[Abstract:0077][Enerji Verimli Binalar]

ENERJİ VERİMLİ BİNALARDA CO2 EMİSYON ÖLÇÜTLERİ VE EKSERJİ KAVRAMI

Mehmet Ziya Söğüt1, Tahir Hikmet Karakoç2, İsmail Ekmekçi3
1Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
2Sivil Havacılık Araşt. ve Uygulama merkezi, Anadolu Üniv. Eskişehir
3Uygulamalı Bilimler Fakültesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul

Binalarda enerji verimliliği pek çok yönüyle geliştirilen ve üzerinde çalışılan bir konudur. Bu çalışmalarda enerji verimliliğinin bir ölçütü olarak enerji kaynaklarında fosil yakıt etkilerinin azaltılması, bina konstrüksiyon ve imalat malzemelerinde ısıl geçirgenlikleri düşük çevre dostu ürün tercihleri, sürdürülebilir bir çevre için düşük ekserji binalar, sıfır karbon stratejileri gibi pek çok konsept gündemde tutulmuştur. Ayrıca ısıtma ve soğutma sistem tercihlerinde, düşük sıcaklıklı sistemler, ısı pompaları, absorbsiyon teknolojileri güneş destekli sistemler gibi pek çok gelişmenin olduğu görülmektedir. Tüm bunların değerlendirilmesinde enerji analizleri için termodinamiğin birinci yasası, çevresel etkilerin değerlendirilmesinde tasarruf edilen enerji yüklerine bağlı CO2 emisyon tasarrufları tanımlanır. Maalesef bu nicel ifadeler, tanımlanmış referans ölçütler olmadığı için boyutlarının değerlendirilmesi eksik kalmaktadır. Örneğin bir sistem için tanımlanmış kgCO2 emisyon değeri, binanın enerji kaynaklı emisyon potansiyeli açısından bir değerlendirme vermemektedir. Bu çalışmada öncelikle farklı derece gün bölgeler için modellenen binaların performanslara bağlı ekserji analizleri yapılmıştır. Daha sonra elde edilen tersinmezliklere bağlı olarak enerji tasarruf potansiyelleri ile geliştirilen emisyon ölçütüne bağlı CO2 emisyon tasarruf potansiyeli tanımlanmıştır. Ayrıca elde edilen veriler emisyon analizlerinde farklı yaklaşımların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda sürdürülebilir çevre ve binalar için enerji verimliliğinde geliştirilen CO2 emisyon ölçütlerinin faydaları vurgulanmıştır.

CRITERIA OF CO2 EMISSIONS IN ENERGY EFFICIENCY BUILDINGS AND EXERGY CONCEPT

Mehmet Ziya Söğüt1, Tahir Hikmet Karakoç2, İsmail Ekmekçi3
1Anadolu University School of Graduate Sciences, Eskişehir, Turkey
2Research and App. Center of Civil Aviation, Anadolu Univ. Eskisehir
3faculty,of applied sciences, Istanbul Commercial University, Istanbul

Energy efficiency in buildings is an issue that developed and studied so many aspects. In these studies, many concepts like reducing the effects of fossil fuels in energy sources, eco-friendly product preferences having low the thermal transmittance in building construction and manufacturing materials, the low exergy buildings for a sustainable environment and zero-carbon strategies were kept on the agenda as a measure of energy efficiency. Besides, it is seen that many systems such as low-temperature systems, heat pumps and solar assisted absorption technologies in the heating and cooling system preferences are developed. In the evaluation of all these, the first law of thermodynamics for energy analysis, the evaluation of the environmental impact for CO2 emissions savings depending on load of the energy saved are defined generally. Unfortunately, this quantitative statements remains incomplete due to not defined reference criteria for the evaluation of size. For example, kgCO2 emissions value defined for a system not given an assessment in terms of emissions potential based on energy resource of buildings. In this study, first, exergy analysis depending on the performance of buildings modeled for the different degree day regions are made. Then, the energy savings potentials obtained due to the irreversibility, CO2 savings potential depending on emissions criteria developed are defined. Furthermore, the obtained data were compared with the results of different approaches to emission analysis. At the end of the study, benefits of CO2 emission criteria development in energy efficiency for a sustainable environment and buildings are highlighted.

[Full Papers:0077]

ENERJI VERIMLI BINALARDA CO_2 EMISYON ÖLÇÜTLERI VE EKSERJI KAVRAMI

M. Ziya Sogut[1], T. Hikmet Karakoc[2] ve İsmail Ekmekçi[3]
[1]*Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye,*
[2]*Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye*
[3]*Uygulamalı Bilimler Fakültesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*

Correspanding author; mzsogut@gmail.com

ÖZET
Bu çalışmada öncelikle farklı derece gün bölgeler için örnek alınan bir binanın yalıtımlı, TS825 sınırları ve yalıtımsız özellikleri dikkate alınarak ekserji analizlerine bağlı etkinliği incelenmiştir. Daha sonra bu kriterlere bağlı emisyon yükleri; her bölge için uluslararası kabul ölçütü(IPCC), genel yaklaşım ve karbon salım metriği ölçütü dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Referans alınan karbon ölçütleri arasında %97 ve %42,26'lık gibi önemli farklar bulunmuştur. Çalışmanın sonunda emisyon ölçütü olarak karbon salınım metriğinin sağladığı faydalar ile bina analizleri için ekserji kavramının önemi vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Binalar, Enerji verimliliği, ekserji, enerji kayıpları, CO_2 emisyonu.

CRITERIA OF CO_2 EMISSIONS IN ENERGY EFFICIENCY BUILDINGS AND EXERGY CONCEPT

SUMMARY
In this study, first activity of an exemplary building for different degree days of regions was examined depending on exergy analysis and as taken into features of isolated, limits of TS825 and uninsulated consideration. Then, emission loads based on these criteria were calculated for each region as considering international acceptance criterion (IPCC), general approach and criterion of the carbon emissions metric and the results were compared. It was found importance differences among the carbon criteria taken reference like 97% and 42.26%. At the end of the study, importance of exergy concept and the benefits of carbon emission metric as the emission criterion for buildings performance analysis were emphasized.

Keywords: Buildings, Energy efficiency, Exergy, Energy analysis, CO_2 emission

GİRİŞ
Dünyada yaşanan en büyük sorunlardan biri fosil enerji tüketimine bağlı sera gazı emisyonları ve bunların neden olduğu küresel iklim değişikliğidir. Bu değişiklikte enerji üretiminden ve kullanımından kaynaklanan CO_2 ve diğer sera gaz emisyonlarının %77 gibi bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Emisyonların veya enerji tüketiminin kontrol altına alınarak azaltılmasının en etkin yöntemi her alanda enerji verimliliğinin sağlanmasıdır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) değerlendirmelerine göre 2050 yılına kadar enerjinin verimli kullanımı ile birlikte toplam CO_2 emisyonlarının % 31-53'ü aralığında azaltılabileceği tahmin edilmiştir[1].

Günümüzde kullanımı hızla artan ekserji kavramı tüm ısıl prosesler için tersinmezliğin bir ölçütü olarak tanımlanır ve bunu referans alan bina sektörü için birçok çalışma yapılmıştır [2,3]. Ekserji kısaca ısıl prosesleri için elde edilecek maksimum faydalı iş olarak tanımlanır. Bina sektörü için ekseri talebi enerji talebine benzer bir kavramdır ve ekserji analizleri için önemli bir parametredir.

Ekserji bir binanın iç ortam konfor şartları için minimum faydalı iş olarak tanımlanır. Bu tanımlama bir bina tasarımında minimum enerjiyle iç konfor koşullarının sağlanması ve sürdürülebilir çevre için en az emisyon potansiyelinin tanımlanması olarak değerlendirilir[4,5].

Dünyada emisyon değerlendirilmelerinde CO_2 ölçütleri çok farklı ele alınmaktadır. Bu ölçütlerin pek çoğu sadece yakıt veya baca yüklerine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Oysa ısıl etkilere bağlı olarak CO_2 eşdeğer emisyon ölçütünü sadece baca gazı değerleriyle veya enerji analizlerine bağlı ölçütlerle değil, tersinmezliğin boyutunu tanımlayan entropi yükleriyle ele alınmalıdır. Çünkü atık hale gelen ısıl yükler veya kayıplar binaların emisyon potansiyellerini de dolaylı olarak arttırır. Bu çalışmada, ısıl yüklerde ekserji analizlerine bağlı emisyon yüklerinin tanımlanması için bir ölçüt geliştirilmiştir. Bunun kabul edilen bir bina yapısının, Türkiye'de farklı derece gün bölgeleri için tersinirlik koşulları değerlendirilerek binalardaki CO_2 eşdeğer emisyon yükleri ve olası geliştirmelerde tasarrufun ölçüt parametreleri araştırılmıştır.

BİNALARDA EKSERJİ KAVRAMI VE CO_2 EMİSYON YAKLAŞIMLARI

Ekserji Kavramı

Binalarda enerji yükleri günümüzde özellikle sürdürülebilir ve sürekli koşullar için değerlendirilir. Bu konuda geliştirilmiş ECBCS Annex 37 ve Annex 49 dokümanları ile ekserjetik yaklaşımlar geliştirilmiştir[5,6]. Genel tanımlamadan farklı olarak bir binanın ihtiyaç duyduğu minimum enerji olarak şekillendirilen ekserji analizleri temelde birinci yasa analizlerine dayanır. Türkiye'de bina enerji ihtiyaçları ve özellikle ısıtma ihtiyacı TS825 bağlı olarak bina enerji performans yönetmeliğiyle tanımlanmıştır. Bu yapı öncellikle bina yıllık enerji ihtiyaçları toplam aylık ihtiyaçlara göre ($\dot{Q}_{yıı} = \sum \dot{Q}_{ay}$) tespit edilir. Bir binada aylık ısıtma enerji ihtiyacı;

$$\dot{Q} = [\dot{Q}_h (q_i - q_d) - j_{ay} (f_i - f_{s,ay}) . t_{ay}] \quad (1)$$

dır[7]. Burada $\dot{Q}_h$ binanın toplam ısı yükü, ($(q_i - q_d)$ iç ve dış sıcaklık farkı, j_{ay} aylık kullanım faktörü, f_i aylık ortalama iç kazançlar, $f_{s,ay}$ aylık ortalama güneş enerji kazançları, t_{ay} aylık saniye olarak zamandır. Bir sistemde toplam ısı yükü sistemde ortaya çıkan kayıplarla kazançların toplamı olarak değerlendirilir. Termodinamik olarak birinci yasaya dayana bir bina için toplam enerji yükü;

$$\dot{Q}_h = \sum \dot{Q}_{kayıayıp} - \sum \dot{Q}_{kazançlar} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_h = [(\dot{Q}_T - \dot{Q}_v) - (\dot{Q}_s - \dot{Q}_o - \dot{Q}_e - \dot{Q}_l] \quad (3)$$

dir. Burada $\dot{Q}_T$ taşınmsal ısı kayıpları, $\dot{Q}_V$ infilitrasyon ısı kaybı, $\dot{Q}_s$ güneşle ısı kazancı, $\dot{Q}_o$ insanlardan elde edilen kazançlar, $\dot{Q}_e$ ekipmanlardan elde edilen kazançlar, $\dot{Q}_l$ aydınlatmadan elde edilen kazançlar olarak tanımlanır[8]. Termal yüklerde ısı ihtiyaçları, fosil yakıt kaynaklı primer yakıtlarla karşılanır. Bir sistemde toplam enerji yükü için ihtiyaç duyulan yakıt miktarı(M_y);

$$M_y = \frac{\dot{Q}_{yıı}}{H_u \eta_{cihaz}} \quad (4)$$

dır. Burada H_u yakıtın alt ısıl değeri, η_{cihaz} cihazın ısıl verimidir[9]. Sistemin toplam enerji verimi sistemlerde talep edilen yıllık enerjiye bağlı olarak tüketilen yıllık yakıt miktarı ile tanımlanır. Bu da;

$$\eta_I = \frac{Talep\ Edilen\ Isı}{Giren\ Enerji} \quad \square \quad \eta_I = \frac{\dot{Q}_{yıı}}{M_y} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır[3]. Bir binanın enerji talebine benzer olarak ekserji talebi binaların ekserji analizi için önemli bir parametredir. Ekserji kavramı tüm sistemler için; ı^o) farklı kimyasal kompozisyon, yanma ve reaksiyonal etkileşim prosesleri için kimyasal ekserji, ıı^o) sistemlerde sıcaklık farkına bağlı olarak tanımlanan ısıl ekserji, ııı^o) basınç farkına bağlı olarak tanımlanan mekanik ekserji olmak üzere

üç farklı yapıda ele alınır[5]. Bina yapılarının ısıtma ve soğutma işlevleri bu yönüyle ısıl ekserji kavramı içinde ele alınır. Binanın ısıl yükleri tıpkı bir ısı makinası gibi binanın sıcak ve soğuk kaynak arasında ısıl harekete bağlı enerji üretimi olarak tanımlanabilir. Bu iki kaynak arasında ekserjetik sıcaklık faktörü olarak tanımlanan ekserji faktörü carnot verimine bağlı geliştirilen ekserji talebi olarak toplam ısı yükünün bir formudur. Bu faktör, talep edilen enerji yükü ile ekserji talebinin bir oranı olarak ta tanımlanır [10]. Bu yönüyle elde edilen faktör talep edilen enerji yükü için sistemin talep ettiği ekserji yükünün bir oranını tanımlar. Bu durumda ekserji faktörü ;

$$g = \frac{\dot{E}x}{\dot{Q}_h} = (1 - \frac{T_0}{T}) \tag{6}$$

dır[5,3]. Carnot verimliliği olarak ta tanımlana bu faktöre bağlı olarak bir binanın minimum ekserji talebi bulunduğu çevre için iç konfor sıcaklığında minimum enerji ihtiyacını tanımlar. Buna göre ekserji talebi;

$$d\dot{E}x = d\dot{Q}_h.(1 - \frac{T_0}{T}) \tag{7}$$

dir[10]. Burada Q_h sitemin yapı bileşenlerine bağlı ısı yükü, T_0 binanın çevre sıcaklığı T ısı kaynak sıcaklığıdır. Sistemde tüketilen yakıt miktarıyla talep edilen ekserji arasındaki değer sistemin ekserjetik performansını ifade eder. Bu değer bir bina için sınır değerin toplam enerji tüketimine oranı olarak ta ifade edilebilir. Bina yükleri yönüyle ekserji verimliliğinin en doğru ölçütü Rasyonel ekserjidir. Bir bina için rasyonel ekserji talep edilen ekserjinin kullanılan yakıta bağlı ekserjiye oranı olarak tarafından tanımlanmıştır[3,4].

$$y = \frac{Ex_{Qh}}{Ex_{fuel}} \tag{8}$$

dır. Bu bir kontrol hacmi olarak sistemde gerçek tersinmezliklerin ve entropiye bağlı kayıpların ifadesidir. Benzer analizler binalarda enerji analizlerine ve kullanılan enerji kaynaklarıyla incelenir ve her bir sistemin enerji veriminin ekserji faktörüne oranı olarak tanımlanır. Bu durumda kullanılan ısıtıcı sistemin ekserji verimi;

$$y = \frac{h_{\iota}}{g_{fuel}} \tag{9}$$

dir[2]. Burada g_{fuel} yakıta bağlı ekserji faktörüdür. Çalışmada ele alınan doğal gaz için 1,06 kömür için 1,08'dir.

CO_2 Emisyon yaklaşımları

Sanayileşmenin etkisiyle yaygınlaşan fosil yakıt tüketiminin olumsuz etkileri özellikle CO_2 başta olmak üzere daha fazla sera gazı etkisine sahip gazların atmosfere salınmasına yol açmıştır. Bu gazlar içinde CO_2 (%77 paya sahip), metan (CH_4 %14 paya sahip ve Diazotmonoksit (N_2O-% 8 paya sahip) temelde fosil yakıt kullanımının etkisiyle artış gösteren gazlardır. 18 nci yüzyıldan bu yana emisyon potansiyeli hızla artan CO_2 yoğunluğu, 2007 yılında 380 ppm'lere ve 2013 yılında 400 ppm'e ulaşmıştır. Küresel sıcaklık artışının en önemli nedenlerinden biri olan CO_2 emisyonunun sınırlandırılmasına ilişkin olarak uluslararası teşekküllerle pek çok senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryolar arasında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kurulan Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 4 ncü değerlendirme raporunda bu değer 450 ppm olarak sınırlandırılmış ve bunun da dünya sıcaklık

artışının sanayileşme öncesi değere göre (280 ppm) 2 °C arttıracağı öngörülmüştür. Ancak son yıllardaki bilimsel çalışmalar bu değerin yaratacağı iklimsel devrilmenin yaşanmaması gibi önemli ekolojik dönüşümler yönüyle güvenlik sınırının 350 ppm'e çekilmesi gerektiğini ortaya koymuştur[11].

CO_2 emisyonu kavram olarak iki yönlü ele alınır. Biri gerçekte fosil yakıt tüketiminde yanma sonucu açığa çıkan ürünlerden biri olan CO_2 miktarıdır ve bu çoğunlukla ölçülebilir bir değerdir. Diğeri sistemlerde tüketilen enerjiye bağlı olarak açığa çıkan ve CO_2 olmayan CH_4 ve N_2O gazlar (küresel ısınma potansiyeli GWP N_2O için 21, CH_4 için 310'dur) gibi sera gazların neden olduğu küresel ısınma potansiyelin tanımlanması için kullanılan eşdeğer CO_2 miktarıdır. Bu iki parametre arasında atmosferde 1 ppm CO_2 için yaklaşık 7,78 eşdeğer $GtCO_2$ değeri tanımlanır[11].

Sektörel analizlerde veya öngörü senaryoların oluşumunda farklı yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Amerika'da sektörlerden toplanan verilerin kullanıldığı ve enerji çevre ajansının geliştirdiği Vintanging modeli, Avrupa birliğinde, her ülkenin bürüt yerli ürün maliyeti, toplam Avrupa birliğinden üye ülkelerin bireysel tüketimine bölünerek bulunur. Diğer ülkelerde ise birleşmiş milletler çevre programı (UNEP)'ten sağlanan ülkelerin ozon tüketim değerleri tahminlerini kullanırlar [12]. Özellikle fosil yakıt kaynaklı öngörülerde IPPC yaklaşım öne çıkmaktadır. Türkiye'de de resmi makamlarca kabul edilen bu yaklaşımda emisyon eşdeğeri;

$$M_{CO_2} = m_{fuel} a_{CO_2.} (FOC * EF) * (M_{CO_2} / M_C) * 10^{-3} \quad (10)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, m_{fuel} (TEP) toplam yıllık yakıt tüketimi, $a_{CO_2.}$ (TJ*1000 TEP) dönüşüm katsayısı, FOC oksitlenen karbon fraksiyonu, EF emisyon faktörü ve (M_{CO_2} / M_C) (44/12) mol sayı oranlarıdır[13]. Binanın enerji performansı yönetmeliğine göre emisyon salınımına bağlı bina performansı;

$$E_{P,SEG} = 100 * (SEG_a / SEG_r) \quad (11)$$

dir. Burada SEG (kg-CO_2/m^2-yıl) Binanın yıllık m^2 başına düşen CO_2 salım miktarını, a ve r sırasıyla ve gerçek ve referans binaları tanımlar. Binalarda enerji tüketimine bağlı emisyon hesapları kısaca yakıt tüketiminin emisyon faktörü ile çarpımına bağlı hesaplanır. Bu;

$$SEG = m_{fuel} . F_{SEG} \quad (12)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada F_{SEG} yakıt türüne göre (kgEşd.CO_2/kWh)CO_2 dönüşüm katsayılarıdır ve doğalgaz için 0.234, linyit kömürü için 0.433, fuel-oil için 0.33 ve diğer fosil yakıtlar (motorin) için 0.320 değeri alınır[14]. Emisyon analizlerinde son yıllarda ekserji kavramıyla birlikte gelişen emisyon hesaplama yöntemi Karbon Salım Metriği yöntemidir. Bu yöntem bir binanın gerçekte üç ayrı karbon salım odağı bulunduğunu göstermektedir. Isıl verim ve akılcı ekserji verime ($y = (1 - (T_{çevre,ort} / T_{iç})) / (1 - (T_{çevre,ort} / T_{yanma sıı}))$ bağlı olumsuzlukların bir sonucudur. Bu durumda binanın toplam eşdeğer CO_2 emisyonu;

$$\dot{A} CO_2 = CO_2 i \cdot \dot{U} CO_{2j} = \left(\frac{W_{CO_2 i} \dot{A} \dot{Q}_{W_i}}{h_{Ii}} \right) \cdot \left(\frac{W_{CO_2 j} \dot{A} \dot{Q}_{BW_j}}{h_{Ij}} \right) (1 - y_{Ri}) \quad (13)$$

dur. Burada W_{CO_2} birim enerji CO_2 emisyon faktörü, $\dot{A} \dot{Q}_W$ atık enerji miktarı, $\dot{A} \dot{Q}_{BW}$ eşdeğer kazan enerji tüketimi, y rasyonel ekserji verimidir[15].

ANALİZLER VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada Türkiye derece gün bölgeleri için referans alınan binanın yalıtımlı, TS825 ölçekli ve yalıtımsız özelliği referans alınarak öncelikle enerji ve ekserji analizi yapılarak tersinmezlikler belirlenmiştir. Daha sonra ekserji kavramı referans alınarak toplam eşdeğer CO_2 sınırı ve binaların derece gün özelliğine göre neden oldukları emisyon ölçütleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm bölgeler için referans bir bina modelinin dış ortam sıcaklıkları birden dörde doğru sırasıyla; 3 °C, -3,3°C, -12,7 °C ve -15°C'dir. 61600 m^3 brüt hacme, 3200 m^2 kullanım alanına ve 2,7 m yüksekliğe sahip bina için iç ortam sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır. Yalıtım için 0,030 W/mK olan ekstrüde polistren köpüğü (XPS) değişik ölçülerde kullanılmıştır. Analizler yakıt olarak doğal gaz (alt ısıl değer 34526,2 kJ/m^3, kazan verimi %92) ve linyit kömürü (alt ısıl değer 19451,8 kJ/kg, kazan verimi %65) kullanılmıştır. Bu veriler ve (2-5) eşitlikler kullanılarak her bir derece gün bölgeler için ısı ihtiyacına bağlı yıllık enerji talebi bulunmuş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Derece gün bölgelere göre binanın enerji talebi

Derece gün bölgeler	Yıllık enerji talebi (kWh/yıl)			Yakıt (Doğal gaz) (m3/yıl)			Yakıt (Kömür) (kg/yıl)		
	Yalıtımlı	TS825	Yalıtımsız	Yalıtımlı	TS825	Yalıtımsız	Yalıtımlı	TS825	Yalıtımsız
1 Bölge	3,15E+08	4,71E+08	9,93E+08	9931,134843	14835,61	31259,51	24949,53	37270,82	78531,82
2 Bölge	6,37E+08	8,15E+08	1,89E+09	20054,25999	25656,89	59569,36	50381,38	64456,6	149653,3
3 Bölge	8,42E+08	1,13E+09	2,62E+09	26494,66202	35605,47	82416,2	66561,31	89449,98	207050,4
4 Bölge	1,12E+09	1,85E+09	3,42E+09	35116,77206	58295,24	107724	88222,23	146452,4	270630

Yapılan ısı yükü analizlerinde birinci bölge için yalıtımlı bina TS825'e göre %66,94, TS825 ise yalıtımsız binaya göre %31.77 daha az ısı ihtiyacı göstermektedir. Yakıt analizlerinde ise aynı kriterlere göre sırasıyla % 66,04 ve % 47,46 daha az yakıt ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Benzer yükler diğer bölgelerde de görülmektedir. Eşitlik (6-9) kullanılarak bina ısı ihtiyacına göre ekserji değeri ve yıllık yakıt tüketimine bağlı ekserji yükleri ve ekserji verimleri her bölge için ayrı ayrı hesaplanmış sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Her bölge için ekserji talebine ve yakıt türüne göre ekserji verimi

Derece gün bölgeler	Yıllık ekserji talebi (kWh/yıl)			Ekserji verimi (Doğal gaz)			Ekserji verimi (Kömür)			Ekserji verimi (Yakıt)	
	Yalıtımlı	TS825	Yalıtımsız	Yalıtımlı	TS825	Yalıtımsız	Yalıtımlı	TS825	Yalıtımsız	Doğal gaz	Kömür
1 Bölge	18302769	27341570	57610296	0,0534	0,0534	0,0534	0,0377	0,0252	0,0120	0,8679	0,6019
2 Bölge	50656077	64808035	1,5E+08	0,0732	0,0732	0,0732	0,0517	0,0404	0,0174		
3 Bölge	93923685	1,26E+08	2,92E+08	0,1027	0,1027	0,1027	0,0725	0,0540	0,0233		
4 Bölge	1,23E+08	2,04E+08	3,78E+08	0,1015	0,1015	0,1015	0,0717	0,0432	0,0234		

Ekserji faktörüne bağlı binaların ekserji ihtiyacının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda yapılacak değerlendirme sürdürülebilir bir çevre yönüyle ısıl denge koşulunu sağlayan yapı bileşenlerinin oldukça kötü olduğu görülmektedir. Bu durumda binanın yük analizleri için bu değerler her bölge için referans değerlerdir. Sistemlerde kullanılan yakıt türüne bağlı ekserji verimleri ise sistemde yakıt tüketen sistemler için referans değerlerdir. Bu durumda bu doğal gaz için %86,79, linyit için %60,19 olarak bulunmuştur. Örneğin buna göre birinci bölge için yakıt ihtiyacı doğal gaz için yalıtımlı binada 9369 m^3/yıl ile %5,21 daha az yakıt tüketimi anlamına gelir. Benzer etkiler diğer bölgeler için de geçerlidir.

Bina için emisyon yükleri 3 farklı yöntem referans alınarak hesaplanmıştır. Bu yük hesaplamalarında yakıt türleri doğal gaz ve linyit için ayrı ayrı ele alınmıştır. Buna göre doğal gaz için hesaplanan emisyon yükleri ve bölgelere dağılımı Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 Doğal gaz tüketimi için binaların bölgelere göre emisyon yükleri

Doğal gaz	Enerji						Ekserji						Karbon salım metriği $kgCO_{2*10^9}$/yıl		
	IPCC yöntemi $kgCO_{2*10^9}$/yıl			Genel yaklaşım $kgCO_{2*10^9}$/yıl			IPCC yöntemi $kgCO_{2*10^9}$/yıl			Genel yaklaşım $kgCO_{2*10^9}$/yıl					
Bölgeler	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız
1 Bölge	3,09	4,61	9,72	0,08	0,12	0,25	2,91	4,35	9,17	0,08	0,11	0,24	0,13	0,20	0,41
2 Bölge	6,24	7,98	18,53	0,16	0,21	0,48	5,88	7,53	17,48	0,15	0,20	0,45	0,26	0,33	0,77
3 Bölge	8,24	11,07	25,64	0,21	0,29	0,67	7,77	10,45	24,18	0,20	0,27	0,63	0,33	0,45	1,03
4 Bölge	10,92	18,13	33,51	0,28	0,47	0,87	10,30	17,11	31,61	0,27	0,44	0,82	0,44	0,73	1,35

Tablo 3'de görüleceği gibi emisyon yükleri arasında önemli farklar göze çarpmaktadır. Her bir yük kendi analiz değerlendirmelerinde önemli olabilir. Ancak örneğin birinci bölge esas alındığında IPPC ile genel yaklaşım arasında binanın durumuna göre yaklaşık %97'lik bir fark görülmektedir. Ayrıca genel yaklaşımla karbon salım metriği arasında da yaklaşık % 42,25 lik bir fark vardır. Her iki durumda da sonuçlar arasında önemli farklılıklar vardır. Benzer analizler kömür için yapılmış ve sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4 Kömür tüketimi için binaların bölgelere göre emisyon yükleri

Kömür	Enerji						Ekserji						Karbon salım metriği $kgCO_{2*10^9}$/yıl		
	IPCC yöntemi $kgCO_{2*10^9}$/yıl			Genel yaklaşım $kgCO_{2*10^9}$/yıl			IPCC yöntemi $kgCO_{2*10^9}$/yıl			Genel yaklaşım $kgCO_{2*10^9}$/yıl					
Bölgeler	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız	Y.lı	TS825	Y.sız
1 Bölge	7,76	11,59	24,43	0,37	0,56	1,17	7,19	10,74	22,62	0,35	0,52	1,09	0,80	1,20	2,52
2 Bölge	15,67	20,05	46,55	0,75	0,96	2,24	14,51	18,57	43,10	0,70	0,89	2,07	1,59	2,04	4,73
3 Bölge	20,70	27,82	64,40	1,00	1,34	3,10	19,17	25,76	59,64	0,92	1,24	2,87	2,06	2,77	6,41
4 Bölge	27,44	45,55	84,18	1,32	2,19	4,05	25,41	42,18	77,95	1,22	2,03	3,75	2,73	4,54	8,38

Kömür tüketimi farklılık gösterse de doğal gaz ile karşılaştırıldığında örneğin birinci bölge için yaklaşık %60,2'lik bir emisyon fazlalığına sahiptir. Genel yaklaşım yönüyle kömür tüketimi her yönden yüksek emisyon değerine sahiptir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada referans alınan bir bina için Türkiye derece gün bölgelere göre öncelikle enerjetik ve ekserjetik performans analizleri yapılmış ve binanın neden olduğu emisyon yükleri farklı yöntemlerle araştırılmıştır. Yapılan analizlerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a. Binanın enerji performansı doğal gaz için %92, kömür için % 65'tir.
b. Binanın ekserji talebi sınır enerji talebi olarak değerlendirilir ve bu ekserji faktörü olarak toplam ısıl yükün birden dörde bölgeler için sırasıyla; %5,82, %7,95, %11,16 ve %11,95 olarak hesaplanmıştır.
c. Binaların ekserji talebine bağlı verimleri doğal gaz için ortalama %8,27, kömür için % 5,27 bulunmuştur.
d. Binanın yakıt türüne bağlı ekserjisi ise doğal gaz için %86,79 ve kömür için %60,19 bulunmuştur.
e. Bina emisyon analizlerinde ampirik yaklaşımlar emisyon yükü yönüyle yanıltıcı olabilir. Ancak ekserji kayıplarının tanımlandığı tersinmezlik yüklerine göre emisyon tanımlanması karbon salım metriği ile daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Bu analizler bize binalarda ısı kayıplarının ve dolayısıyla inşaatlarda malzeme seçimi ve doğru yalıtım uygulamalarının yapılması yönüyle de ekserji analizlerinin yol gösterici etkilerini göstermektedir. Ayrıca çalışma yürürlükte olan TS 825 standardının bina performans kriterleri yönüyle tekrar değerlendirilmesi gerektiğini de ortaya çıkartmıştır.

KAYNAKLAR

1. Soner T., Söğüt Z. 2012, Türkiye'de Bina Sektöründe Enerji Verimlilik Projeksiyonu Ve Çevresel Performansları Değerlendirilmesi, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Sayı 82 Kasım - Aralık /
2. Xydis G., Koroneos C.2009, Polyzakis A. Energy and exergy analysis of the Greek hotel sector: An application Energy and Buildings 41 402–406.
3. Hepbasli A. 2012, Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 73– 104
4. Cornelissen R.L. 1997, Thermodynamics and sustainable development: The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility, Ph.D thesis, University of Twente, The Netherlands.
5. Annex 49. Energy conservation in buildings and community system slow exergy systems for high performance buildings and communities, <http://www.annex49.com> (01.12.13).
6. Annex 37. Energy conservation in buildings and community systems-low exergy systems for heating and cooling of buildings, <http://virtual.vtt.fi/annex37/> (01.12.13).
7. TS 825. 2008, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/Ankara.
8. Koçak S., Şaşmaz C., Atmaca İ. 2012, Farklı derece-gün bölgeleri için TS825' e uygun olarak yalıtılan bir alışveriş merkezinin teknik ve ekonomik yönden incelenmesi, Tesisat Müh. Dergisi Sayı 128 Sayfa 76-88 www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c5b5fcd9974cdf5_ek.pdf?dergi=1232
9. , Mak. Mühendisleri Odası. 1992, Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, 44:127.
10. Wall G.2009, Exergetics, Bucaramanga (http://www.exergy.se/ftp/timetoturn.pdf) 01.12.13
11. Algedik Ö. 2013, Yerel Yönetimlerin İklim Değişikliği ile Mücadelede Rolü, Sivil İklim Zirvesi Raporu, Kasım, www.iklimzirvesi.org/wp.../11/Yerel-Yonetimlerin-ID-Mucadelede-Rolu.pdf
12. FEA (Federal Enviromental Agency), 2009,"Comparative Assesment of the climate relevance of supermarket refrigeration systems and equipment" Almanya Çevre Bakanlığının çevre araştırma raporu,Almanya www.umweltbundesamt.de
13. Özkan M. 2006, Sera gazları emisyon envanteri çalışma grubu 2006 Taslak raporu YARBİS, www.yarbis.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/muaozkan_aaca8bf9b1c23cee0db68e75f48c98b0.pdf (01.12.13).
14. Bayram M. 2011, Bep-Tr Hesaplama Yönteminde Referans Bina Kavramı Ve Enerji Sınıflandırması, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 13/16 Nisan /İzmir Sayfa, 755-762
15. Kılkıs, S. 2009, A Rational Exergy Management Model for sustainable buildings to reduce compound CO_2 emissions, Proc/e 40th Congress on HVAC&R – KGH, pp. 391-412.