerektiren, giderek katılaştıran çevresel düzenlemelere tabidir. Ayrıca fosil yakıtlardan (özellikle kömürden) rüzgar, güneş, jeotermal, hidroelektrik ve biyoenerji gibi yenilenebilir kaynaklara geçişin, temiz, güvenilir ve uygun fiyatlı enerji hedefleri ile bu hedeflere ulaşmak için sorumlu ilgili kurum ve kuruluşlar arasındaki tercihler üzerinde önemli etkileri vardır (Beecher ve Kalmbach, 2012).

Ülkemizde 2021 yılında gerçekleşen toplam sera gazı emisyonlarının sektörel dağılımına bakıldığında, CO₂ eşd. olarak en büyük emisyon oranının %71,3 ile enerji üretim ve tüketiminden kaynaklandığı görülmektedir. Sera gazı emisyonuna neden olan diğer önemli alanlar sırasıyla %13,3 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,8 ile tarım ve %2,6 ile atık sektörü takip etmektedir. 2021 yılında sektörlere göre hesaplanan emisyon miktarları şu şekildedir. Enerji sektörü emisyonları 402,5 Mt CO₂ eşd., endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları 75,1 Mt CO₂ eşd., tarım sektörü emisyonları 72,1 Mt CO₂ eşd., atık sektörü emisyonları ise 14,7 Mt CO₂ eşd. şeklinde sıralanmaktadır.. Ayrıca CH₄ emisyonuna tarımın %61,4 gibi en büyük oranda neden olduğu ve bunu %19,3 ile enerji,

%19,3 ile atık ve %0,03 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektörlerinin takip ettiği belirlenmiştir. N₂O emisyonlarının ise %78 oranda tarım ve ardından %11,1'i enerji, %5,9'u atık ve %5'i de endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektörlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir (TÜİK, 2023). Fosil yakıt kullanımına bağlı olarak özellikle enerji üretim ve tüketiminde ortaya çıkan emisyonlar, iklim değişikliği ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle temiz enerji olarak tanımlanan yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin artırılması ve mevcut teknolojilerin kullanımında enerji etkinliğinin artırılması gerekmektedir.

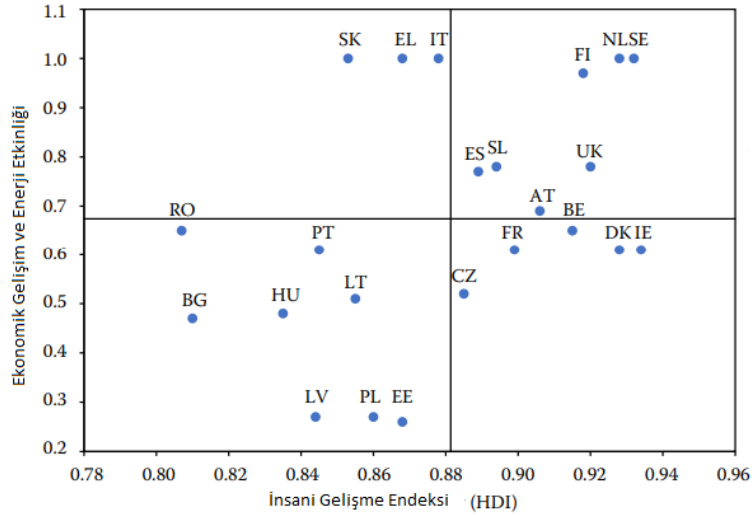
Bu çalışmada, tarımsal üretimde enerji kullanım etkinliğinin artırılması amacıyla yapılabilecek uygulamalar açıklanmıştır. Enerji, tarım dahil her türlü üretim faaliyetinin temel girdisi olduğundan, tüm girdilerde olduğu gibi kullanılan enerjinin çıktıya dönüşen miktarı enerji kullanım etkinliği olarak ifade edilmektedir. Tarımsal üretimde kullanılan makine yapım ve bakım, yakıt, yağ, iş gücü, tohum, gübre ve diğer tarım kimyasalları enerji eşdeğerleriyle ifade edilerek etkinlik değerleri hesaplanabilmektedir. Bu tarım kimyasallarının bir kısmı aynı zamanda güneş enerjisinin daha büyük oranda bağlanmasını sağlayarak verim artışına katkıda bulunmaktadır.

1. ENERJİ KULLANIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

Etkinlik ve verimlilik kavramları sıklıkla birbiriyle karıştırılmaktadır. Etkinlik daha çok girdi odaklı olarak kullanılırken, bu terime eklenmesi gereken etkililik ise çıktı odaklı bileşenler için kullanılmakta; her iki terimin toplamı ise verimlilik kavramını tanımlamaktadır. Buna göre etkililik “doğru işleri yapmak”, etkinlik “işleri doğru yapmak” olarak ifade edilmekte ve bunların bileşkesi olan verimlilik ise “doğru işleri doğru yapmak” olarak bütünleştirilmektedir (Cavlak, 2021). Yasal düzenlemelere de konu olan enerji verimliliği genel olarak; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasını ifade etmektedir.

Enerji dönüşüm etkinliği yüksek olan teknolojinin, etkinliği daha düşük düzeyde olanın yerini daha hızlı bir şekilde almaya başlaması, büyük ölçüde ekonomikliğin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumun kaçınılmaz sonucu olarak enerji etkinliğinin artırılmasına dönük teknolojilerin bir kısmı tarım kesiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Döngüsel hidrojen ekonomisi modeli olarak isimlendirilen modelde, hibrit enerji teknolojilerinin kullanımı öngörülmektedir. Bu modelde enerji etkinliğinin tasarım ve işletme parametrelerinin optimizasyonu ile en büyüklendiği, bu yolla hidrojen döngüsünün sağlandığı yaklaşımda güneş ve rüzgar enerjileri ile su kaynaklarının kullanım etkinliğinin en üst düzeye çıkarılması ve CO₂ emisyonu sorumluluğunun en aza indirilmesi ile enerji, ekserji, çevre ve insan refahı parametrelerinin doğrusal olmayan ilişkilerini düzenlemede yararlı olabileceği belirtilmiştir. Tarımda teknoloji kullanımının göstergeleri arasında yer alan Tarımsal Mekanizasyon İndeksi son yıllarda verimlilik, toplam CO₂ sorumluluğu ve su tüketimiyle ilişkilendirilmektedir (Kılış, 2024).

Enerji etkinliği hesaplamaları girdi-çıkıtı miktarları ve bunların enerji değerlerine göre belirlenen teknik verilere dayanmakla birlikte, yapılan bazı çalışmalarda sosyo-ekonomik göstergelerle olan ilişkileri ortaya konulmaktadır. Bunlardan birisinde, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından yayınlanan İnsani Gelişme Raporu'nda verilen İnsani Gelişme Endeksi (HDI) değerine bağlı olarak bazı Avrupa Birliği üyesi ülkelerin tarımsal gelişim ve enerji etkinliği değerleriyle oluşturulan serpmme grafik Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Bazı Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerde İnsani Gelişme Endeksi değerlerine bağlı olarak Ekonomik Gelişim ve Enerji Etkinliği değerlerinin dağılımı (Wyokinski vd., 2020)

(Not: Grafikte yer alan yatay ve düşey çizgiler ilgili değişkenlere ait AB ortalamasını göstermektedir. Ülke adları standart kısaltmalarıyla yazılmıştır).

Şekil 1’de yatay eksenini oluşturan insanı gelişme endeksi, ülkeler düzeyinde yaşam beklentisi, eğitim düzeyi ve satın alma gücüne dayalı milli geliri ölçüt olarak alan bir göstergedir. Şekile bakıldığında insanı gelişme endeksi yüksek olan AB üyesi ülkelerin aynı zamanda enerji etkinliği yönünden ortalamadan daha yüksek düzeyde bir performans gösterdikleri izlenmektedir. Bu paralel değişimden hareketle enerji etkinliği değerinin yüksekliğinin insanı gelişme endeksi değerinin yükselmesine olumlu etkisinin olduğu da söylenebilmektedir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN KULLANIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

Bitkisel üretimde üretilen ana ve yan ürünün toplam enerji eşdeğerinden yukarıda belirtilen ticari girdilerin toplam enerji eşdeğeri çıkarıldığında net enerji çıktısına ulaşılabilmektedir. Buna göre,

$$\text{Güneş enerjisi kullanım etkinliği} = \frac{\text{Net enerji çıktısı}}{\text{Yetiştirme dönemindeki toplam güneş enerjisi değeri}} \quad (1)$$

ifadesi yazılabilmektedir (Yavuzcan ve Vatandaş, 1991). Eşitlikten de görüldüğü gibi, güneş enerjisi dönüşüm etkinliği değerinin maksimize edilmesi; girdi optimizasyonuna dayalı olarak net enerji çıktısının en büyüklenmesiyle sağlanabilecektir. Bitkilerin vejetasyon süresi ve buna bağlı olarak eşitliğin paydasında düzenleme yapma olanağı pratik olarak bulunmadığından; pay kısmı ve burada da ticari girdi kullanımının optimizasyonu konusunda mühendislik yapma olanakları bulunmaktadır. Günümüzde hassas tarım uygulamaları ve bu amaçla kullanılan teknolojiler ilaç, gübre, tohum, iş gücü ve mekanizasyon girdilerinin alana özel uygulamalarla optimize edilmesi amacına dönük olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yolla aynı zamanda güneş enerjisi dönüşüm etkinliğinin artırılmasına da katkı sağlanmaktadır. Güneş enerjisi dönüşüm etkinliği değerini artırabilmek için uygun bitkilerin yetiştirilmesi, sulanabilir alanlar artırılarak nadasın kaldırılması ve gereksiz gübre ve kimyasal madde kullanımının azaltılması bu konuda atılabilecek adımlar arasında yer almaktadır.

3. AKARYAKIT ENERJİSİNİN KULLANIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

Akaryakıt enerjisi (benzin veya motorin) tarımsal üretimin temel enerjisidir. Akaryakıtın birim miktarından alınabilecek enerji, dönüşümü sağlayan motorun tasarım ve işletme parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Akaryakıt enerjisinin dönüşüm etkinliği, temel olarak ısı etkinlik terimiyle ifade edilmektedir. Isıl etkinliğin hesaplanmasında,

$$\text{Isıl etkinlik (\%)} = (\text{Alınan güç (kW)} * 3600) * 100 / [\text{Yakıt tüketimi (kg/h)} * \text{Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)}] \quad (2)$$

eşitliği kullanılabilir (Hunt ve Wilson, 2016). Eşitliğin paydasında yer alan yakıtın alt ısı değeri belirli özellikteki bir yakıt için sabit olduğundan ısı etkinliğin yükseltilebilmesi, alınan gücün artırılması ve/veya yakıt tüketiminin azaltılmasıyla olanaklı hale gelebilmektedir. Bu nedenle belirli bir miktar yakıttan alınan gücün (belirli bir süre içinde alınan enerjinin) ifadesi için yakıtın enerji verimi (kWh/litre) terimi kullanılmaktadır. Güç makineleri için özgül yakıt tüketimi terimi (litre/kWh) ise yakıtın enerji verimi değerinin tersi alınarak bulunabilmektedir.

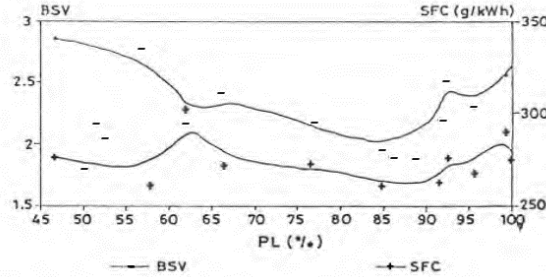
Traktörlerde yakıtın enerji verimi motorun yüklenme oranına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak yüklenme oranının artışı, yakıtın enerji verimini artırmaktadır (Yavuzcan vd., 1990). Bu durum farklı yakıtlarla çalıştırılan traktörlerde yakıtın enerji verimine Çizelge 1'deki gibi yansımaktadır. Çizelge değerleri, hangi çeşit akaryakıt kullanılırsa kullanılsın, motor yüklenmesindeki artışla yakıtın enerji veriminin de arttığını göstermektedir.

Çizelge 1. Farklı yakıtlarla/motorlarla çalışan traktörlerde motorun yüklenme oranına bağlı yakıtın enerji verimi (kWh/litre) değerleri (Hunt ve Wilson, 2016).

Yüklenme Oranı (%)	Benzinli Motor	LPG'yle Çalışan Motor	Diesel (Doğal Emişli) Motor	Diesel (Turbo) Motor	Diesel (Turbo+Sogutmalı) Motor
100	2,17	1,78	2,90	3,07	3,09
80	1,96	1,68	2,84	2,82	2,86
60	1,63	1,47	2,60	2,55	2,59
40	1,28	1,17	2,13	2,10	2,15
20	0,83	0,83	1,38	1,36	1,42

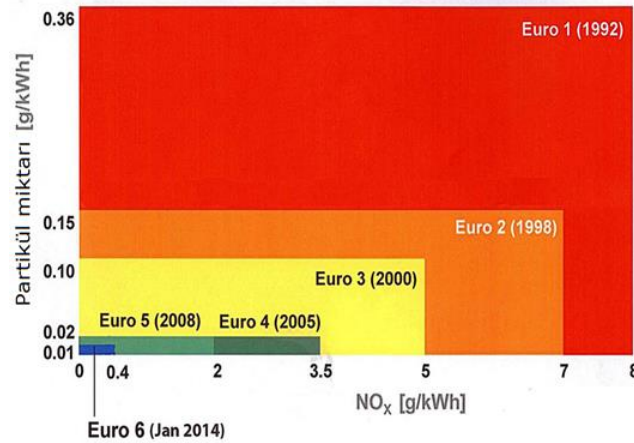
Traktörlerde motorun yüklenme oranı yakıtın enerji veriminin yanında, zararlı emisyon miktarı, aşınma ve çalışma sürekliliğinin sağlanması yönlerinden de önem taşımaktadır. Özellikle birincil toprak işleme gibi ağır çeki işinin söz konusu olduğu pek çok çalışmada, toprak direncinde geniş sınırlar arasında sapmalar görülebilmektedir. Söz konusu sapmalar pulluk gövdesinin aniden derine dalması, taşa veya köke takılması durumlarında oluşabilmektedir. Belirtilen bu olumsuzluklar, motordan talep edilen gücün maksimum gücünü aşması nedeniyle aniden durma (stop etme) durumunu yaratarak çalışmayı kesintiye uğratabilmektedir. Bu şekilde güç talebinde ani değişimlerin söz konusu olduğu çalışmalar için motor gücünün belirli bir oranının yedek (rezerv) güç olarak ayrılması gerekli olmaktadır. Araştırmalar belirtilen yedek güç oranının (kuyruk mili gücü cinsinden) %15 dolayında olmasının; kalan %85'lik kısmın ise tam olarak kullanılmasının uygun olacağını göstermektedir.

Traktörlerde yakıtın enerji veriminin yüksekliği (özgül yakıt tüketiminin düşüklüğü) ve zararlı emisyon miktarının azaltılmasının sağlanması, optimum yanma koşullarının sağlanmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2’de verilen grafik, belirtilen parametrelerin kuyruk mili gücü cinsinden yüklenme oranıyla değişimini göstermektedir.



Şekil 2. Dizel motorlu bir traktörde kuyruk mili gücü cinsinden yüklenme oranına (PL) bağlı özgül yakıt tüketimi (SFC) ve Bosch Duman Sayısı (BSV) değerlerinin değişimi (Vatandaş ve Ekmekci, 2002)

Şekil 2 değerleri kuyruk mili gücü cinsinden %85 dolayındaki yüklenme oranının, özgül yakıt tüketimi ve zararlı egzoz emisyonu (Bosch Duman Sayısı) düşüklüğü yönünden optimum düzey olduğunu göstermektedir. Yüklenme oranının %90'ın üzerine çıkması, özgül yakıt tüketimini artırdığı gibi; yedek güç miktarını azaltacağından motorun ani durma riskini artırmaktadır. Diğer yandan motorun düşük yüklenme oranıyla yüklenmesinin de özgül yakıt tüketimini ve zararlı emisyon miktarını artırdığı grafikten izlenmektedir. Motorun optimum yüklenme oranında çalıştırılması, yakıt ekonomisinin yanında zararlı egzoz emisyonunun azaltılması için ön şart olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum tersten okunduğunda, zararlı egzoz emisyonunun azaltılabilmesi; yakıtın enerji veriminin yükseltilmesi konusundaki çalışmaları zorunlu hale getirmektedir. Bu konudaki düzenlemelere örnek oluşturması açısından Avrupa Birliği (AB) kurallarının gelişimi Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. AB emisyon standartlarının gelişimi (Tarrant International, 2024)

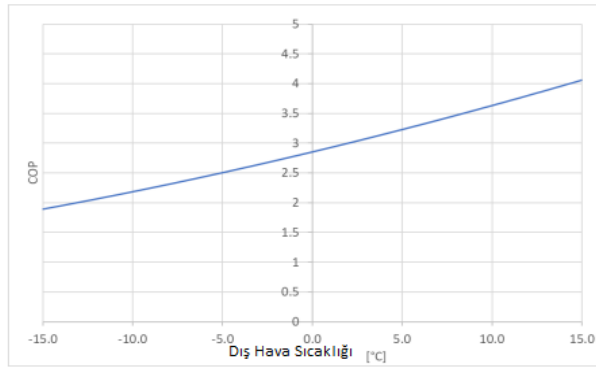
Traktör motorunun yüklenme oranı sadece optimum değer yönünden değil, alt sınır yönünden de kritik bir düzeye sahiptir. Buna göre traktör motorunun düşük veya çok düşük (%30'un altı) yüklenme oranıyla (rölanti devri veya ona yakın devirde) çalıştırılması, yukarıda belirtilen olumsuzluklar yanında yağlama etkinliğinin düşmesi nedeniyle de ek aşınmalara yol açabilmektedir

4. ELEKTRİK ENERJİSİNİN KULLANIM ETKİNLİĞİNİN ARTIRILMASI

4.1. Elektrik Enerjisinin Isı Enerjisine Dönüşüm Etkinliği

Elektrik enerjisi direnç ısıtması, ark ısıtması, indüktif ısıtma, kapasitif ısıtma ve mikrodalga ısıtma gibi yöntemlerle ısı enerjisine dönüştürülebilmektedir. Özellikle direnç ısıtması ucuz aygıtlar kullanılarak yüksek bir etkinlikle (daldırma tipi ısıtıcı gibi) kullanılarak uygulanabilmektedir. Ancak bu tip ısıtmada 1 kWh'lik enerji bedeliyle %100 etkinlikte 860 kcal değerinde verim elde edilmesi; alternatif kaynakların (doğalgaz, kömür vb) ısıtmadaki ekonomiklik düzeyiyle rekabet şansını oldukça azaltmaktadır (Onurbaş Avcıoğlu vd., 2011). Elektriksel ısıtma aygıtlarının amaca uygun kullanımı için ısının hangi yolla aktarıldığı (kondüksiyon, konveksiyon veya radyasyon) fonksiyon yönünden önem taşımaktadır.

Elektrik enerjisinin dönüşen enerji olarak değil de çevrimi sürdürmek amacıyla kullanıldığı ısıtma/soğutma makinesi ısı pompası olarak adlandırılmaktadır. Isı pompasının etkinliği, aktardığı enerjinin kullandığı enerjiye oranı olarak hesaplanan performans katsayısı (COP) terimiyle ifade edilmektedir. Performans katsayısı ısı pompasının ısı aktarımı yaptığı soğuk ve sıcak kaynağın sıcaklıklarıyla yakından ilgilidir. Kapalı yerlerin ısıtılmasında ortalama konfor değerleri için elde edilen COP değerlerinin dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Isı pompasıyla havadan havaya ısıtmada dış ortam sıcaklığına bağlı olarak performans katsayısının (COP) değişimi (Eguiarte vd., 2020)

4.2. Elektrik Enerjisinin Işık Enerjisine Dönüşüm Etkinliği

Elektriksel aydınlatmada genel (toplam) sistem etkinliği,

$$E_o = E_s * E_{LO} * CU * LLF \quad (3)$$

eşitliğiyle verilmektedir (Sanford ve Go, 2022). Bu eşitlikte,

E_o : Genel sistem etkinliği (lm/W),

E_s : Kaynağın ışık verimi (lm/W),

E_{LO} : Armatürün yansıtma etkinliği (ondalık),

CU: Aydınlatma tesir derecesi (birimsiz),

LLF: Işık kaybı (Tozlanma) faktörü (birimsiz)'dir.

Yukarıdaki eşitlik gereğince aydınlatma uygulamalarında ışık verimi yüksek olan ışık kaynaklarının kullanımı temel esastır. Bu amaçla kapalı mekanların aydınlatılmasında LED ampullerin, açık ortamların aydınlatılmasında ise LED ampullerin yanı sıra civa buharlı veya sodyum buharlı ampullerin kullanımı enerji kullanım etkinliğini maksimize edebilmek için gereklidir. Diğer yandan ampulün takıldığı armatürde yer alan yansıtacın ışığı dağıtma karakteri, kaynağın ortama verdiği ışık akısının ne kadarından yararlanılabildiği (aydınlatma tesir derecesi) ve ampulün ve yansıtacın tozlanması nedeniyle oluşabilen ışık kaybı faktörü (0,6-0,8) elde edilen ışık akısından yararlanma oranını önemli oranda etkilemektedir. Buna göre aydınlatmanın ışık verimi yüksek bir ışık kaynağı kullanılarak, yüksek oranda direkt ışık veren yansıtıcılarla

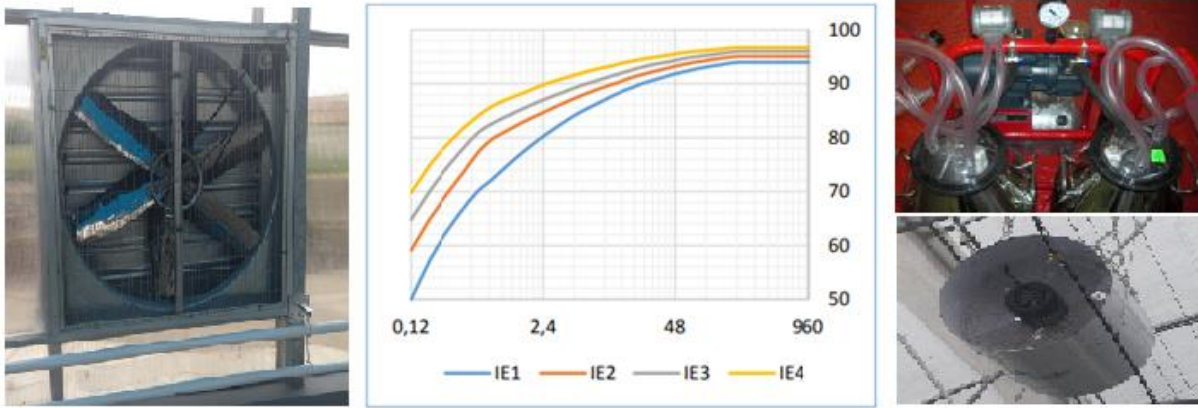
$$\text{Aydınlatma tesir derecesi} = \text{Aydınlatılacak yerin genişliği/Lamba asma yüksekliği} \quad (4)$$

oranının mümkün olan en yüksek değerde olduğu, tavanı ve duvarları açık renk boyanmış, ampulün ve yansıtacın tozdan uzak tutulduğu koşullarda yapılması enerji kullanım etkinliğini artıracaktır.

Yukarıda açıklanan tasarım ve işletmeyle ilgili düzenlemelerin yanı sıra, gün ışığından daha yüksek oranda yararlanılması, kullanılmayan alanların aydınlatılmaması, zamanlayıcılar, fotoseller veya hareket sensörleriyle lambalara kumanda edilmesi ve masa üstü çalışmalarda masa lambası kullanılması gibi uygulamalar da aydınlatmada enerji tasarrufu olanağı sağlayabilmektedir.

4.3. Elektrik Enerjisinin Mekanik Enerjiye Dönüşüm Etkinliği

Yapılan hesaplamalara göre dünya genelinde arz edilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık yarısı elektrik motorları tarafından kullanılmaktadır (Ünal, 2021). Tarım kesiminde bulunan elektrik motorları ise toplam tüketimin yaklaşık 1/3'ünü gerçekleştirmektedir (Anonim, 2015). Bu durum kullanılan elektrik motorlarının verimlilik sınıfının önemini açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. TS EN 60034-30-1'e göre elektrik motorlarının verimlilik sınıfları (Esen, 2015)

(Not: Grafikte yatay eksen elektrik motorunun anma gücünü (kW), dikey eksen enerji dönüşüm etkinliğini (%) göstermektedir).

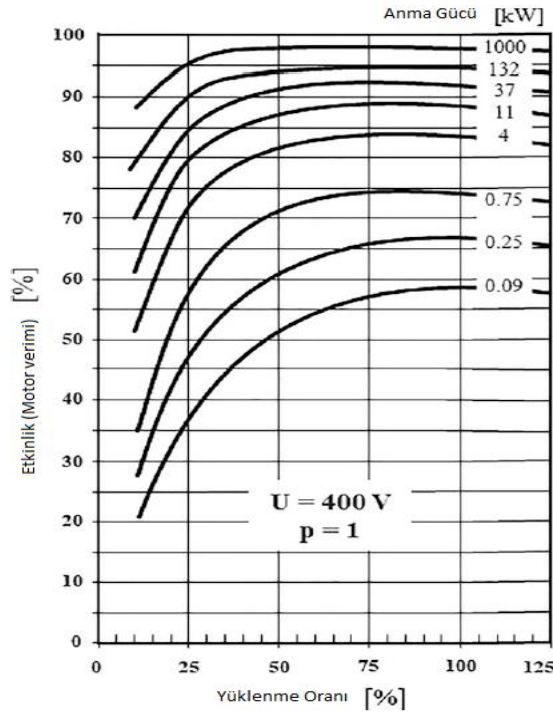
Şekil 5'de elektrik motorlarının standartlaştırılmış verimleri IE1: Standart verimli, IE2: Yüksek verimli, IE3: Çok yüksek (premium) verimli, IE4: Çok çok yüksek (süper premium) verimli olarak yer almaktadır. Günümüzde tarımda ve sanayide kullanımı çok yaygın olan kısa devre rotorlu asenkron

motorlar, malzeme ve teknolojik sınırlılıklar nedeniyle en yüksek IE3 verimlilik sınıfında üretilebilmektedir. Şekilden özellikle anma gücü 55 kW'ın altında olan elektrik motorlarında

$$\text{Elektrik motorunun enerji dönüşüm etkinliği} = \text{Motorun milinden alınan güç} / \text{Motorun şebekeden çektiği güç} \quad (5)$$

eşitliğine bağlı olarak belirlenen verimlilik sınıfı üzerinde yüksek düzeyde etkili olduğu izlenmektedir.

Elektrik motorlarının yüklenme oranı, enerji etkinliği üzerinde etkili olan bir diğer faktörü oluşturmaktadır. Elektrik motorları emniyet öngörüsüyle anma yüklerinin bir miktar altında yüklenerek çalıştırıldığından, söz konusu yüklenme (kısmi yüklenme) oranındaki enerji etkinlik değeri önem taşımaktadır. Üç fazlı asenkron motorlarda (anma gücünün yüzdesi olarak) yüklenme oranına bağlı enerji etkinliği (verimlilik) değerlerinin değişimi motorların anma gücüne bağlı olarak Şekil 6'da görülmektedir.



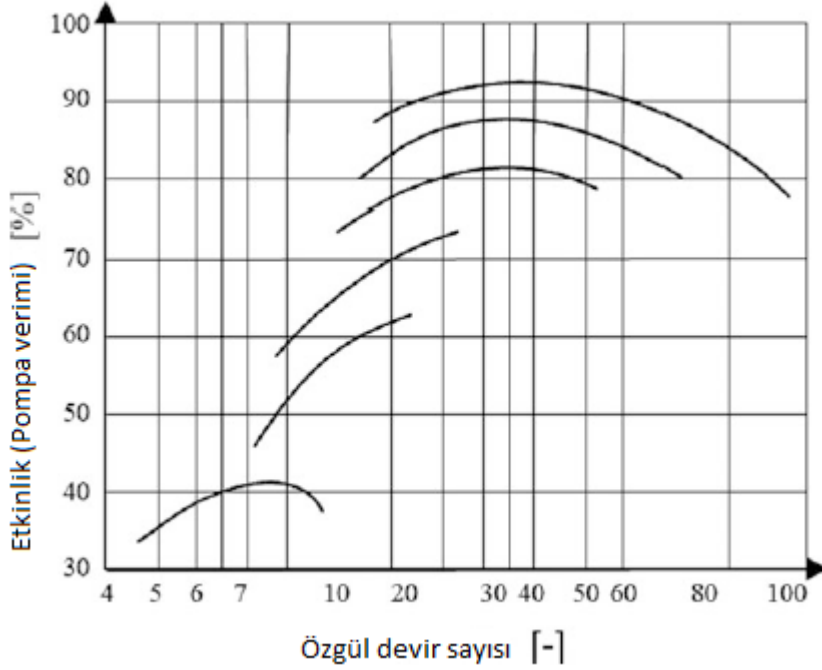
Şekil 6. (Üç fazlı asenkron motorlarda yüklenme oranı ve anma gücüne göre enerji kullanım etkinliği değerlerinin değişimi (Blesl ve Kessler, 2021))

Şekil 6'da yer alan eğrilerin incelenmesi, asenkron elektrik motorlarının enerji kullanım etkinliğinin %75 yüklenme oranından itibaren anma etkinlik (%100 verimlilik) değerine çok yaklaştığını göstermektedir. Bu durum üç fazlı asenkron motorların optimum yüklenme oranının %75-100 aralığında olduğunu ifade etmektedir. Diğer yandan bu motorların %50'nin altındaki yüklenme koşullarında çalıştırılmasının ise düşük düzeyli enerji kullanım etkinliği nedeniyle uygun olmadığı grafik eğrilerinden izlenmektedir.

Elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülerek kullanıldığı bir başka makine grubu ise pompalardır. Alışlagelmiş tasarıma sahip pompaların pek çoğu orta düzeyde enerji kullanım etkinliğine sahiptir ve bu makineler yaptıkları iş gereği uzun süreli olarak çalıştırılmak zorundadırlar. Böyle olunca

elektrik motoru-pompa eşleştirilmesinde (akuplasyonunda) sadece elektrik motorunun yüksek etkinlikte çalışması yeterli olmamakta, pompanın da aldığı enerjiyi yüksek oranda suya aktarması beklenmektedir.

Yüksek enerji kullanım etkinliği değerlerine sadece makinelerin işletme parametrelerinin optimize edilmesiyle ulaşılamayacağı açıktır. Yüksek enerji kullanım etkinliği elde etmenin temeli makinenin tasarım ve imalat süreçleriyle başlamakta ve işletilmesiyle devam etmektedir. Konunun önemi pompa örneğinde Şekil 7’de yer alan grafikten daha iyi anlaşılmaktadır.

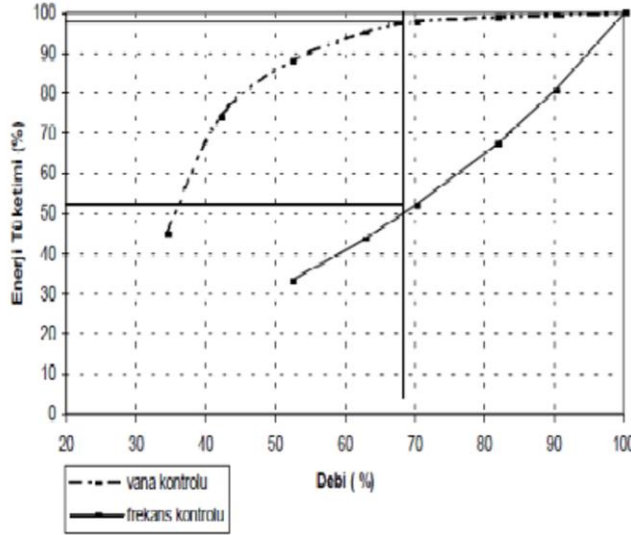


Şekil 7. Santrifüj pompalarda özgül devir sayısı ve kanat şekline bağlı olarak enerji kullanım etkinliği değerlerinin değişimi (Blesl ve Kessler, 2021)

Diğer yandan santrifüj pompalarda devir sayısına ($n_{1,2}$) bağlı debi ($Q_{1,2}$) ve güç ($P_{1,2}$) değişimi,

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2 \quad \text{ve} \quad P_1 / P_2 = (n_1 / n_2)^3 \quad (6)$$

eşitliklerine bağlı olduğundan; azalan debi ihtiyacı daha düşük pompa (dolayısıyla elektrik motoru) devriyle karşılanabilmektedir. Elektrik motorunun daha düşük devirde çalıştırılmasıyla şebekeden çekilen güç değeri de düşmekte ve böylece enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Debi kontrolünün bu yolla gerçekleştirilmesinde, motor statorunda döner manyetik alanı oluşturan elektrik akımının frekansı değiştirilerek devir sayısı ayarı sağlanabilmektedir. Bu şekildeki frekans kontrolüyle sağlanan debi denetiminin alışlagelmiş yöntem olan vana açıklığı ayarına kıyasla enerji tüketimini nasıl etkilediği Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Solda santrifüj pompalarda debi kontrolünün vana veya frekans denetimli olarak yapılması durumunda enerji tüketiminin değişimi (Karaca, 2012).

5. KAYIP VE KAÇAKLARIN AZALTILMASIYLA ENERJİ TASARRUFU SAĞLANMASI

Elektrik motoru kullanımında reaktif (kör) güç dengelemesi (kompanzasyonu) da enerji verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Çünkü reaktif güç dengelemesi, aynı yükün daha az akımla beslenmesine olanak sağlamaktadır.

Alevle ısıtma etkisi sağlayan (yakıcı) ısıtma cihazları ve makineleri (kombi, kalorifer kazanı vb) konut ve iş yerlerinin yanında seralar ve hayvan barınakları gibi tarımsal üretim ortamlarında da kullanılabilir. Bu tip makinelerin enerji dönüşüm etkinliğinin yüksek olması yönünden en önemli iki özelliği, yoğunlaşmalı olmalarının yanında alev ayar olanağına (modülasyon) sahip bulunmalarıdır. Alev modülasyonu, ayarlanan termostat sıcaklığına (ısıtma yüküne) bağlı olarak alev yüksekliğinin kontrol edilmesidir. Bu yolla ısıtıcı makinenin gereksiz gaz yakması önlenerek düşük işletme sıcaklığı değerlerinde tasarruf sağlanabilmektedir. Alev modülasyonu, ısıtılacak yerlere yerleştirilen modülasyonlu oda termostatları kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir (Karakoç, 2006).

Gerek tarım sektöründe gerekse sanayide, basınçlı akışkan (hava, su vb) kullanımının söz konusu olduğu sistemlerde bağlantı elemanlarının olduğu yerlerde kaçakların azaltılması, hava veya su yoluyla atılan ısının geri kazanılıp değerlendirilmesi, ısı yalıtımının yapılması, camların yansıtıcı filmle kaplanması gibi uygulamalar, enerji tasarrufu yoluyla etkinliğin dolaylı olarak artırılmasına katkıda bulunmaktadır.

6. SONUÇ

Enerji kullanım etkinliğinin artırılması, enerjiyi dönüştüren veya aktaran makinelerin verimliliğine büyük oranda bağlıdır. Teknikte motor veya güç makinesi adıyla anılan enerji dönüşüm sistemleri, dönüşümün çıktısı olan enerjiyi iş makinesine aktarmakta ve bunlarla faydalı iş yapılmasını sağlamaktadırlar. Güç makinesi ile iş makinesinin uyumu (traktör+ekipman, elektrik motoru+pompa eşleştirmesi gibi) yüklenme oranının düzeyiyle ifade edilen bir verimlilik ölçütü oluşturmaktadır. Yüklenme oranının düzeyi, her güç makinesi için ayrı ayrı ifade edilebilecek optimum değerlere sahip olmaktadır. Yüklenme oranında optimum değerlere ulaşılmasıyla elde edilen maksimum enerji etkinliği düzeyinin, periyodik veya kestirimci bakım uygulamalarıyla sürekli hale getirilebileceği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2015). Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği. T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.
- Beecher, J. A., ve Kalmbach, J. A. (2012). Climate change and energy. In: U.S. National Climate Assessment Midwest Technical Input Report. http://glisa.msu.edu/docs/NCA/MTIT_Energy.pdf.
- Blesl, M., ve Kessler, A. (2021). *Energy Efficiency in Industry*. Springer-Verlag GmbH, Germany.
- Cavlak, H. (2021). Etkinlik, Etkililik, Verimlilik, Kârlılık, Performans: Kavramsal Bir Çerçeve ve Karşılaştırma. *Journal of Research in Business*, 6(1): 99-126.
- Cronin, J., Anandarajah, G., ve Dessens, O. (2018). Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps. *Climatic Change* 151, 79-93. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2265-4>.
- DEK-TMK, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2012). *Enerji Raporu 2012*. ISSN: 1301-6318, Ankara.
- Eguiarte, O., Garrido-Marijuán, A., De Agustín-Camacho, P., Del Portillo, L., ve Romero-Amorrortu, A. (2020). Energy, Environmental and Economic Analysis of Air-to-Air Heat Pumps as an Alternative to Heating Electrification in Europe. *Energies*, 2020, 13, 3939.
- Esen, G. K. (2015). Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Sakarya.
- Hunt, D., ve Wilson, D. (2016). *Farm Power and Machinery Management*. Waveland Press, Inc., Illinois.
- IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Climate Change Widespread, Rapid, and Intensifying. – The Intergovernmental Panel on Climate Change Report 12p.
- Karaca, M. (2012). *Değişken Devirli Sirkülasyon Pompalarında Enerji Verimliliği*. İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karakoç, T.H. (2006). *DGT Doğal Gaz Tesisatı*. Demirdöküm Teknik Yayınları No: 10, İstanbul.
- Kasap, A., Özgüven, M.M., ve Fiat, S. (2012). Biyoyakıtlar ve önemi. *Agroworld Tarım Dünyası*, Mayıs-Haziran 2012, Sayı 9: 44-46.
- Kılış, B. (2024). Exergy-Based Slow-City/Agriculture Mechanization with Circular Hydrogen and Renewable Energy Systems. In: Cavallo, E., Auat Cheein, F., Marinello, F., Saçılık, K., Muthukumarappan, K., Abhilash, P.C. (eds) 15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture. ANKAgEng 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 458. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51579-8_12.
- Onurbaş Avcioğlu, A., Türker, U., Demirel Atasoy, Z., ve Koçtürk, D. (2011). Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler- Biyoyakıtlar. (Editör: Onurbaş Avcioğlu, A.) Nobel Yayınları, Ankara.
- Ozguven, M.M., ve Bilgili, M. E. (2023). The Effect Of Climate Change On Agricultural Production. *Quantum Journal of Engineering, Science and Technology*. 4(3), 29–37. Retrieved from <https://www.qjoest.com/index.php/qjoest/article/view/117>.
- Sanford, S., ve Go, A. (2022). *Energy Efficiency-Equipment Use and Installation*. Regional Perspectives on Farm Energy, Springer-Verlag GmbH, Germany.
- Tarrant International (2024). <https://www.tarrantinternational.com/environmental-policy/>

- TÜİK. 2023. Seragazi Emisyon İstatistikleri, 1990 – 2021. Haber Bülteni. Sayı: 49672.
- Ünal, C. (2021). Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği 2021 Yılında AB Ülkelerinde Yürürlüğe Girecek Düzenlemeler ve Türkiye'de Yapılanlar. Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- Wyokinski, M., Domagala, J., Gromada, A., Golonko, M., ve Trebska, P. (2020). Economic and Energy Efficiency of Agriculture. *Agricultural Economics-Czech*, 66, 2020 (8): 355-364.
- Vatandaş, M., ve Ekmekci, K. (2002). Traktör Motorlarında Egzos Gazı Kirliliği ve Yakıt Ekonomisi Optimizasyonu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8(2): 140-142.
- Yavuzcan, G., Aygöl, A., ve Vatandaş, M., (1990). Yüklenme Derecesi Artırılarak Yakıt Tasarrufu Sağlanabilir mi ? *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 23 (270): 23.
- Yavuzcan, G., ve Vatandaş, M. (1991). Makineli Tarımda Enerji Transformasyonu. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 24 (285): 48.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

The increase in the use of fossil fuels first among the causes of climate change, which is described as the major environmental problem of our age. Because a large portion of the amount of CO₂, which is the most important greenhouse gas, comes from the burning of fossil fuels. Greenhouse gas emissions resulting from the use of fossil fuels, especially in energy production and consumption, lead to climate change and environmental problems. For this reason, it is necessary to increase the energy obtained from renewable energy sources, defined as clean energy, and to increase energy efficiency in the use of existing technologies. In this study, measures that can be taken to increase energy efficiency in agricultural production are explained.

Methodology

The issues to be considered and the measures to be taken in order to ensure energy efficiency during agricultural production are explained under headings.

Results and Conclusions

Increasing energy use efficiency is highly dependent on the efficiency of the machines that convert or transfer energy. Energy conversion systems, technically known as engines or power machines, transfer the energy that is the output of the conversion to the work machine and enable useful work to be done with it. The compatibility of the power machine and the work machine (such as tractor + equipment, electric motor + pump matching) creates an efficiency criterion expressed by the level of the loading rate. The level of the loading rate has optimum values that can be expressed separately for each power machine. It should always be taken into consideration that the maximum energy efficiency level achieved by reaching optimum values at the loading rate can be made permanent through periodic or predictive maintenance applications.

Yazarların Biyografisi



Mustafa VATANDAŞ

1985 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Mekanizasyon Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 1987 yılında yüksek lisans eğitimini, 1990 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2002 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümüne Profesör olarak atandı. Halen aynı bölümde görev yapmaktadır. Tarımsal elektrifikasyon, Tarım makinaları işletmeciliği, Tarımsal otomasyon konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1664.

İletişim

Mustafa.Vatandas@ankara.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-6733-4943>



Mehmet Metin ÖZGÜVEN

1997 yılında Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı'nda 2000 yılında yüksek lisans eğitimini, 2009 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. 2021 yılında Biyosistem Mühendisliği Bilim Alanında Üniversite Doçenti unvan ve yetkisini aldı. Halen Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Hassas tarım, Akıllı-dijital tarım, Tarımda bilgi teknolojileri konularında çalışmaktadır. Adres: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 06135, Ankara, Türkiye. Tel: +90 312 596 1576.

İletişim

mmozguven@ankara.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-6421-4804>