



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **NET-SIFIR EKSERJİ BİNALARINDA ISIL KONFOR**

**BİROL KILKIŞ**  
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

# NET-SIFIR EKSERJİ BİNALARINDA ISIL KONFOR

*Thermal Comfort in Net-Zero Exergy Buildings*

**BİROL KILKIŞ**

## ÖZET

Sürdürülebilir binalarda yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında genelde ısı konfor yerine enerji tasarrufuna öncelik verilmektedir. Öte yandan, yeni nesil bölge enerji sistemlerinde sürdürülebilir binalar bölge ile sadece elektrik değil değişik sıcaklık ve amaçlarla, kısacası değişik enerji niteliğindeki ısıların da alışverişinde bulunmaktadır. Bu ise özellikle sürdürülebilir ve net sifıra-yakın enerji binalarının enerji niceliği yanı sıra enerji niteliği (ekserji) tabanında değerlendirilmelerini gerektirmektedir. Bunun diğer bir anlamı da binaların enerji yanında ekserji verimli ve düşük ekserjili bina (LowEx) olması gereğidir. Bunun bir yansıması olarak da insan konforu artık ekserji tabanlı olarak tanımlanmaktadır. Bu makalede ekserji tabanlı konforun gerektirdiği en uygun konfor sistemleri ve yenilikçi melez cihazları ile bunları sürececek ısıtma ve soğutma sistemleri, CO<sub>2</sub> salımlarının ve ekserji yıkımlarının azaltılması konularında öneriler getirilmekte ve geliştirilen ekserji tabanlı bir eniyileme algoritması tanıtılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük ekserjili bina, insan ekserji kaybı, ekserji tabanlı ısı konfor, ekserji yönetim verimi

## ABSTRACT

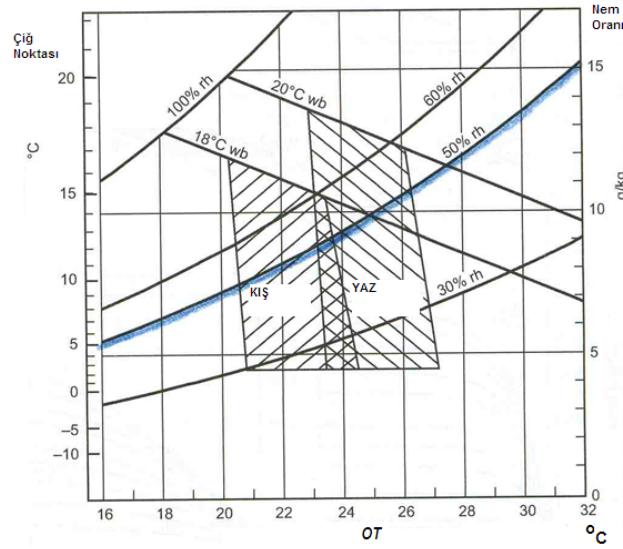
In general, energy savings is prioritized instead of human comfort in sustainable buildings. This may sometimes mean a compromise in comfort. On the other hand, such buildings are usually connected to next-generation district energy systems in addition to exchange of power. This means that such a building is exchanging heat (and or cold) at different exergy levels with the built environment beyond the power exchange with the grid. This necessitates to develop new evaluation criteria for the buildings in terms of exergy along with energy. This brings the definition of Low-Exergy Buildings (LowEx). A reflection of this new concept is the definition of thermal comfort of a human body in terms of exergy. In this paper a new exergy-based optimization algorithm for human comfort, energy savings, minimization of exergy destructions, CO<sub>2</sub> emissions, and economy is introduced and innovative hybrid HVAC systems are proposed.

**Key Words:** Low-exergy building, human exergy loss, exergy-based thermal comfort, exergy management efficiency

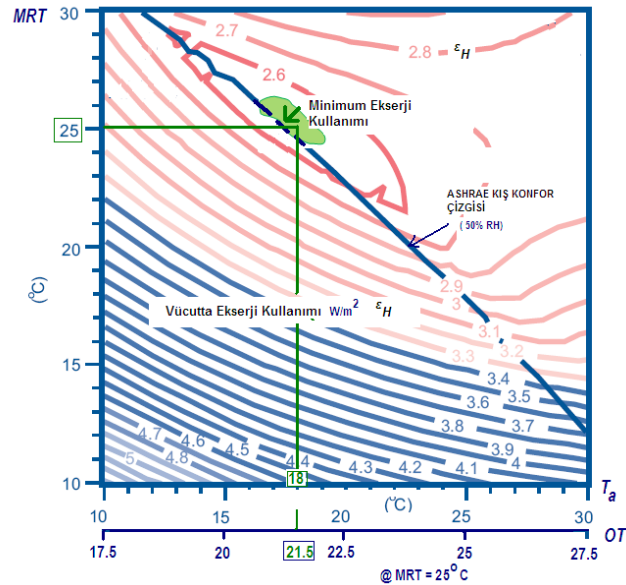
## GİRİŞ

ASHRAE Standard 55 [1] de verilen ve Şekil 1 de gösterilen ASHRAE Konfor Diyagramı belirli bir iç ortam bağıl nem oranında insan ısı konforuna uygun OT (Operatif Sıcaklık: Operative Temperature) değerlerini vermekle birlikte OT nin bileşenleri olan MRT ve  $T_a$  nın ne olacaklarını çözmemektedir (Denklem 1). Burada  $T_a$ , ortam havasının kuru termometre ortalama sıcaklığı, MRT ise ortam iç yüzeylerine bağlı ışınım sıcaklığıdır. Diğer bir deyişle, OT sıcaklığının sabit bir değerde tutulması kaydı ile yüzeylerin ortalama ışınım sıcaklığı (MRT) ve iç ortam sıcaklığı  $T_a$  ne olursa

olsun ısı konforun sağlanacağı gibi bir sonuç ortaya çıkar. Örneğin,  $OT = 21.5^{\circ}\text{C}$  koşulunda bir yetişkinin  $T_a = 16^{\circ}\text{C}$  ve  $MRT = 27^{\circ}\text{C}$  kombinasyonundaki ısı konforunun  $T_a = 27^{\circ}\text{C}$  ve  $MRT = 16^{\circ}\text{C}$  kombinasyonundaki ısı konforuna eşit olduğu söylenemez. Bu durumda insan konforunun en önemli sübjektif konfor etmenlerinden olan ve insan vücudundan ışıma ve taşınım yolları ile olan ısı kayıplarının oranını temsil eden  $PR$  değerinin (Denklem 2) nin en uygun çözümü de imkânsız olmaktadır. Bu sorun Shukuya ve arkadaşlarının geliştirmiş oldukları insan vücudundan ekserji kaybı diyagramı ile çözülmüştür (Şekil 2). Bu Şekle göre insan vücudunun ekserji kaybı,  $\epsilon_H$  nın en az olduğu koşul tek bir noktada verilmektedir. Bu en uygun kombinasyon  $T_a = 18^{\circ}\text{C}$  ve  $MRT = 25^{\circ}\text{C}$  dir. Bu yeni çözümün ötesinde bu koşulu öncelikle ışımla ısı geçişi ile sağlayan, örneğin, taraf olarak en az % 60 ışıma oranı ile döşemeden ısıtma sistemi gibi [2] ve öncelikle taşınım yolu ile [3], örneğin, Fan Coil gibi sistem ve cihazların da en uygun ve melez bir biçimde seçilmeleri gerekir. Böylelikle bir iç ortamda hem ışıma hem taşınım yolu ile en uygun  $OT$  değerini verecek olan  $MRT$  ve  $T_a$  kombinasyonu birbirinden oldukça bağımsız olarak kontrol edilebilir. Böyle bir melezleşmede ise binanın çevre ayak izine, ekonomikliğe ve tasarım kısıtlarına bakmak gerekir. Tüm bu konular takibeden kısımlarda verilmiştir.



Şekil 1. ASHRAE Konfor Diyagramı [1].



Şekil 2. Shukuya ve Arkadaşlarının geliştirdiği İnsan Ekserji Konfor Diyagramı [4]

## İÇ ORTAM SICAKLIKLARININ EKSERJİ YIKIMINA ETKİLERİ

Ülkemizdeki pratik uygulamalarda ve bina konfor otomasyonunda, ısı konforu, ortalama iç ortam sıcaklığı,  $T_a$  ile tanımlanmaktadır. Bunun ana nedeni operatif sıcaklığının hesaplanması ve ölçülmesindeki pratik zorluklardır. Bu sorun son zamanlarda pratik operatif sıcaklık ölçerler ile giderilmiştir [5]. Buna karşın, günümüzde hemen tüm termostatlar hala iç mekân ortam sıcaklığını ölçmekte ve tüm sistemler de insan konforunu ortam sıcaklığı ile sağlamaya çalışmaktadır. Hâlbuki hem ASHRAE Konfor Diyagramı hem de Shukuyan'ın insan ekserjisi kayıp diyagramı ısı konforu Operatif Sıcaklık  $OT$  ile değerlendirmesi gereğini vurgulamaktadır. Isıl konforun iç mekân ortam sıcaklığına endekslenmesinin en somut sorunlarından ikisi sırası ile, insan ısı konforunda ışınımsal ısı transferinin (insan vücudu ile iç mekân yüzeyleri arasında oluşan ısı geçişi) taşıyıcı ısı transferine (taşıyıcı yolu ile ısı geçişine) oranla baskın olması ve ortamdaki bina ısı kayıplarının iç ortam sıcaklığına bağlı olarak daha fazla olmasıdır. Düşük ekserjili binalarda aynı  $OT$  değeri muhafaza edilmek kaydı ile ortamdaki kuru-termometre hava sıcaklığının ( $T_a$ ) azaltılarak ortamdaki yüzeylere bağlı ortalama ışınımsal sıcaklığının (Mean Radiant Temperature,  $MRT$ ) artması tercih edilmektedir. Operatif sıcaklığın belli tasarım koşullarında Şekil 1'den bulunduğu durumda insan ekserji kayıp diyagramına müracaat edilmeden  $OT$ 'nin bileşenlerini bulmak yani  $MRT$  ve  $T_a$ 'yı tek-çözüm olarak bulmak imkânsızdır. Diğer bir deyişle ve matematiksel anlamda  $OT$ 'nin sonsuz çözümleri vardır.  $OT$ 'nin en basit tanımı Denklem 1'de verilmiştir:

$$OT = \frac{T_a + MRT}{2} \quad (1)$$

Kısacası, aynı  $OT$  için birden çok  $T_a$  ve  $MRT$  oranı bulunmaktadır. Bu sorun Shukuya ve arkadaşlarının Ekserji Diyagramı ile çözülebileceği de düşük ekserji binalarında kullanılacak cihazların öncelikle ışınımsal ve taşıyıcı cihazlar olarak çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yük paylaşımında enerji tasarrufu ve ekserji kayıplarının en aza indirilmesi yönünde bir eniyileme çalışması yapılmalıdır. Bu gereklilik Şekil 3'de örneklenmiştir [6,7]. Bu şekilde göre, birim ekserji yıkımları  $MRT$  değeri ile ters orantılı olarak değişmektedir. Işınım ağırlıklı ısıtma veya soğutma sistemlerinin binanın birim ekserji yıkımına katkısı artarken ortam sıcaklığının katkısı azalmaktadır. Bu durumda en uygun  $MRT$  değeri ekserji kaybı açısından bulunsa da bu  $MRT$  değeri bina ısı kayıpları açısından ve Shukuyan'ın diyagramından bulunacak en uygun konfor  $MRT$  değeri ile örtüşmeyebilmektedir. Bu durumda üç ayrı ve kendi içlerinde en uygun  $MRT$  değeri bulunmaktadır:

- 1- İnsan ekserji konforu için en uygun  $MRT$ ,
- 2- Bina ısı kayıplarını açısından en uygun  $MRT$ ,
- 3- İç mekândaki yüzeylerin ışınımsal ve ortamın ekserjiler açısından en uygun  $MRT$ .

Örnek değerler Çizelge 1'de verilmiştir.  $OT$  Sabit.

**Çizelge 1.** Örnek  $MRT$  çözümleri.

Çözüm No	$MRT$	$OT$	$T_a$
1	25°C	21.5°C	18°C
2	23°C	21.5°C	20°C
3	22°C	21.5°C	21°C

Bunlara ek olarak yatırım maliyetleri, işletme maliyeti, yatırım geri dönüş süresi, yenilenebilir enerji kaynaklarının en fazla kullanılabilirliği, en az  $CO_2$  salımları gibi etmenler de değişik  $MRT$  değeri gerektirebilmektedir. Genelde bu etmenler düşük ekserjili bina tasarımı ve uygun düşük ekserjili cihaz seçimleri ile birlikte çözümlenebilmekte ve kendi içlerinde en uygun  $MRT$  bulunabildiği gibi

sürdürülebilir binalarda kullanılan sürdürülebilir melez sistemler de de yük paylaşımı ve kapasiteleri açılarından eniyilenebilmektedir (Rüzgâr türbinli ısı pompası, PVT ile tahrikli ısı pompası gibi) [8,9,10]. Yukarıdaki sıralamadan devam edilerek:

4-

bina çözümü kaynaklı *MRT*,

Düşük ekserjili

şeklinde konu tamamlanmış olmaktadır.

Belirli bir hacme sahip iç ortamın birim döşeme birim yüzey alanı [ $m^2$ ] başına karşılık gelen ekserjisi sabit bir *OT* sıcaklığında *MRT* ile azalırken *MRT* yi denetleyen etkin yüzeylerin ekserjisi artmaktadır. Ortamın en uygun ekserji toplamına karşılık gelen *MRT* Şekil 3 deki örneğe göre  $22^\circ C$  dır.

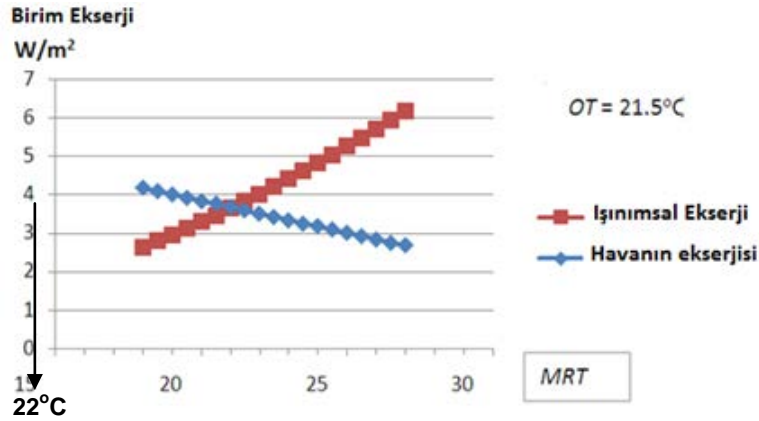
Diğer çalışmalarda ise işletim açısından enuygun noktaların bulunmasında insan vücudu ile ortam yüzeyleri (ışınımsal) arasında ve insan vücudunun ortam havası ile (taşınımsal) ısı geçişi (kayıp) miktarlarının birbirine oranının (*PR*) önemli bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

$$PR = \frac{q_r}{q_r + q_c} \quad (2)$$

Bu denklemde  $q_r$  ışınlım yolu ile gerçekleşen ısı geçişini  $q_c$  ise taşınım yolu ile gerçekleşen ısı geçişini simgelemektedir.

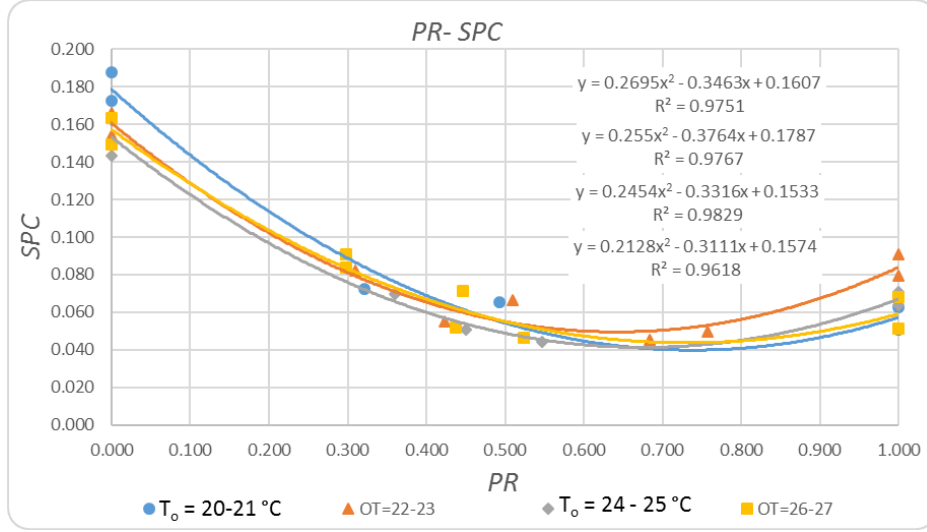
İç ortam konforunu sağlarken tüketilen parazitik enerji (Fan, pompa elektrik motoru gibi)  $Q_p$  ile bu esnada ortama sunulan net toplam enerji  $q_r + q_c$  arasındaki oran Özgül Güç Tüketimi (Specific Power Consumption), *SPC* ile tanımlanmıştır. Bu oran ne kadar az olursa konfor sistemi o denli ekonomik ve işletim açısından ekonomik olacaktır.

$$SPC = \frac{Q_p}{q_r + q_c} \quad (3)$$



Şekil 3. İç mekândaki yüzeylerin ışıınımsal ve ortamın ekserjiler açısından enuygun *MRT*.

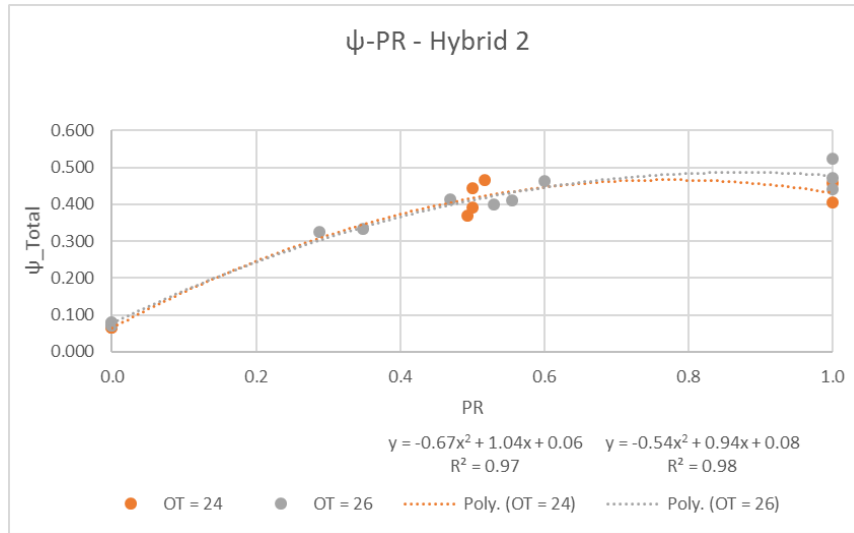
Evren, F. konunun işletim boyutunu ele almak üzere ANSI/ASHRAE Standard 138'e göre [11] geliştirilmiş bulunan bir deney odasında [12] bir dizi deney yapmıştır. Örnek sonuçlar Şekil 4, 5 ve 6 da gösterilmiştir [13, 14, 15].



Şekil 4. Özgül güç tüketiminin PR değeri ile değişimi [14, 15, 16].

Denklem 3 de açıklandığı üzere, SPC (Specific Power Consumption) belirli bir hissedilir konfor yükünü karşılamak için sarf edilen sistem enerjisidir [10]. Görüldüğü üzere en az enerji tüketimi ile belirli bir ısı konforu gerçekleştirmek için PR değeri 0.6 dolayındadır. Bu da insanın yapısı gereği en uygun ışınım ve taşınım ısı transfer oranı ile örtüşmektedir. Bu örtüşüm ışınımsal levhaların (Radiant Panel) ışınım ve taşınım ile ısı geçiş oranı için de aynen geçerli olmaktadır. Sonuç olarak, bu parametre için bulunan en uygun değer (yaklaşık 0.6) insan için objektif ve sübjektif konfor toplamı açısından ve ışınımsal levhaların performans özelliği açısından örtüşmektedir.

Diğer ilginç bir örtüşüm de akılcı ekserji verimi  $\psi_R$  in en yüksek olduğu noktadır (Şekil 5).



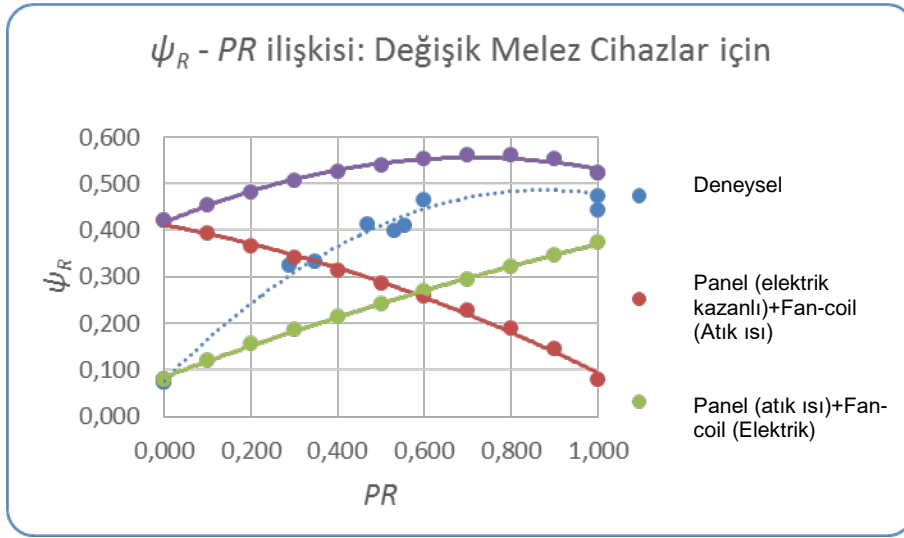
Şekil 5. Akılcı Ekserji Veriminin PR değeri ile değişimi [14, 15, 16]

Burada, Akılcı Ekserji Yönetimi (Rational Exergy Management Model: REMM) Verimi,  $\psi_R$ , bir sistemin ideal Karno Çevrimi tabanındaki birim ekserji talebinin ( $\epsilon_{dem}$ ) karşılandığı enerji kaynağının birim ekserjisine ( $\epsilon_{sup}$ ) olan dengesinin bir ölçütüdür ve bu iki birim ekserji değeri süreç içerisinde birbirine ne kadar yakınsarsa ( $\psi_R \rightarrow 1$ ) ekserji yıkımları ( $\epsilon_{des}$ ), [8] ve yıkımlara bağlı önlenebilir CO<sub>2</sub> salımları ( $\Delta CO_2$ ) da o denli azalır (Denklem 14).

$$\psi_R = \frac{\varepsilon_{dem}}{\varepsilon_{sup}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{dem}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{sup}}\right)} \quad \{\text{Ekserji yıkımı talepten önce}\} \quad (4)$$

$$\psi_R = 1 - \frac{\varepsilon_{des}}{\varepsilon_{sup}} \quad \{\text{Ekserji yıkımı talepten sonra}\} \quad (5)$$

Şekil 6 da ise bu değişimlerin değişik cihaz kombinasyonları ile olan ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 6. Akılcı ekserji veriminin değişik melez cihazlar için  $PR$  ile değişimi [14, 15, 16].

Her ne kadar  $PR$  değeri nereden bakılırsa bakılsın 0.6 dolayında en uygun sonuçları verdiği görüldüğü de gelinen bu noktada genel bir en uygun  $MRT$  değerinin bulunması için bir Ekserji Tabanlı Amaç Fonksiyonunun ( $OF_{ex}$ ) ve bunu çözümlenecek bir eniyileme algoritmasının parametrelerinin ağırlıklı olarak yazıldığı bir şekilde hazırlanması ve bunun tasarımda olsun işletmede olsun uygulanması kaçınılmaz olmaktadır.

## EN İYİLEME ALGORİTMASI

Tüm etmenlerin değişik ağırlıklarda değerlendirildiği bir eniyileme algoritması geliştirilmiştir. Bu algorithmada aşağıdaki ana etmenler ağırlıklandırılmıştır:

- 1- Konfor:  $F_1$  ve  $F_2$  terimleri
- 2- Ekonomi:  $F_3$  ve  $F_4$  terimleri

$$OF_{ex} = \left(\frac{a_1}{c_1}\right) \cdot F_1 + \left(\frac{a_2}{c_2}\right) \cdot F_2 + \left(\frac{a_3}{c_3}\right) \cdot F_3 + \left(\frac{a_4}{c_4}\right) \cdot F_4 \quad \{\text{Minimize edilecek}\} \quad (6)$$

Burada  $a_i$  değerleri ağırlık oranı,  $c_j$  değerleri ise benzer mertebeye getirme katsayılarıdır. Bu amaç fonksiyonunun eniyileme değişkenleri  $\psi_R$  ve  $\varepsilon_H$ ,  $PR$ , ve akışkan sıcaklıkları  $T_f$  ve  $OT$  dir.  $OT$  nin kısıtları ise ASHRAE Konfor Diyagramı ile Shukuya diyagramıdır.

$OF_{ex}$ , ekserji tabanlı olup ASHRAE konfor parametrelerine (Örneğin  $PMV$ ) ekserji terimleri eklenmiştir (Örneğin  $\psi_R$  ve  $\varepsilon_H$ ).

$$F_1 = 1/PMV' \quad (7)$$

$$PMV' = PMV + a(0.6 - PR)^2 + b\varepsilon_H + c \left( \frac{IAQ}{IAQ_{ref}} \right) \quad (8)$$

$$F_2 = \bar{\psi}_R = \frac{\psi_{RC} + \psi_{RR}}{1.4 + PR} \quad (9)$$

Burada  $\psi_{RR}$  tasarımı yapılmakta olan bir projedeki ışımsal sistemin akılcı ekserji verimi,  $\psi_{RC}$  ise taşınımsal sistemin akılcı ekserji verimidir.  $IAQ$  iç ortam kalitesi indeksi olup görüldüğü üzere bu amaç fonksiyonu konfor ortamını da gözetmektedir.

$$F_3' = \left( 1 - \bar{\psi}_R \right) \quad (10)$$

$$F_3 = \left( \frac{1}{F_3'} \right) \quad (11)$$

$$F_4' = \left[ c_1(T_{f1} - OT) + \dots + c_n(T_{fn} - OT) + \frac{c_{n+1}}{(T_{f_{n+1}} - OT)} \dots + \frac{c_{n+m}}{(T_{f_{n+m}} - OT)} \right] + \frac{c_e}{\bar{\psi}_R} \quad (12)$$

Burada  $n$  kadar ısıtma cihaz türü ve  $m$  kadar enerji dönüşüm sisteminin olduğu varsayılmaktadır. Son terim ise akılcı ekserji veriminin çevreye olan etkisini temsil etmektedir.  $T_{fn}$  cihazı işleten tasarım akışkan sıcaklığı,  $T_{fn}$  ise ısı pompasından veya kazandan talep edilen akışkan sıcaklığıdır.

$$F_4 = \left( \frac{1}{F_4'} \right) \quad (13)$$

## ÖRNEK MELEZ SÜRDÜRÜLEBİLİR DÜŞÜK EKSERJİLİ CİHAZLAR

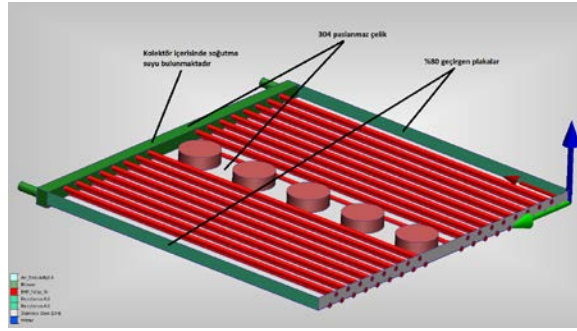
Yukarıda en iyilenen parametreleri uygulamada gerçekleştirebilecek düşük ekserjili ve verimli sistemler atık ısı veya yenilenebilir enerji kaynaklarının harmanlanması ile tasarlanıp uygulanabilir. Örnek sistemler aşağıda gösterilmiştir.





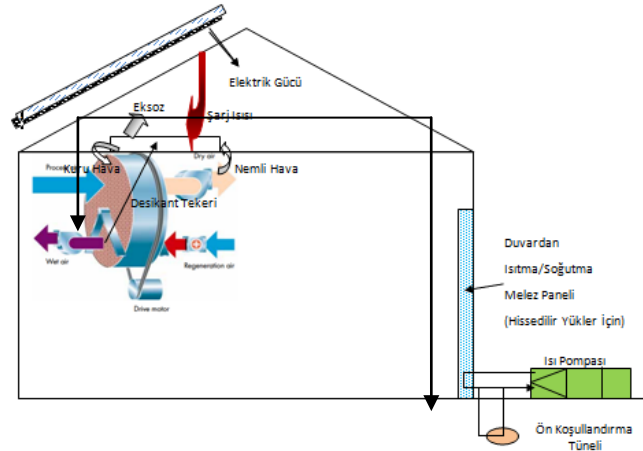
**Şekil 7.** Melez Işınımsal/Taşınımsal melez klima duvarı [EİEİ Örnek Ev: 8].

Bu melez duvar alttan çektiği ortam havasını kendi yüksekliği boyunca içerden koşullandırıp duvardaki mikro deliklerden ortama üflediği gibi duvarın kendisi arkasında döşeli su boruları tarafından ısıtılıp soğutulduğundan ışınımsal bir yüzey oluşturmaktadır.  $PR$  oranı en ekonomik işletim için sürekli denetlenmektedir.



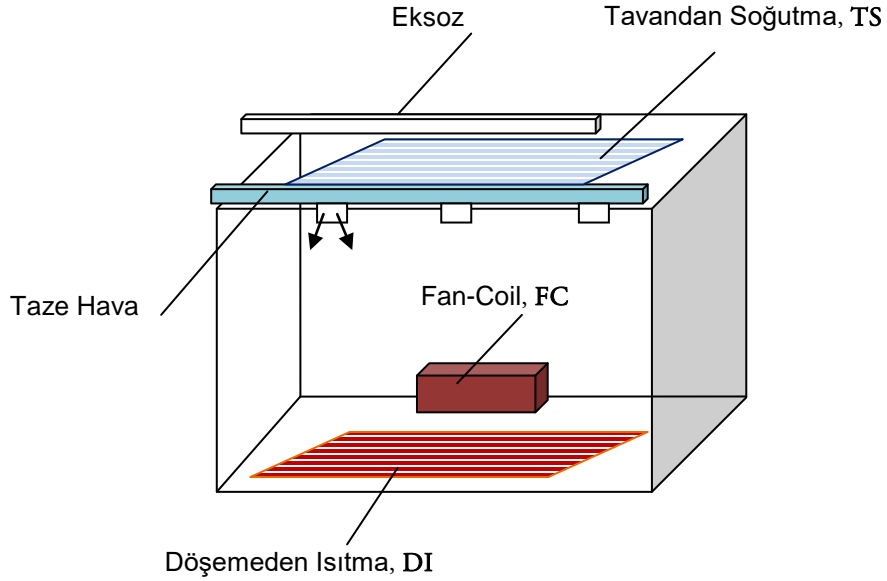
**Şekil 8.** Isı Borulu Tavandan Işınımsal/Taşınımsal ısıtma soğutma paneli [17].

Tavandan soğutmada su borularındaki basınç kayıplarını azaltmak üzere Şekil 8 de görülen sistem geliştirilmiştir. Ana kollektörden beslenen ısı boruları ısıyı panel yüzeyine yaymakta ufak fanlarla da ısı taşınımı gerçekleştirilmektedir. Fan hızı, su debisi ve sıcaklığı ayarlanarak en uygun  $\psi_R$  oranı ve yüke göre kapasite denetlenmektedir.



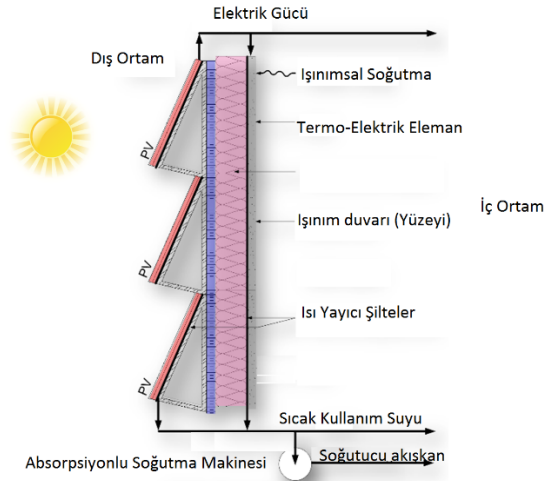
**Şekil 9.** Güneş enerjili PVT, desikant nem alıcı, toprak kaynaklı ısı pompası ve panel ısıtma soğutma melezi. Şekiller ölçekli değildir [8].

Bu sistemde panel sistemlerin gerçekleştiremediği nem denetimi desikant tekeri ile gerçekleştirilmektedir. PVT gücü ile toprak kaynaklı ısı pompası tahrik edilmektedir.



**Şekil 10.**Piyasada mevcut standart cihazların melezi [8].

Bu basit sistemde ise piyasada çok yaygın kullanılan sistemlerle de ek bir bilgi birikim olmaksızın sadece Fan-Coil ve Döşemeden Isıtma yük paylaşımını ve su sıcaklıklarını eniyileyerek yenilikçi bir melez sistemin yapılabileceği görülmektedir.



**Şekil 11.** Bina cephesine tümleşik PV ve TEG melezi elektronik ısıtma ve soğutma sistemi [18].

Bu sistemde ise binayı oluşturan bir melez tuğla sistemi bulunmaktadır. Bu tuğlaların her birinin dış cephelerinde PV modüller bulunur. Elde edilen elektrik gücünün bir bölümü kullanılarak iç ortama bakan yüzeyine tümleştirilmiş termo-elektrik modüller (TEG) aracılığı ile hissedilir soğutma yapılmaktadır. PV ve TEG lerin ısıları ise ısı yayıcı şilte, ısı borusu veya sulu sistemle çekilerek aynı zamanda ısı da üretilmektedir. Kış aylarında ise TEG lere verilen doğru akımın kutbu değiştirilerek (+/-) ortam ısıtması da yapılabilmektedir.

## SONUÇ

Bu makalede insan konforunun çeşitli fakat çoğu kez ihmal edilen boyutları tartışılmıştır. Sonuçlar konforun sadece melez HVAC sistemleri ile ısıtım ve taşıma yolu ile ısı geçiş oranının hem sistem tasarımında hem işletmede en iyilenerek gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Bu bağlamda sadece operatif sıcaklıkları ölçmek veya tasarımda kullanmak da yeterli değildir. Artık operatif sıcaklık ölçerler pratik anlamda piyasada bulunabilmektedir. Bu ölçerlerin bir tasarım ve işletim eniyileme algoritması ile tümleşmesi ile en tatminkâr konfor düzeyi sağlanabilecektir. Operatif sıcaklık ölçerlerin ise bu algoritmayla uyumlu olabilmeleri için sadece operatif sıcaklığı değil ısıtım ve taşıma sıcaklık ve ısı transfer kısımlarını da vermesi gerekmektedir. Tüm bunların ötesinde akılcı ekserji verimi,  $\psi_R$  nin de eniyilenmiş olması CO<sub>2</sub> salımlarının da en az düzeye indirilmesini sağlamaktadır:

$$\Delta CO_2 \propto (1 - \psi_R) \quad (14)$$

Bu orantıda  $\psi_R$  değerinin artması ile ekserji yıkımlarına bağlı (Önlenebilir) salımların azaldığı görülmektedir. Şekil 5 de görüldüğü üzere  $PR$  değeri aynı zamanda  $\psi_R$  değerini de en üst düzeye çıkarabilmektedir. Böylelikle insan konforunda önemli bir yeri olan  $PR$  değerinin aynı zamanda CO<sub>2</sub> salımları ile de doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Dolayısı ile ilk bakışta insan konforu ile çevre duyarlılığının çeliştiği gibi bir izlenim olsa da eniyileme algoritması kullanılarak gerçekleştirilecek bir bütüncül yaklaşımda böyle bir sorun olmadığı anlaşılmaktadır. Bunun ön şartı ise melez HVAC sistemlerinin kullanılmasıdır.

## KAYNAKÇA

- [1] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE: Atlanta,
- [2] ASHRAE, Panel heating and cooling, in: *ASHRAE HVAC Systems & Equipments*, ASHRAE 2008, 2016, pp. 6.1–6.21.
- [3] Kılış, İ.B., Equipment Oversizing Issues with Hydronic Heating Systems, *ASHRAE Journal*, Vol. 40, No.1, Atlanta, January, 1998, pp. 25–31.
- [4] IEA Annex 37-LowEx. 2002. IEA Annex 37 News No:5-Human Body Exergy Consumption and Thermal Comfort, IEA Annex 37-LowEx.
- [5] B. Kilkis. 2009. A dynamic operative temperature sensor for low-exergy high performance buildings, *ASHRAE Transactions*. 116 (Pt. 2) 108–115.
- [6] Kilkis, B. An analytical optimization tool for hydronic heating and cooling with low-enthalpy energy resources *ASHRAE Transactions* 2012; 108-2: 988-996.
- [7] B.I. Kilkis. 2006. Optimization of a hybrid HVAC system with composite radiant wall panels, *Applied Thermal Engineering*. 10–17.
- [8] Kılış, B. and Kılış, Ş. 2015. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birleşik ısı ve güç üretimi TTMD, 32, ISBN978-975-6263-25-9, Doğa Basımevi, İstanbul.
- [9] Kilkis, B., Kilkis, Şiir, Kilkis, Şan, Optimum hybridization of wind turbines, heat pumps, and thermal energy storage systems for nearly zero-exergy buildings (nZEXB) using rational exergy management model, 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam, 15-18 Mayıs, Rotterdam
- [10] B.I. Kilkis, S.R. Suntur, M. Sapci, Hybrid HVAC systems, *ASHRAE J.* 37 (December), 1995, 23–28.
- [12] ANSI/ASHRAE-Standard 138, Standard 138-Method of Testing for Rating Ceiling Panels for Sensible Heating and Cooling, ANSI/ASHRAE, Atlanta, 2013.
- [13] M.F. Evren, A.K. Özsunar, B. Kilkis. 2015. A controlled HVAC test chamber design and calibration through different operative temperature measurements techniques, in: Turkish National HVAC&R Congress (TESKON) 2015, Izmir, Turkey.
- [14] M. F. Evren, B. Kilkis, An Exergo-Parametric Study of Hybrid Heating Systems, Seminar 73, ASHRAE Winter Meeting, Las Vegas, 1 February, 2017.
- [15] M.F. Evren. , 2015. Experimental investigation of optimum radiant to convective split ratio for hybrid HVAC systems, in: M.Sc. Thesis, Gazi University, Ankara.



- [16] Evren, M. F., Ozsunar, A., Kilkis, B. 2016. Experimental Investigation of Optimum Radiant to Convective Heat Transfer Split for Hybrid Heating System, *Energy and Buildings*, V. 127 pp: 66-74.
- [17] Birol Kılış, Tuğberk Ozar, Ali Suavi Aktun. Energy and Exergy Analysis of Water and Air-Cooled PVT Systems with Heat Pipe Technology for Sustainable Buildings. XII TTMD Int. Symposium: İstanbul, 28/03/2016 - 02/04/2016.
- [18] Bean, R. and B. Kilkis, Fundamentals of Panel Heating and Cooling, ASHRAE Advanced Learning Institute (ALI) Continuing Education Course Notes, first delivered at: ASHRAE Winter Meeting, Chicago, 2003, repeated in 2006, revised in 2010.

## ÖZGEÇMİŞ

### **Birol KILKIŞ**

Dr. Kılış, 1949 yılında Ankara da doğdu. 1970 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümünden yüksek şeref derecesi ile mezun oldu. Aynı bölümden Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini alarak von Karman Enstitüsünden Akışkanlar Mekaniği dalında şeref derecesi ile mezun oldu. 1981 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülünü Kazandı. ASHRAE Yüksek Performans Binaları Komitesi üyesi ve ASHRAE TC 7.4 *Sürdürülebilir Binalar İçin Ekserji Analizi* Teknik Komitesi Kurucu Başkanıdır. Diğer beş teknik komitenin de üyesidir TTMD nin de kurucu üyelerindedir. Halen Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosunda hizmet vermektedir. Ayrıca Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Ana Bilim Dalı Başkanı olup Avrupa Birliği Isıl Güneş Enerjisi Platformu Yönetim Kurulu Üyesidir.