

Akdeniz Bölgesinde Güneş Işınım Ekserjisi Değişimi

H. Hüseyin ÖZTÜRK
Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Bölümü
01330 Balcalı, Adana
hhozturk@cu.edu.tr

Özet: Güneş ışınım ekserjisi, güneş ışınımından en yüksek oranda kazanılabilen enerjinin bağıl miktarına bağlı olarak hesaplanır. Güneş ışınımından en yüksek oranda yararlı enerji kazanımını sınırlayan etkinlik değeri, ısı makinelerindeki Carnot etkinliğine benzer bir değerdir. Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi için yıllık ortalama, en yüksek ve en düşük güneş ışınım ekserjisi değerleri belirlenmiştir. Türkiye genelinde yıllık ortalama güneş ışınım enerjisi 428.6 W/m^2 iken, yıllık ortalama güneş ışınım ekserjisi 401.1 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Akdeniz Bölgesinde yıllık ortalama güneş ışınım enerjisi 463 W/m^2 iken, yıllık ortalama güneş ışınım ekserjisi 433 W/m^2 olarak belirlenmiştir.

1. Giriş

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 [19]. 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 ve ark. [17] 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 ölü duruma ulaştığında, kazanılabilen en fazla iştir [2]. Daha anlaşılır bir tanımlama ile *ekserji*, enerjinin belirli termodinamik koşullar altında diğer bir tür enerji şekline dönüşebilen bölümüdür. 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 [5]:

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

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; Ξ , ε = toplam ekserji, Ξ_f , ε_f = fiziksel ekserji, Ξ_k , ε_k = kinetik ekserji, Ξ_p , ε_p = potansiyel ekserji ve Ξ_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 [6].

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi için yıllık ortalama, en yüksek ve en düşük güneş ışınım ekserjisi değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından aylara ve bölgelere göre ölçülmüş olan, güneş ışınım şiddeti ve ortalama sıcaklık verilerinden yararlanılmıştır.

2. Güneş Işınım Ekserjisi

Herhangi bir maddenin ekserji eşitliğini elde etmek için, eşitlik (3)'ü uygun bir şekilde yorumlayarak işe başlamak gerekir. Bir çok uygulama için genellikle en önemli sorun, entropi (s ve s_0) değerlerinin belirlenmesidir. Entropi değerlerinin belirlenmesinden sonra, entalpi (h ve h_0) değerleri de yeterli doğrulukta saptanarak dikkate alınan maddenin ekserjisi hesaplanabilir. Herhangi bir madde ekserji değerine bağlı olarak değerlendirilmesine karşın, herhangi bir işlem, tersinmezlik sonucunda oluşan ekserji kaybının da yer aldığı ekserji korunumu eşitliğine bağlı olarak incelenebilir. Herhangi bir işlemin ekserji etkinliği, ekserji korunumu eşitliğine bağlı olarak, işlemde çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranı şeklinde tanımlanabilir.

Isıl ışınım ekserji konusuna ilk yaklaşım Petela [9] tarafından sağlanmıştır. Spanner [14], Petela [9] tarafından geliştirilen ekserji eşitliğini doğrudan güneş ışınımının ekserjisi için düzenlemiştir. Daha sonraki yıllarda Jeter [8], ısı ışınım ekserjisinin *Carnot etkinliği*ne bağlı olarak belirlenebileceğini belirtmiştir. T_0 ortam sıcaklığındaki bir yüzey için enerji, entropi ve ekserji korunumu eşitliklerinden yararlanarak, siyah cisim ışınım ekserjisine ilişkin ilk temel eşitlik Petela [9] tarafından geliştirilmiştir.

$$\Xi_r = \frac{a.c}{12} (3T^4 + T_0^4 - 4T_0T^3) \quad (4)$$

Burada; Ξ_r - ışınım ekserjisi (kW/m^2), a - ışınım sabiti ($7.561 \times 10^{-19} \text{ kJ/m}^3\text{K}^4$), b - ışığın vakumda yayılma hızı ($2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$) ve T - mutlak sıcaklıktır (K). Eşitlik (4) siyah cisim ışınımı için geliştirilmiştir. Petela [10], tarafından yayma değeri (ϵ) olan etkin bir gri yüzey için aşağıdaki ekserji eşitliği geliştirilmiştir.

$$\Xi_r = \epsilon \frac{a.c}{12} (3T^4 + T_0^4 - 4T_0T^3) \quad (5)$$

Eşitlik (5)'deki ekserji değeri, boşlukta hareket eden ışınım akımının bir özelliğini belirtir. Işınım ekserjisinin ne kadarından; mekanik, elektrik, manyetik, kimyasal ve nükleer etkiler için yararlanılabilirliği tamamen farklı bir durumdur. Işınım ekserjisinden; herhangi bir soğurucu yüzey ile soğurma işleminde, herhangi bir silindir-piston sisteminde gaz genleşme işleminde, ışınım basıncı etkisiyle bir kol üzerine yerleştirilen aynanın döndürülme işleminde ve herhangi bir foton işlemi veya cihazında yararlanılabilir [11].

2.1. Işınımın İşe Dönüşme Etkinliği

Isıl ışınım farklı işlemlere dönüştürülebilir. \dot{I}_s , enerjinin kalitesinde herhangi bir azalma olmaksızın gerçekleşen bir enerji transferi işlemidir. Bu nedenle, *ekserji* terimini tanımlayabilmek için *iş* teriminden yararlanılır. Petela [11] ısı ışınım ekserjisinin hesaplanması için geliştirilmiş olan eşitlikleri incelemiştir. Işınımın iş veya ısıya dönüştürülmesi için yararlanılabilecek eşitliği geliştirmiştir. Isıl ışınımın işe dönüşümündeki gerçek enerji etkinliği (η_e), ışımandan yararlanılarak gerçekleştirilen işin (W), bu ışınımın enerjisine (E_r) oranı olarak tanımlanabilir [11].

$$\eta_e = \frac{W}{E_r} \quad (6)$$

Işınım enerjisinden en yüksek miktarda iş, sadece ideal tersinir bir işlemde elde edilebilir. Bu tür bir işlemde, elde edilen en yüksek miktardaki iş, ışınım ekserjisidir ($W_{max} = \Xi_r$). Bu durumda, dönüşme etkinliği (η_e), en yüksek dönüşme etkinliği ($\eta_{e,max}$) olarak dikkate alınır [11].

$$\frac{\Xi_r}{E_r} - \eta_{e,max} \equiv \psi \quad (7)$$

Eşitlik (7)'deki sınırlayıcı etkinlik (ψ) değeri, ısı motorları için dikkate alınan *Carnot etkinliği* gibi benzer bir öneme sahiptir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [11].

$$\psi = 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (8)$$

Eşitlik (8), ışınımında mevcut olan en yüksek miktardaki enerjinin bağlı miktarını belirtir. Birden (1) daha büyük değerlere de sahip olabileceğinden, ψ değeri, etkinlik olarak tanımlanamaz.

Isıl ışınımın işe dönüşümündeki ekserji etkinliği (η_{Ξ}), ışımandan yararlanılarak gerçekleştirilen işin (W), bu ışınımın ekserjisine (Ξ_r) oranı olarak tanımlanabilir [11].

$$\eta_{\Xi} = \frac{W}{\Xi_r} \quad (9)$$

İş (W) terimini yok etmek için, eşitlik (6) ve (9) birleştirilebilir. Daha sonra ekserji (Ξ_r) terimini yok etmek için, eşitlik (7)'den yararlanılarak, ışınımın işe dönüşümündeki ekserji etkinliği (η_{Ξ}), gerçek enerji etkinliğinin en yüksek enerji etkinliğine oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_{\Xi} = \frac{\eta_e}{\eta_{e,max}} \leq 1 \quad (10)$$

En yüksek enerji etkinliği ($\eta_{e,max}$) terimini yok etmek için, eşitlik (7) ve (10)'dan yararlanılarak, ψ oranı, ışınımın işe dönüşümünde enerji etkinliğinin ekserji etkinliğine oranı olarak tanımlanır. ψ oranı, $\psi=1$, $\psi<1$ veya $\psi>1$ olabilir.

$$\Psi = \frac{\eta_e}{\eta_{\Xi}} \quad (11)$$

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Türkiye için yıllık ortalama güneşlenme süresi 2609 h olup, bu süre yılın % 29.8'ini oluşturmaktadır. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölgeyi 3016 h ile Güneydoğu Anadolu kapsamakta, bunu sırasıyla Akdeniz (2923 h), Ege (2726 h), İç Anadolu (2712 h), Doğu Anadolu (2693 h), Marmara (2528 h) bölgeleri izlemekte, en düşük değer 1966 h ile Karadeniz Bölgesinde görülmektedir. Güneşlenme süresinin aylık dağılımında Türkiye ortalaması en yüksek değer 362 h ile Temmuz, en düşük değer 98 h ile Aralık ayına aittir. Türkiye'de güneş ışınım şiddetinin yıllık ortalaması yatay düzlem üzerinde 3.7 kWh/m².gün olup, aylara göre 5.9 kWh/m².gün ile 1.5 kWh/m².gün arasında değişmektedir. Yıllık ortalama güneş ışınım şiddetinin coğrafi bölge değerlerine gelince; Güneydoğu Anadolu'da 3.97 kWh/m².gün, Akdeniz'de 3.86 kWh/m².gün, İç Anadolu'da 3.81 kWh/m².gün, Ege'de 3.78 kWh/m².gün, Marmara'da 3.03 kWh/m².gün ve Karadeniz'de 2.86 kWh/m².gün olmaktadır. Türkiye yüzeyine yılda düşen güneş enerjisi 977 x 1012 kWh kadardır [18].

Türkiye'de bölgelere göre ortalama güneş ışınım ekserjisi değerleri, Çizelge 1'de verilen ortalama güneş ışınım şiddeti değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Güneşin bulunduğu sürelerde bölgelere göre ortalama sıcaklık değerleri olarak, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından yayınlanmış olan değerler dikkate alınmıştır [1].

Çizelge 1. Türkiye'de bölgelere göre güneş ışınım şiddeti değerleri [18]

Bölgeler	Ortalama Güneş Işınım Şiddeti (W/m ²)		
	Yıllık	Temmuz	Aralık
Güneydoğu Anadolu	477	767	283
Akdeniz	463	723	183
İç Anadolu	457	720	160
Ege	450	723	167
Doğu Anadolu	447	667	163
Marmara	363	593	133
Karadeniz	343	510	157

3.2. Yöntem

Güneş ışınım ekserjisi değerleri, aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [12;13].

$$\dot{\Xi}_r = \dot{I} \cdot \psi \quad (12)$$

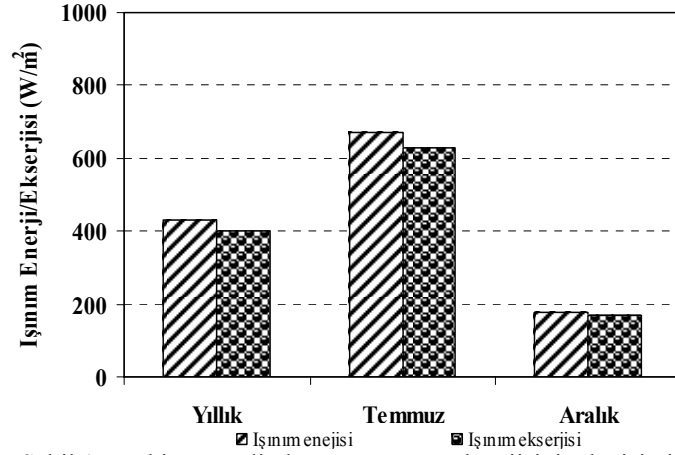
Eşitlik (12)'deki ψ değeri, ışınımında mevcut olan en yüksek miktardaki enerjinin bağıl miktarını belirtir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [11].

$$\psi = 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_o}{T} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_o}{T} \right) \quad (13)$$

Bu eşitlikte; Ξ_r - güneş ışınım ekserjisi (W/m²), I - güneş ışınım şiddeti (W/m²), T_o - ortam sıcaklığı (K) ve T_s - Güneş yüzey sıcaklığıdır (6000 K).

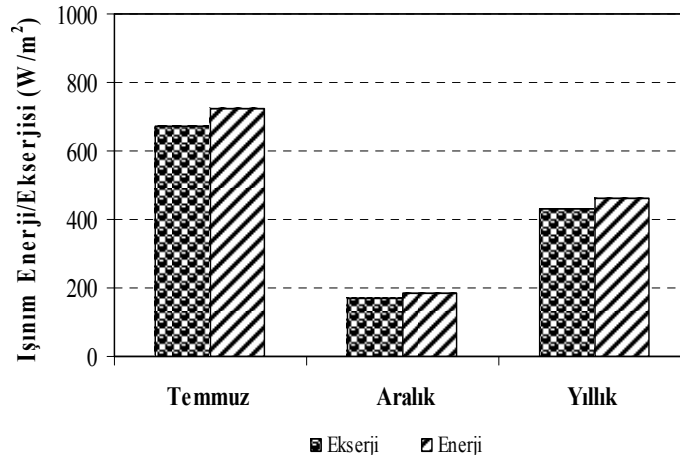
4. Bulgular ve Tartışma

Türkiye geneli için hesaplanan yıllık ortalama, en yüksek ve en düşük güneş ışınım ekserjisi değerlerinin değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Türkiye genelinde yıllık ortalama güneş ışınım enerjisi 428.6 W/m² iken, yıllık ortalama güneş ışınım ekserjisi 401.1 W/m² olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama güneş ışınım enerjisinin 671.9 W/m² değeri ile en yüksek düzeyde olduğu Temmuz ayı için, güneş ışınım ekserjisi 626.8 W/m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama güneş ışınım enerjisinin 178 W/m² değeri ile en düşük düzeyde olduğu Aralık ayı için 166.8 W/m² olarak belirlenmiştir.



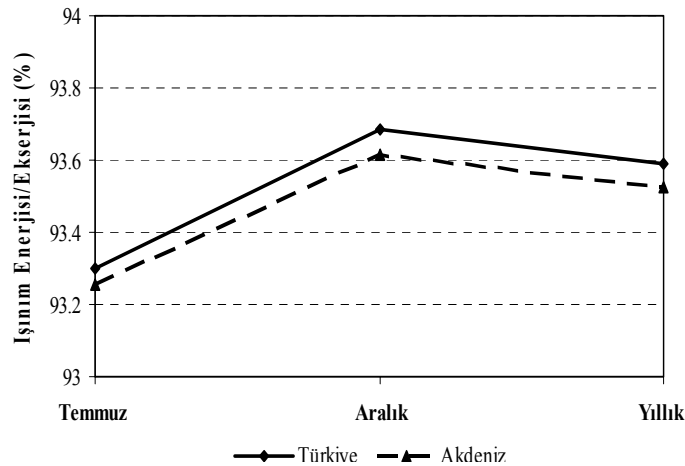
Şekil 1. Türkiye genelinde güneş ışıma ekserjisinin değişimi

Akdeniz Bölgesi için hesaplanan yıllık ortalama, en yüksek ve en düşük güneş ışıma ekserjisi değerlerinin değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Akdeniz Bölgesinde yıllık ortalama güneş ışıma enerjisi 463 W/m² iken, yıllık ortalama güneş ışıma ekserjisi 433 W/m² olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama güneş ışıma enerjisinin 723 W/m² değeri ile en yüksek düzeyde olduğu Temmuz ayı için, güneş ışıma ekserjisi 674.2 W/m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama güneş ışıma enerjisinin 183 W/m² değeri ile en düşük düzeyde olduğu Aralık ayı için 171.3 W/m² olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Akdeniz Bölgesinde güneş ışıma ekserjisinin değişimi

Türkiye geneli ve Akdeniz Bölgesi için güneş ışıma ekserji/enerji oranının bölgelere göre değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3’den de izlenebileceği gibi, Türkiye genelinde Aralık ayında güneş ışıma ekserji/enerji oranı, % 93.68 iken, Temmuz ayında bu değer % 93.30 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Güneş ışıma ekserji/enerji oranının değişimi

Türkiye geneli için yıllık ortalama ışınlam ekserji/enerji oranı % 93.59 olarak belirlenirken, bu değer Akdeniz Bölgesi için % 93.52 olarak hesaplanmıştır. Güneş ışınlam ekserji/enerji oranları, ışınlam enerji ve ekserjisi değerlerinin en düşük olduğu Aralık ayı için en yüksek, ışınlam enerji ve ekserjisinin en yüksek değerlerde olduğu Temmuz ayında ise en düşük olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, ortam sıcaklığının kaynak sıcaklığına yaklaşması durumunda ekserji değerinin azalmasıyla açıklanabilir. Temmuz ayında ortam havasının sıcaklığı yüksek olduğundan, ışınlam ekserji/enerji oranları daha düşük olarak belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Türkiye ve Akdeniz Bölgesi için yıllık ortalama, en yüksek ve en düşük güneş ışınlam ekserjisi değerleri belirlenmiştir. Türkiye geneli ve Karadeniz Bölgesi için belirlenen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Türkiye’de yıllık ortalama güneş ışınlam enerjisi 428.6 W/m^2 iken, yıllık ortalama güneş ışınlam ekserjisi 401.1 W/m^2 olarak belirlenmiştir,
- 2) Akdeniz Bölgesinde yıllık ortalama güneş ışınlam enerjisi 463 W/m^2 iken, yıllık ortalama güneş ışınlam ekserjisi 433 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Aralık ayında en düşük güneş ışınlam enerjisi ortalaması 183 W/m^2 iken, en düşük güneş ışınlam ekserjisi 171.3 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.
- 3) Türkiye geneli için yıllık ortalama ışınlam ekserji/enerji oranı % 93.59 olarak belirlenirken, bu değer Akdeniz Bölgesi için % 93.52 olarak hesaplanmıştır.

Güneş ışınlam ekserjisi, ısıl ışınlamın iş ve ısı gibi farklı işlemlere dönüşme etkinliği açısından önemlidir. ışınlam dönüşümü işlemlerinde, ekserji etkinliğinin işleme özgü özellikler dikkate alınarak tanımlanması gerekir. Isıl ışınlamın işe dönüşümünde ekserji etkinliği, ışınlamdan yararlanılarak yapılan işin, ışınlam ekserjisine oranı olarak tanımlanabilir. ışınlam enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü, tersinmez soğurma işlemi süresince belirli bir ekserji kaybı ile gerçekleşir. ışınlamın değeri, ışınlamın sıcaklığı tarafından belirlenen değere azalır. Güneş ışınlamının ısı enerjisine dönüşümündeki ekserjetik etkinlik, dönüşüm sonucunda elde edilen ışınlam ekserjisinin, gelen güneş ışınlamı ekserjisine oranı olarak tanımlanabilir. Ekserji analizinin esas amacı: (a) ısıl ve kimyasal işlemlerin termodinamik hatalarının sebeplerini miktar olarak değerlendirmek, (b) enerji sistemlerindeki atık ve kayıpların gerçek değerleri, tipleri ve gerçekleştiği yerleri belirlemek ve (c) mevcut enerji sistemlerindeki etkinsizlikleri azaltarak, daha etkin sistem tasarım yöntemlerini geliştirmektir.

7. Kaynaklar

- [1]. Anonim. Ortalama, ekstrem sıcaklık ve yağış değerleri bülteni, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1984.
- [2]. Bejan, A. Advanced engineering thermodynamics. Wiley, New York, 1988.
- [3]. Çengel, Y.A., Byard, W. ve Dinçer, İ. Is bigger thermodynamically beter. *Exerg. An International Journal* **2**: 62-68, 2002.
- [4]. Dinçer, İ. The Role of Exergy in Energy Policy Making. *Energy Policy* **30**: 137-179, 2002.
- [5]. Dinçer, İ. On Energy Conservation Policies and Implementation Practices. *International Journal of Energy Research* **27**: 687-702, 2003.
- [6]. Dinçer, İ., M., Hussain, M. ve Al-Zaharnah, I. Energy and Exergy Use in Agricultural Sector of Saudi Arabia. *Energy Policy*, 2004.
- [7]. Hepbaşlı, A. Güneş enerjili sistemlerde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulanması. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 20-21 Haziran 2003, Mersin, Bildiriler Kitabı: 197-206, 2003.
- [8]. Jeter, S.M. Maximum conversion efficiency for the utilization of direct solar radiation, *Solar Energy*, **26**(3), 231-236, 1981.
- [9]. Petela, R. Exergy of radiation of a perfect gray body, *Energetyka* **5**, 33-45, 1961.
- [10]. Petela, R. Exergy of heat radiation. *Trans. ASME, J. Heat Transfer* **2**, 187-192, 1964.
- [11]. Petela, R. Exergy of undiluted thermal radiation. *Solar Energy* **74**, 469-488, 1964, 2003.
- [12]. Öztürk, H.H. Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar box-cookers, *International Journal of Exergy* **1**(2), 202-214, 2004.
- [13]. Öztürk, H.H. Experimental determination of energy and exergy efficiency of the solar parabolic-cooker. *Solar Energy* **77**, 67-71, 2004.
- [14]. Spanner, D.J. Introduction to thermodynamics, Academic press, London, 1964.
- [15]. Szargut, J. ve Petela, R. Exergy. WNT, Warsaw, 1965.
- [16]. Szargut, J. ve Petela, R. Exergy. Energija, Moscow, 1968.
- [17]. Szargut, J., Morris, D.R. ve Steward, F.R. Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes. Hemisphere Publishing, New York, 1988.
- [18]. Ültanır, M.Ö. 21. Yüzyıla girerken Türkiye’nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, ISBN: 975-7249-59-9, Lebib Yalkım Yayınları ve Basım İşleri A.Ş., İstanbul, 1998.
- [19]. Yılmaz, M., Sara, O.N. ve Karlı, S. Performance evaluation criteria for heat exchangers based on Second Law Analysis. *Exergy, An International Journal* **1**(4): 278-294, 1991.