

Türkiye Tarım Sektöründe Enerji ve Ekserji Etkinliği

H. Hüseyin ÖZTÜRK

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 01130 Adana
hhozturk@cu.edu.tr

Özet : Türkiye’de 1970-1993 yılları arasındaki dönemde tarım sektöründe enerji ve ekserji kullanım etkinliği araştırılmıştır. Enerji ve ekserji etkinliği esas olarak, traktör ve pompaj tesislerindeki pompalar için yürütülmüştür. Tarım sektöründe ortalama ekserji etkinliği, enerji etkinliğinden daha düşüktür. Belirtilen yıllar arasındaki dönemde, ortalama enerji etkinliği % 74.81–74.97 arasında değişmesine karşın, ortalama ekserji etkinliği % 72.32–74.59 arasında değişmiştir. Tarım sektöründe, 1970–1993 yılları arasındaki dönemde ortalama enerji kullanım etkinliği % 74.92 iken, ekserji kullanım etkinliği ortalama % 73.83 olarak gerçekleşmiştir.

Anahtar kelimeler: Türkiye; Tarım; Enerji etkinliği; Ekserji etkinliği

Energy and Exergy Efficiency in Agricultural Sector of Turkey

Abstract: This paper presents an analysis of energy and exergy utilization in the agricultural sector of Turkey by considering the sectoral energy and exergy flows for a period of 23 years between 1970 and 1993. Energy and exergy analyses are conducted for its two essential devices, namely tractors and pumps, and hence the sectoral energy and exergy efficiencies are obtained for comparison for a period of 23 years. Two main energy sources are diesel for tractors and electricity for pumps in the sector. It is found that the overall exergy efficiencies in this sector are slightly less than the corresponding energy efficiencies, e.g. % 74.81–74.97% for exergy efficiency and % 72.32–74.59 % for energy efficiency from 1970 to 1993. The present technique is proposed as a useful tool in sectoral analysis of energy and exergy utilization, developing energy policies and providing energy conservation measures.

Key words: Turkey; Agriculture; Energy efficiency; Exergy efficiency

GİRİŞ

Endüstri, ulaştırma, ticaret, konut ve tarım sektörlerinde enerji kullanımını azaltmanın en etkin yöntemlerinden birisi de, enerji kullanma etkinliğini artırmaktır. Günümüz endüstri dünyasında, enerji ve diğer kaynaklarının kullanımı önemli düzeye ulaşmıştır. Bu nedenle, bir taraftan doğal kaynakların temini azalmaya başlamış, diğer taraftan da çevre kirliliği gibi doğal ortama verilen zararlar artarak devam etmektedir. Bununla birlikte, enerji dönüşümüne ilişkin teknik iyileştirmeler yeterince etkin bir şekilde gerçekleştirilememektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, gelecekteki enerji üretim ve tüketim düzeylerinin belirlenebilmesi için; nüfus artışı, ekonomik üretkenlik, tüketici alışkanlıkları ve teknolojik gelişmeler gibi dikkate alınması gereken bir çok etmen vardır. Enerji sektörüne ilişkin yönetim biçimleri, gelecekteki enerji üretim ve tüketim düzeyi

ve dağılımında önemli rol oynayacaktır (Dinçer, 1999; Dinçer, 2004a).

Enerji etkinliğinin artırılması, enerji kaynaklarının çevresel etki değerlendirmesi açısından önemlidir. Daha az enerji kullanmak ve çevreye en düşük düzeyde zarar vermek için, sistem etkinliğinin artırılması gerekir. Fizik-mühendislik-çevre kavramları, birbiri ile ilişkili olduğundan, bu kapsamda ekserji yararlı bir kavramdır. Ekserji, mühendislik sistemlerinin gerçek etkinliğini belirttiğinden, yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenmesi için yararlıdır. Bu nedenle, mühendislik sistemlerinin tasarımında olduğu kadar, sektörel bazda enerji ve ekserji kullanımında da bu yöntemden yararlanılmaktadır. Enerji kaynaklarının kıtlığı ve dikkatsiz kullanılması sonucunda oluşan istenilmeyen yan etkiler, enerji tüketimini doğru bir şekilde planlama ve dikkatli bir şekilde

değerlendirmeyi gerektirmektedir. Sektörel bazda enerji tüketimini ekserji analizi ile değerlendirmenin yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Dinçer ve Ark., 2004b): (1) Enerji kaynaklarından yararlanma sırasında oluşan çevresel etkileri gerçek bir şekilde belirlemek. (2) Enerji kaynaklarının daha etkin olarak kullanılmasını sağlamak. (3) Enerji sistemlerindeki atık ve kayıpların gerçek değerlerini, tiplerini ve gerçekleştiği yerleri belirlemek. (4) Mevcut enerji sistemlerindeki etkinsizlikleri azaltarak, daha etkin sistem tasarım yöntemleri geliştirmek. (5) Enerji kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını hedefleyerek, sürdürülebilir bir kalkınma sağlamak. (6) Yüksek ve düşük kaliteli enerji kaynaklarının kullanım alanlarını ve yararlanma açısından önceliklerini belirlemek. (7) Etkin teknolojilerden yararlanarak iyileştirme sağlanabilecek alanları belirlemek.

Bilimsel araştırmalarda, 1960'lı yıllardan bu yana, özellikle de son 20 yıldır ekserji kavramının kullanımına ilişkin yoğun ilgi artarak devam etmektedir. Ekserji kavramı, son yıllarda, bilim adamları ve mühendisler arasında büyük ilgi odağı olmuştur. Endüstriyel, sektörel ve ısıl işlemler için ekserji analiz uygulanmıştır. Son zamanlarda, enerji korunumuyla ekonomik kazanım sağlanabilmek amacıyla, enerji kullanımının değerlendirilebilmesi için, enerji ve ekserji modelleme yöntemlerine büyük önem verilmektedir. Bir ülkedeki sektörel bazda enerji kullanımı ekserji analiziyle değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, ilk kez Reistad (1975) tarafından USA için uygulanmıştır. Daha sonraları; USA (Ayres ve Ark., 2003), Kanada (Terkovic ve Rosen, 1988); Lemieux ve Rosen, 1989; Rosen, 1992), Japonya, Finlandiya ve İsviçre (Wall, 1990 ve 1991), İtalya (Wall ve Ark., 1994), Brezilya (Schaeffer ve Wirtschafter, 1992), Norveç (Ertesvag ve Mielnik, 2001) Türkiye (Ünal, 1991; İleri ve Gürer, 1995; Özdoğan ve Arikol, 1995; Ertay, 1997; Rosen ve Dinçer, 1997a, 1997b; Hepbaşlı, 2001; Canyurt ve Ark., 2003., Utku ve Hepbaşlı, 2003), İngiltere (Hammond ve Stapleton, 2001) ve Suudi Arabistan (Dinçer ve Al-Rashed, 2002; Dinçer ve Ark., 2004a, 2004b) için sektörel enerji kullanımı, ekserji yaklaşımı veya biraz farklı modelleme yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

Türkiye için yapılan farklı çalışmalarda, sektörel enerji ve ekserji kullanımı incelenmiş olmakla birlikte, tarım sektöründe ekserji etkinliğine ilişkin bir çalışma

bulunmamaktadır. Bu çalışmanın başlıca amacı, Türkiye tarım sektöründe 1970–1993 yılları arasındaki enerji kullanımını enerji ve ekserji analiziyle değerlendirmek ve enerji/ekserji kullanım etkinliğini belirlemektir. Tarım sektörü için yapılan enerji ve ekserji analizlerinde, tarım sektöründe enerji kullanımına ilişkin veriler, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Tarım ve Köy İşleri Bakanlığının kaynaklarından sağlanmıştır.

ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji Kavramı

Ekserji kelimesi, Yunan dilinde *ex* (dış ve dıştaki) ve *ergon* (güç veya iş) kelimelerinden türetilmiştir. Kavram ilk kez, ısı ve iş terimleriyle ilişkili olarak, *teknik iş kapasitesi* deyimine yerine kullanılmak üzere 1824 yılında *Carnot* tarafından ortaya atılmıştır. Ekserji yeni bir terim olarak 1953 yılında Zoran Rant tarafından ileri sürülmüştür (Yılmaz ve Ark., 2001). Termodinamik açıdan *ekserji*, bir sistemin veya madde/enerji akışının referans ortam ile denge durumuna geldiğinde üretebileceği en fazla iş miktarı olarak tanımlanır. *Ekserji*, belirli koşullarda tamamen tersinir bir değişime uğrayan bir sistemin, çevresiyle denge durumuna geldiğinde elde edilebilen en yüksek tersinir iştir. Szargut (1988) tarafından *ekserji*, bir maddenin tersinir işlemler aracılığıyla doğal çevrenin genel bileşenleri ile termodinamik dengeye getirilmesi durumunda, elde edilebilen iş miktarıdır şeklinde tanımlanır. *Ekserji*, bir akım ölölü duruma ulaştığında, kazanılabilen en fazla iştir (Bejan, 1988). Tersinmez işlemlerde her zaman belirli bir miktar entropi artışıyla birlikte iş kaybı oluşmasına karşın, en fazla iş sadece tersinmez işlemlerde elde edilir. Ekserji, ideal veya tersinir işlemler dışında, enerji gibi korunan bir büyüklük değildir. Bu nedenle, enerjinin korunumu yasasına uymaz. Gerçek işlemlerde, tersinmezlikler nedeniyle ekserji tüketilir veya yok edilir. İşlem süresince gerçekleşen ekserji tüketimi, işleme ilişkin tersinmezlikler nedeniyle yaratılan entropi ile orantılıdır. Bir sistemin toplam ekserjisi, dört bileşen ayrılabilir:

$$\Xi = \Xi_f + \Xi_k + \Xi_p + \Xi_c \quad (1)$$

Ekserji kapsamlı bir özellik olmakla birlikte, birim kütle veya madde miktarını (mol) dikkate alarak

değerlendirme yapmak daha uygundur. Kütleyle bağlı olarak toplam özgül ekserji, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\varepsilon = \varepsilon_f + \varepsilon_k + \varepsilon_p + \varepsilon_c \quad (2)$$

Bu eşitliklerde;

ε , ε = toplam ekserji,

ε_f , ε_f = fiziksel ekserji,

ε_k , ε_k = kinetik ekserji,

ε_p , ε_p = potansiyel ekserji ve

ε_c , ε_c = kimyasal ekserjidir.

Termodinamik sistem veya koşullara bağlı olarak, ekserji eşitliklerinde (eşitlik 1 ve 2) verilen bileşenlerin tamamı veya bazıları geçerli olabilir. Normal olarak, kimyasal bileşimde olduğu gibi, kinetik ve potansiyel enerjilerde de herhangi bir değişiklik olmaması durumunda, sadece fiziksel ekserji aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\varepsilon_f = (h - h_o) - T_o(s - s_o) \quad (3)$$

Bu eşitlikte; h - özgül entalpi, s - özgül entropi ve T - sıcaklıktır. Alt indis olarak belirtilen o , referans çevre koşullarını belirtir. Çevre, farklı sistemlerin belirlenen en yüksek iş potansiyeli (ekserji) için doğal-referans bir ortam oluşturur. Ekserji, sürekli olarak referans ortam koşullarına kıyasla değerlendirilir. Referans ortam, kararlı halde-denge durumundadır. Durağan bir sistemin, çevre ile ısı ve mekanik olarak dengede olduğu durumu belirten referans ortam, sonsuz (sınırsız) bir sistem gibi davranır. Referans ortam, sıcaklık (T_o), basınç (P_o) ve kimyasal potansiyel (μ_{joo}) gibi belirli özellikler ile tanımlanır.

Enerji ve Ekserji Etkinliği

Belirli bir amaca ulaşmak için kullanılan enerjinin *kalite* ve *miktarını* dikkate almak ve enerji kaynaklarının daha etkin ve etkili kullanılmasını sağlamak için, enerji ve ekserji etkinliği arasındaki farkın anlaşılması esastır. Kararlı durumda bir kontrol hacmi dikkate alındığında; enerji ve ekserji denge eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Giren enerji} - \text{Çıkan enerji} = \text{Depolanmış enerji} \quad (4)$$

$$\text{Giren ekserji} - \text{Çıkan ekserji} - \text{Tüketilen ekserji} = \text{Depolanmış ekserji} \quad (5)$$

Ekserji denge eşitliğindeki tüketilen ekserji terimi, içsel tersinmezlikler nedeniyle tüketilen ekserji miktarını belirtir. *Termodinamiğin birinci yasası*, enerjinin miktarı ile ilgilidir ve enerjinin

yaratılmayacağını veya yok edilemeyeceğini belirtir. Diğer taraftan *termodinamiğin ikinci yasası*, enerjinin kalitesi ile ilgilidir ve enerjinin değişime neden olan kalitesini, işlem süresince enerjinin yararlılığının azalmasını, entropi üretimini ve işe dönüştürülebilir kayıpları dikkate alır. Daha ayrıntılı bir açıklama ile *termodinamiğin ikinci yasası*, enerjinin miktarı ile birlikte kalitesini de dikkate alır. Enerjinin kalitesi, belirli bir miktar enerjiye sahip olan belirli bir enerji kaynağının değişim yaratma potansiyeli veya yeteneğidir. *Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası* dikkate alınarak tanımlanan etkinlikler, genel olarak enerji ve ekserji etkinlikleri olarak adlandırılır. İşlem süresince gerçekleşen tersinmezlik, giren ekserjinin belirli bir miktarının tüketilmesine neden olduğundan, ekserji etkinliği enerji etkinliğinden daha düşüktür. Enerji ve ekserji etkinlikleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta_{en} = \frac{\text{Çıkan Enerji}}{\text{Giren Enerji}} \quad (6)$$

$$\Psi_{eks} = \frac{\text{Çıkan Ekserji}}{\text{Giren Ekserji}} \quad (7)$$

Bir sistemin etkinliğinin gerçek değerinin belirlenmesi için ekserji etkinliği, enerji etkinliğinden daha uygundur. Enerji etkinliğinin hesaplanmasında, shaft işinden ve düşük sıcaklıkta akışkan akışından elde edilen enerji aynı değerde kabul edilir. Enerji etkinliği dikkate alındığında, etkinliğin artırılması için kayıpların azaltılması gerekir. Ekserji etkinliğinin artırılması için, kayıplarla birlikte tersinmezliklerin de azaltılması gerekir. Bir çok sistemde gerçekleşen tersinmezlikler, genellikle daha önemli durumdadır ve belirlenmesi daha güçtür. *Tersinmezlik*, nicel bir kavramdır ve sistem sınırları veya kontrol yüzeyi ile tanımlanan fiziksel ortamdaki bir işlemde tüketilen ekserji miktarına eşittir. Tersinmezliğe neden olan etmenler: sürtünme, sonlu basınç farkında genişleme veya sıkıştırma, sonlu sıcaklık farkında ısı transferi, karışım, yanma, histerisiz etkisi, serbest düşme, elastik olmayan çarpma vb. etmenlerdir.

Ekserji Analizi İçin Temel Büyüklükler

Sıcaklığı T , basıncı P , j türünün kimyasal potansiyeli μ_j , kütlesi m , özgül entalpisi h , özgül entropisi s ve j türünün kütle bölümü χ_j olan, bir madde akışı dikkate alalım. Belirli özellikleriyle (T_o , P_o

ve μ_{j0}) denge durumunda olan kavramsal bir çevre varsayalım. Çevre özelliklerinin sistem ile etkileşimini ihmal edebilmek için, çevreyi yeterince büyük olarak kabul edelim. Bu varsayımlara bağlı olarak madde akışının özgül ekserjisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Dinçer ve Ark., 2004a):

$$\varepsilon = [k_e + p_e + (h - h_o) - T_o(s - s_o)] + \left[\sum_j (\mu_{j0} - \mu_{joo}) \chi_j \right] \quad (8)$$

Eşitlik (13)'de; $k_e = 0$ ve $p_e = 0$ kabul edildiğinde, madde akışının özgül ekserjisi fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki bileşene ayrılabilir. Fiziksel ekserji $[(h - h_o) - T_o(s - s_o)]$, çevre ile denge durumuna geldiğinde, akımdan kazanılabilen yararlı işin en yüksek miktarıdır. Kimyasal ekserjim (eşitlik 8'deki son terim), akım çevre durumundan ölü duruma geldiğinde, akımdan kazanılabilen yararlı işin en yüksek miktarıdır. Hidrokarbon esaslı yakıtların, yaklaşık ortam koşullarındaki fiziksel ekserjisi, yaklaşık olarak sıfırdır. Bu durumda bu tür yakıtların özgül ekserjisi, kimyasal ekserji olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Dinçer ve Ark., 2004b).

$$\varepsilon_f = \gamma_f H_f \quad (9)$$

Burada; γ_f - yakıt ekserji derece fonksiyonudur. γ_f yakıtın kimyasal ekserjisinin (eşitlik (13)'deki köşeli parantez içindeki son terim), yakıtın ısı değerine (H_f) oranı olarak tanımlanır. Yaygın olarak kullanılan bazı yakıtların, ε_f , γ_f ve H_f değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Genel olarak, referans ortam koşullarında (T_o ve P_o), bir yakıtın özgül kimyasal ekserjisi (ε_f), yaklaşık olarak yakıtın ısı değerine (H_f) eşittir. Sabit bir sıcaklıkta (T_r), sistem sınırlarında (r) transfer edilen ısıya (Q_r) ilişkin ısı ekserji transferi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Xi^Q = \left(1 - \frac{T_o}{T_r} \right) Q_r \dots \dots \dots (10)$$

Belirli bir iş miktarına (W) ilişkin ekserji (Ξ^W), iş miktarına eşittir ($\Xi^W = W$).

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Türkiye'de tarım sektöründe enerji ve ekserji kullanım etkinliğinin belirlenmesi için, tarım sektöründe tüketilen dizel yakıtı ve elektrik enerjisi değerleri dikkate alınmıştır. Türkiye'de 1970-1993 yılları arasındaki dönemde, tarım sektöründe tüketilen dizel yakıtı ve elektrik enerjisi değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bazı Yakıtların Özellikleri (Referans ortam, $T_o = 25$ °C ve $P_o = 1$ atm) (Dinçer ve Ark., 2004b)

Yakıt	H_f (kJ/kg)	ε_f (kJ/kg)	γ_f
Benzin	47.849	47.394	0.99
Doğal gaz	55.448	51.702	0.93
Motorin	47.405	47.101	0.99
Gazyağı	46.117	45.897	0.99

Çizelge 2. Tarım Sektöründe Tüketilen Dizel Yakıtı ve Elektrik Enerjisi Değerleri (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı APKK-PFD İstatistikleri, 1994)

Yıllar	Motorin (PJ)	Elektrik (PJ)	Yıllar	Motorin (PJ)	Elektrik (PJ)
1970	21.231	0.125	1982	49.497	0.670
1971	27.261	0.167	1983	53.517	0.795
1972	29.857	0.167	1984	59.840	0.921
1973	30.025	0.209	1985	61.934	1.130
1974	29.480	0.209	1986	68.802	1.172
1975	28.852	0.251	1987	75.544	1.423
1976	32.286	0.376	1988	75.041	1.549
1977	36.432	0.460	1989	75.418	1.675
1978	38.609	0.460	1990	79.857	2.051
1979	32.830	0.544	1991	80.192	2.554
1980	39.740	0.586	1992	80.402	3.098
1981	40.954	0.628	1993	99.036	3.350

Yöntem

Tarım sektöründe başlıca enerji tüketiminin, esas olarak traktör ve pompaj tesislerindeki pompalar aracılığıyla gerçekleştiği dikkate alınmıştır. Tarım sektörü için ortalama enerji ve ekserji etkinliği,

$$\eta_{en} = \frac{Yakıt Tüketimi_{Traktör} \times \eta_{Traktör} + Elektrik Tüketimi_{Pompa} \times \eta_{Pompa}}{Toplam Enerji Tüketimi} \quad (11)$$

$$\Psi_{ek} = \frac{Yakıt Tüketimi_{Traktör} \times \Psi_{Traktör} + Elektrik Tüketimi_{Pompa} \times \Psi_{Pompa}}{Toplam Enerji Tüketimi} \quad (12)$$

Belirli sıcaklıkta ısı akışı ve belirli termodinamik durumda kütle akışına ilişkin enerji akışı gibi genel enerji türlerinden potansiyel olarak elde edilebilen mekanik iş miktarını değerlendirmek için ekserji kavramından yararlanılabilir. Burada mekanik iş terimi, enerjinin değişime neden olan potansiyelini değil, enerji türünün mekanik eşdeğerini belirtir. Tarım sektöründe ortalama enerji ve ekserji etkinliğini belirleyebilmek için, dizel yakıtı (motorin) ile kısmi yük koşullarında çalışan traktör etkinliğinin % 75 (Dinçer ve Ark., 2003) ve elektrik motoru ile çalışan pompa etkinliği ise % 70 (Dinçer ve Ark., 2004b) olduğu kabul edilmiştir. Traktör etkinliği, traktörde fosil yakıt kullanılarak şaft işi üretmek işlemindeki enerji etkinliği olarak dikkate alınmıştır. Diğer bir deyişle, traktörden elde edilen enerji, kinetik enerji (şaft işi) şeklindedir. Elektrik enerjisi ve fosil yakıt kullanılarak gerçekleştirilen iş üretim işlemlerinde, şaft işi (W) üretilir. Fosil yakıt kullanılarak şaft işi üretimi için enerji ve ekserji etkinlikleri ($\eta_{m,f}$ ve $\psi_{m,f}$) aşağıdaki gibi hesaplanır (Dinçer ve Ark., 2004b).

$$\eta_{m,f} = \frac{W}{m_f H_f} \quad (13)$$

$$\psi_{m,f} = \frac{\Xi^W}{m_f \varepsilon_f} = \frac{W}{m_f \gamma_f H_f} \cong \eta_{m,f} \quad (14)$$

Şaft işine ilişkin ekserji, eşitlik (16) ile hesaplanabilir. Bu durumda, traktörde fosil yakıt kullanılarak şaft işi üretim işlemi için enerji ve ekserji etkinliği, eşitlik (19) ve (20) ile hesaplanır. Çizelge

kullanılan enerji miktarı ve etkinlik değerlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Dinçer ve Ark., 2004b).

1'de verilen yakıt ekserji derece fonksiyonu (γ_f) değerleri, yaklaşık olarak eşit kabul edilebilir (Terkovics ve Rosen, 1988). Tarım sektöründe kullanılan pompaların ekserji etkinlikleri, % 2.85 olarak kabul edilmiştir (Dinçer ve Ark., 2004b).

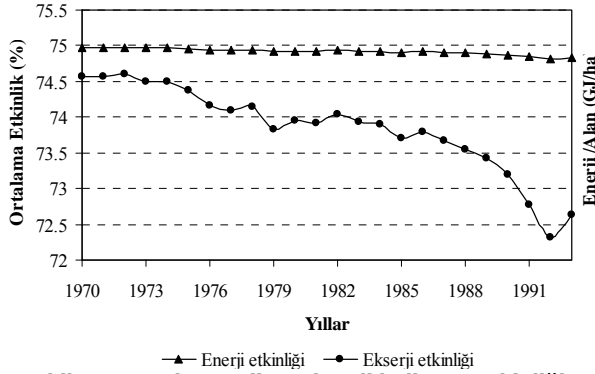
BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye'de 1970–1993 yılları arasındaki dönemde, tarım sektöründe ortalama enerji ekserji kullanım etkinliğinin değişimi Şekil 1'de grafik olarak verilmiştir. Tarım sektöründe 1993 yılında, ortalama enerji ve ekserji kullanım etkinliği belirlenmesi için yapılan hesaplama aşağıda verilmiştir.

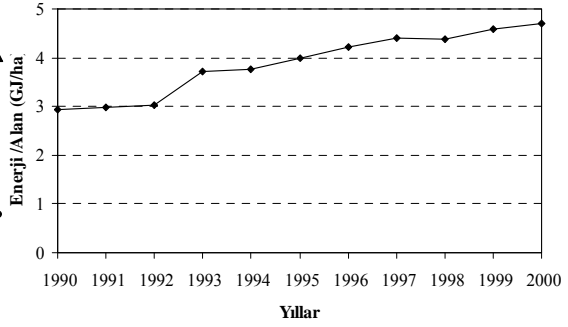
$$\eta_{en} = [(75 \times 99.06) + (70 \times 3.35)] / (99.06 + 3.35) = \% 74.83$$

$$\psi_{ek} = [(75 \times 99.06) + (2.85 \times 3.35)] / (99.06 + 3.35) = \% 72.63$$

Tarım sektöründe ortalama ekserji etkinliği, enerji etkinliğinden daha düşüktür. Belirtilen yıllar arasındaki dönemde, ortalama enerji etkinliği % 74.81–74.97 arasında değişmesine karşın, ortalama ekserji etkinliği % 72.32–74.59 arasında değişmiştir. Tarım sektöründe, 1970–1993 yılları arasındaki dönemde ortalama enerji kullanım etkinliği % 74.92 iken, ekserji kullanım etkinliği ortalama % 73.83 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumun başlıca nedeni, enerji tüketimi gerçekleşen traktör ve pompalardaki mekanik iş kaybının bir sonucu olan tersinmezliklerdir.



Şekil 1. Tarımda enerji ve ekserji kullanım etkinliği



Şekil 2. İşlenen tarım alanı başına enerji kullanımı

Traktörlerdeki tersinmezlikleri en aza indirmek için, yakıtın yanması ile sağlanan birim enerji miktarına karşılık, elde edilen iş miktarının artırılması gereklidir. Pompaj tesislerindeki pompalardaki tersinmezliklerin başlıca nedeni ise, basınç kayıplarıdır. Pompaj tesislerinde karşılaşılan basınç kayıpları, pompaj tesislerinin planlanması sırasında; manometrik yükseklik, verdi ve boru cinsi/çapı değerler uygun bir şekilde seçilerek en aza indirilebilir. Sonuç olarak, tarım sektöründe traktör ve pompaların etkin bir şekilde kullanılması, ekserji etkinliğinin artırılması için önemlidir. Dinçer ve Ark., (2004b) tarafından yapılan bir çalışmada; Suudi Arabistan tarım sektörü için 1990–2001 yılları arasındaki dönemde enerji etkinliğinin, % 74.6–74.94 arasında değişmesine karşın, ekserji etkinliğinin % 69.20–74.19 arasında değiştiği belirlenmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, tarımda ekserji etkinliğinin giderek azalmaya başladığı görülmektedir. Bunun başlıca nedeni, tarımsal işlemlerde enerjinin etkin olarak kullanılmamasıdır. İşletme için gerekli güç optimizasyonunun sağlanmamış olmasıdır.

Tarım sektöründe 1990–2000 yılları arasında, tarım alanı başına enerji tüketimi değerlerinin yıllara bağlı olarak değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Tarım sektöründe birim işlenen alan başına kullanılan enerji miktarı, 1990 yılında 2.94 GJ/ha iken, yaklaşık % 60 oranında artarak 2000 yılında 4.70 GJ /ha değerine ulaşmıştır. Tarım sektöründe mekanizasyon ve ileri teknoloji uygulamalarının sonucunda, enerji kullanımı giderek artacaktır. Bu nedenle tarım sektöründe enerji kullanım etkinliğinin artırılması gereklidir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

1) Türkiye'de 1970–1993 yılları arasındaki dönemde, tarım sektöründe enerji ve ekserji kullanımı değerlendirilmiştir. Tarım sektöründe enerji ve ekserji etkinliklerinin değişimi, dizel yakıtı kullanılan traktör ve elektrik enerjisi kullanılan pompaj tesisleri için araştırılmıştır. Tarım sektöründe ortalama ekserji etkinliği, enerji etkinliğinden daha düşük olarak belirlenmiştir. Çalışmada uygulanan ekserji analizi, sektörel enerji kullanımının değerlendirilmesi için yararlıdır. Bu yöntem, tarım sektöründe enerji korunumu sağlayacak önlemlerin geliştirilmesine yardımcı olur.

2) Fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı olarak kullanımıyla ortaya çıkan çevresel sorunların etkin bir şekilde önlenmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerekir. Bununla birlikte, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yöntemi, bölgesel koşullara bağlı olarak değişir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, jeotermal enerji ve rüzgar enerjisidir. Sonuç olarak, ekserji yöntemi: (a) Sektörel bazda enerji kullanımını değerlendirmek için yararlıdır. (b) Enerji tasarrufu için, enerji korunumuna ilişkin esasların belirlenmesine yardımcı olur. (c) Enerji yönetiminde ekserjinin rolünün belirlenmesi için önemlidir.

3) Fosil yakıtlar gibi, yüksek sıcaklık sağlayan enerji kaynaklarının konut ısıtma, su ısıtma vb gibi kısmen düşük sıcaklıktaki uygulamalar için kullanılması durumunda, ekserji etkinliği enerji etkinliğinden çok daha düşük olacaktır. Bu nedenle, yüksek sıcaklık

sağlayan enerji kaynaklarının yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için kullanılması gerekir. Benzer şekilde, tarımsal üretim işlemlerinde de enerji kullanım etkinliğine önem verilmelidir. İşletme ölçeğinde yapılacak olan etkin bir mekanizasyon planlaması ile, işletme için uygun mekanizasyon alt yapısı sağlanmalıdır.

4) Enerji ve ekserji etkinliğinin artırılabilmesi için: (a) İşletmelerin mekanizasyon alt yapısı için enerji verimliliği yüksek olan teknolojilerden yararlanılmalıdır.(b) İşletme için gerekli güç optimizasyonu sağlanmalıdır. Örneğin, daha az güç gerektiren işlemler daha büyük güçlü traktörlerle gerçekleştirilmemelidir. (c) Isıtma, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında ısı transferi açısından etkinlik artırılmalıdır. (d) Isı yalıtımı standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Isı üreten, dağıtan ve kullanan

tüm üniteler etkin bir şekilde yalıtılarak, ısı kayıpları en aza indirilmelidir. (e) Atık ısı geri kazanımı uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır. (f) Elektrik enerjisi tüketiminde kayıplar önlenmelidir. (g) Elektrik enerjisinin iş ve ısı dönüşümlerinde etkinlik artırılmalıdır. (h) Otomatik kontrol uygulamaları ile insan faktörü en aza indirilmelidir.

5) Bu konudaki gelecek çalışmalar ekserji analizinde maliyeti de kapsayan ekserji-ekonomik veya termo-ekonomik analizlere yönlendirilmelidir. Bu tür çalışmalar: (a) bir sistem veya sektörün tasarım veya çalışmasını en iyileştirmek için, ekonomik kaynakların uygun olarak kullanılmasını sağlamak ve (b) ürünlerin gerçek maliyetini belirleyerek bir sistem veya sektörün ekonomik uygulanabilirliğini veya karlılığını belirlemek için yararlı olacaktır.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Ayres, R. U., L.W. Ayres and B. Warr, 2003. Exergy, Power and Work in the US Economy 1900–1998. *Energy* 28: 219–273.
- Bejan, A., 1988. *Advanced Engineering Thermodynamics*. Wiley, New York.
- Canyurt, O. E., H. K. Öztürk, A. Hepbaşlı and Z. Utlu, 2003. Estimating the Turkish Residential–Commercial Energy Output Based on Genetic Algorithm (GA) Approaches. In Press, Corrected Prof., *Energy Policy*.
- Dinçer, İ. and B. Al-Rashed, 2002. Energy Analysis of Saudi Arabia. *International Journal of Energy Research* 26 (3): 263–278.
- Dinçer, İ., M. M. Hussain and I. Al-Zaharnah, 2003. Investigation of Sectoral Energy and Exergy Utilization of Saudi Arabia. Final Report, Project No: FT/2001/15.
- Dinçer, İ., M. M., Hussain and I. Al-Zaharnah, 2004a. Energy and Exergy Use in Public and Private Sector of Saudi Arabia. In Press, Corrected Proof, *Energy Policy*.
- Dinçer, İ., M. M., Hussain and I. Al-Zaharnah, 2004b. Energy and Exergy Use in Agricultural Sector of Saudi Arabia. In Press, Corrected Proof, *Energy Policy*.
- Ertay, S., 1997. Energy and Exergy Utilization in Turkish Residential and Commercial Sector. M.Sc. Thesis, University of Middle East Technical University, Ankara.
- Ertesvag, I. S. and M. Mielenik, 2001. Exergy Analysis of the Norwegian Society. *Energy* 25: 957–973.
- Hepbaşlı, A., 2001. Energy Conservation Studies on Residential Heating Systems: An Application for İzmir, Turkey. *Int. Journal of Global Energy Issues* 15 (3/4): 247–263.
- İleri, A. and T. Gürer, 1998. Energy and Exergy Utilization in Turkey during 1995. *Energy* 23: 1099–1106.
- Lemieux, M. A. and M. A. Rosen, 1989. Energy and Exergy Analyses of Energy Utilization in Ontario. Research Report, Ryerson Polytechnic University, Toronto.
- Özdoğan, S. and M. Arikol, 1995. Energy and Exergy Analyses of Selected Turkish Industries. *Energy* 20 (1): 73–80.
- Reistad, G. M., 1975. Available energy conversion and utilization in the United States. *ASME Journal of Energy Power* 97: 429–434.
- Rosen, M. A., 1992. Evaluation of Energy Utilization Efficiency in Canada Using Energy and Exergy Analyses. *Energy* 17: 339–350.
- Rosen, M. A. and İ. Dinçer, 1997a. On Exergy and Environmental Impact. *International Journal of Energy Research* 21: 643–654.
- Rosen, M. A. and İ. Dinçer, 1997b. Sectoral Energy and Exergy Modelling of Turkey. *ASME-Journal of Energy Resources Technology* 119 (3):200–204.
- Schaeffer, R. and R.M. Wirtschafter, 1992. An Exergy Analysis for the Brazilian Economy: from Energy Production to Final Energy Use. *Energy* 17 (9): 841–855.
- Szargut, J., D. R. Morris and F. R. Steward, 1988. *Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes*. Hemisphere, New York.
- Terkovics, P. I. and M. A. Rosen, 1988. Energy and Exergy Analysis of Canadian Energy Utilization. Research Report, Ryerson Polytechnic University, Toronto.

- Wall, G., 1987. Exergy Conversion in the Swedish Society. *Resource Energy* 9 (1): 55–73.
- Wall, G., 1990. Exergy Conversion in the Japanese Society. *Energy* 15 (5): 435–444.
- Wall, G., 1991. Exergy Conversion in the Finnish, Japanese and Swedish Societies. Report, Turku School of Economics, Turku, Finland.
- Wall, G., E. Sciubba and V. Naso, 1994. Exergy Use in the Italian Society. *Energy* 19 (12): 1267–1274.
- Wall, G., 1994. Exergy use in the Swedish Society. Proceedings of International Conference on Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems (TAIES'97), Beijing, China, 10–13 June 1997.
- Utlü, Z. and A. Hepbaşlı, 2003. A Study on the Evaluation of Energy Utilization Efficiency in the Turkish Residential-Commercial Sector Using Energy and Exergy Analyses. *Energy and Buildings* 35 (11): 1145–1153
- Ünal, A., 1994. Energy and Exergy Balance for Turkey in 1991. M.Sc. Thesis, University of Middle East Technical University, Ankara.
- Yılmaz, M., O.N. Sara and S. Karslı, 1991. Performance Evaluation Criteria for Heat Exchangers Based on Second Law Analysis. *Exergy* 1(4): 278–294.