



**bu bir MMO
yayımdır**

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Bina Isıtmasında Radyant Isıtma

**Yaşar İSLAMOĞLU
Kemal ERMiŞ
Mehmet YILMAZ**

Sakarya Üni.
Müh. Fak. Makina Müh. Böl.

BİNA ISITMASINDA RADYANT ISITMA

Yaşar İSLAMOĞLU
Kemal ERMİŞ
Mehmet YILMAZ

ÖZET

Ülkemizde binalar için harcanan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma için kullanılmaktadır. Günümüzde yüksek, büyük hacimli binaların ısıtılmasında güçlü bir alternatif olarak karşımıza radyant ısıtma çıkmaktadır. Radyant ısıtma sistemleri LPG yakar hale dönüştürülmelerinin kolaylığı nedeniyle doğalgazın ulaşamadığı yörelere de uygulanması mümkündür.

Bu çalışmada, radyant ısıtmanın genel prensipleri açıklanmış ve yaygın olarak kullanılan radyant ısıtıcılar hakkında bilgi verilmiştir. Mahale yeterli miktarda enerji vermek ve mahalde bulunanların konforunun sağlanması bakımından önemli olduğu düşünülen radyant ısıtma kavramları konfor parametreleri ile birlikte açıklanmıştır. Ayrıca radyant ısıtma sistemleri konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

İnsanlar daha rahat bir hayata kavuşabilmek için yaşadıkları ortamın şartlarını devamlı değiştirmeye çalışmışlardır. Yirmibirinci yüzyıla yaklaştığımız şu günlerde teknoloji hayatımızın içinde tümüyle yer almaya başlamıştır. Modern teknoloji sayesinde doğadaki sorunları aşmasını bilen insan, yeni buluşlarla yaşamı kolaylaştırmanın yollarını öğrenmiştir. Havanın kontrol edilmesi insanların bu alanda yaptıkları yeniliklerden biridir.

Isıtma sistemleri yaşantımızda hep yer almış olup önemini sürekli olarak korumuşlardır. Isıtmanın bir harcama değil, verimliliğini ispatlamak zorunda olan bir yatırım olduğu düşünülmeli; tercih edilecek olan sistem, diğer ısıtma sistemlerine göre gerek ekonomiklik ve emniyet gerekse konfor açısından üstün özelliklere sahip olmalıdır. Radyant ısıtma sistemleri ülkemizde, 6-7 yıllık tanıtım-uygulama süreci sonucunda, bilinen sıcak hava üfleme merkezli ısıtma sistemlerine karşı üstünlükleri ispatlanmış olup özellikle büyük hacim ısıtmalarında tercih edilmektedir.

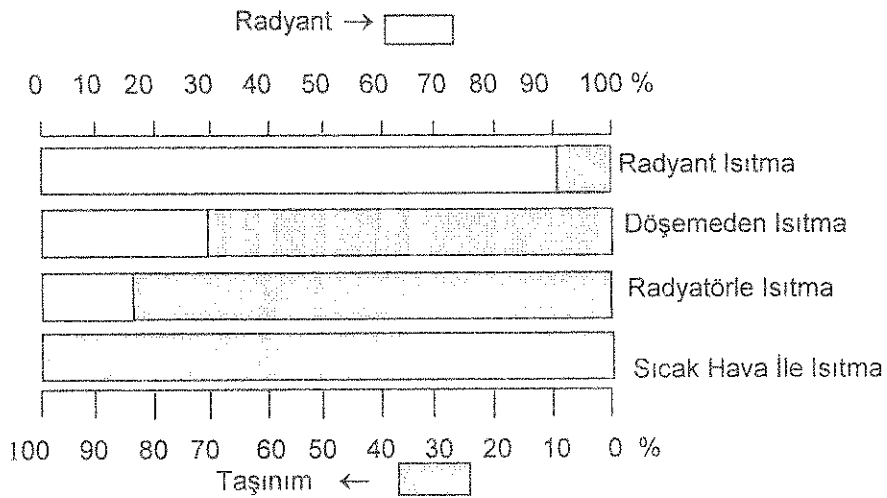
RADYANT ISITMANIN GENEL PRENSİPLERİ

Radyant ısıtma, prensip olarak kalorifer, sıcak hava ile ısıtma gibi konvansiyonel sistemlerden çok daha farklıdır. Radyant ısıtma haricindeki her türlü ısıtma sistemlerinde taşınım ve ışınım birlikte bulunurlar. Radyant sistemlerde ise taşınım, toplam ısı transferinde çok küçük bir oranda kalmakta olup, ısıtma ışınım ile gerçekleştirilir. Farklı tiplerdeki ısıtma sistemleri için taşınım ve radyant ısı geçiş oranları [Şekil 1]'de gösterilmiştir.

Sanayi tesislerinde kullanılan ısıtma sistemlerini başlıca ikiye ayırabiliriz [1]:

- 1) Taşınım ile ısı geçişi sağlayan (Konvektif) ısıtma sistemleri,
- 2) Işınım ile ısı geçişi sağlayan (Radyant) ısıtma sistemleri.

Bütün cisimler yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak ışınım yayarlar. Yayılan ışınım maddesel ortam olmaksızın her yönde yayılır. Radyant ısıtma sistemleri enerjiyi, infraruj (kızılötesi) ışınlar ile yayarlar. Infraruj, elektromagnetik dalgalar vasıtasıyla enerjinin iletilmesidir. Infraruj ışınları gözle görülmezler ve ışık hızıyla hareket ederler. Görülebilir ışıktan biraz daha uzun dalga boyu olan infraruj ışınları 0.7 ile 400 μ ($1\mu = 10^{-6}$ m) dalga boyu aralığındadır. Bununla beraber radyant ısıtma sistemlerinde ışınlar 2-12 μ dalga boyuna sahiptir. Kişilerle birlikte infraruj spektrumu alan mahal içerisindeki döşeme, cihazlar, duvar gibi elemanlar da ısıtılır. Isınan cihazlar ve bina yapısı taşınım ile ısı geçişi sağlayan çok önemli bir ısı kaynağı haline gelir. Isınmış yüzeylerden taşınım ile ısı geçişi sonucu havanın sıcaklığı artar [2,3,4].



Şekil 1. Isıtma Sistemlerinde Isı Geçiş Oranları [5]

Radyant ısıtma sistemlerinin avantajlarının anlaşılması bakımından aşağıda infrarujun faydaları açıklanmıştır.

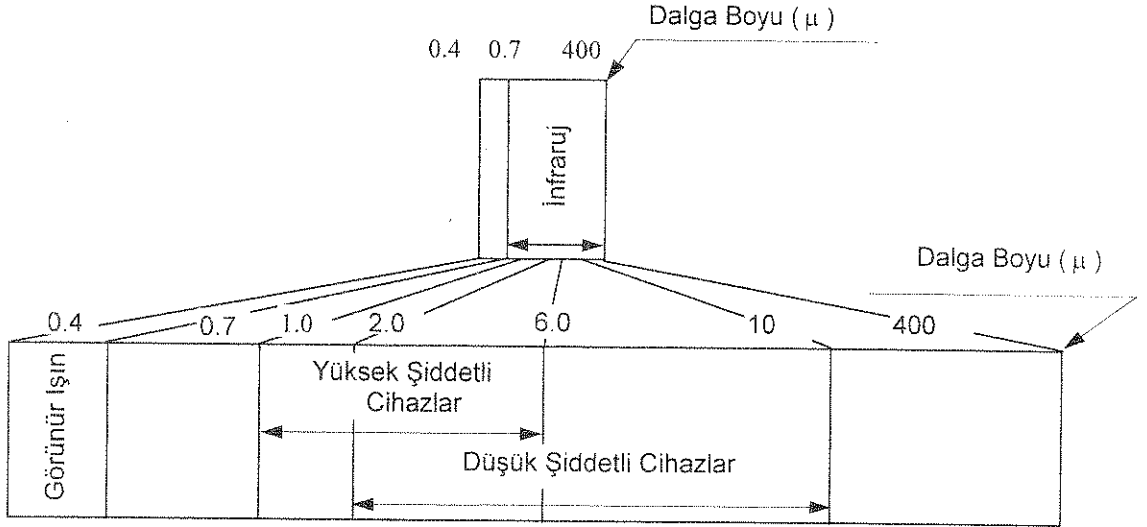
Radyant ısıtma sistemlerinde infraruj enerjisi cisimleri, insanları ve yüzeyleri ısıtır. Havada bulunan su buhari ve karbondioksit radyant enerjiyi yutmalarına rağmen adı geçen maddelerin miktarı az olduğundan havadaki ısınma ihmal edilir. Cisimler ve döşemeye gelen enerji ısıya dönüşür. Bu ısı,

- Döşeme ve cisimlerin ısınıp ısıtılarak onların ısı deposu haline gelmesini sağlar.
- Taşınım yoluyla ısı geçişi sayesinde havayı ısıtır.
- Ortamda bulunan diğer yüzey ve cisimlere geçer.
- Ortam içerisinde havanın tabaka teşkil etmesi azaltılmış olur. Hava direkt olarak ısıtılmadığı için tavandan döşemeye doğru homojen bir ısı dağılımı sağlanır.
- Üst katmanlardaki hava sıcaklığının konvansiyonel sistemlere göre daha az olmasından dolayı çatı ve üst duvar civarındaki çatlak ve deliklerden sızıntı nedeniyle oluşacak hava değişim ısı kaybı daha az olur. Günümüzde infraruj ısıtma cihazlarının en çok kullanılan tipleri için infraruj spektrumlar [Şekil 2]'de gösterilmiştir [4].

RADYANT ISITMA CİHAZLARININ TİPLERİ

Günümüzde en çok kullanılan infraruj cihazları iki türdedir.

- 1) Yüksek yoğunluklu (şiddetli) cihazlar,
- 2) Düşük yoğunluklu (şiddetli) cihazlar.



Şekil 2. Infraruj Spektrum [4]

Yüksek yoğunluklu cihazlar açık bir alev ve yüksek sıcaklığa sahip (1000 °C nin üzerinde) seramik yüzeyli cihazlar olarak tanımlanmıştır. Çok yüksek mahaller için uygun olan bu tip cihazlar spot ısıtma uygulamaları yani büyük bir mahalin sadece istenilen bölümünün ısıtılması için uygundur. Cihaz açık alevli olduğundan mahalin iyice havalandırılması gerekir.

Düşük yoğunluklu cihazlar, bir tüp veya tüp ağzı içinde maksimum 480-540 °C sıcaklıkta alev içeren cihazlar olarak bilinir. Bu tip cihazlar ortamın tamamının ısıtılması istenen yerlerde kullanılır. Düşük yoğunluklu cihazlar yüksek yoğunluklu cihazlara göre daha fazla tercih edilmektedir. Bunun nedeni düşük yoğunluklu cihazların daha ucuz, uygulamasının daha kolay olmasıdır. Endüstriyel ticari geniş mekan ısıtmasında esas olarak dört farklı radyant ısıtma sistem seçeneği vardır.

- 1) Yüksek sıcaklıklı (2000 °C) elektrikli çubuk ısıtıcılar,
- 2) Düşük sıcaklıklı (1000 °C) gaz yakmalı açık alevli seramik ısıtıcılar,
- 3) Orta sıcaklıklı gaz yakmalı çelik borulu ısıtıcılar:
 - 500 - 650 °C Bacasız radyant ısıtıcılar,
 - 500 - 650 °C Bacalı radyant ısıtıcılar.
- 4) Düşük sıcaklıklı (110 °C) su yada buhar taşıyıcılı radyant ısıtıcılar. Bu sistemler [Tablo 1]'de kabaca karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Radyant Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırılması [1]						
Sistem	Yatırım Maliyeti	Konfor	Yükseklik (m)	Havalandırma Gereklinimi	Düşük Enerji Binaları	Yüksek Enerji Binalar
Çubuk Isıtıcılar	Düşük	Bölgesel	3	Az	Hayır	Evet
Taşlı Isıtıcılar	Düşük	Bölgesel	3 - 12	Fazla	Hayır	Evet
Bacasız radyant ısıtıcılar	Düşük	Eşit dağılım	4 - 15	Fazla	Hayır	Evet
Bacalı radyant ısıtıcılar	Yüksek	Eşit dağılım	4 - 15	Az	Evet	Evet
Düşük sıcaklıklı radyant ısıtıcılar	Oldukça yüksek	Eşit dağılım	4 - 5	Az	Evet	Hayır

Not : Düşük enerji binaları çok iyi yalıtılmış hava değişimi gerekli olan ve en alt seviyede tutulan binalardır. Yüksek enerji binaları ise bunun tam tersi kötü yalıtılmış ve hava değişiminin kontrolsüz olduğu binaları içermektedir.

Düşük sıcaklıklı radyant ısıtma sistemleri geniş yüzeylere sahip (döşeme, duvar) gibi yerler için kullanılırlar. Yüzey sıcaklığı, çok sıcak su boruları ile veya yüzeyin içine gömülü elektrik direnç teli vasıtasıyla artırılır. Bu tip ısıtma sistemleri düşük enerji binaları için ve de işletmede başka amaçlar için kullanılan kazan yada atıl buhar / sıcak su varsa önerilir [1,5,6,7].

Açık alevli seramik radyant ısıtıcılar (seramik taşlı) ısıtıcılar ülkemizde yaygın olarak kullanılmamakla beraber özellikle bölgesel ısıtma için uygun olabilirler. Ancak alevi bozacak şekilde bir hava akımının olmaması gerekir.

Çubuk ısıtıcıların işletme maliyeti, elektrik enerjisi kullanmaları nedeniyle çok yüksektir. O nedenle bu tip ısıtıcılar ancak büyük mağazaların giriş kapılarında yada benzeri yerlerde kullanılırlar. Bu sistemlerin dünyada ve ülkemizde kullanımları çok sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle ısıtma cihazlarının tipleri incelenirken orta sıcaklıklı gaz yakmalı çelik borulu tüp ısıtıcılar hakkında daha fazla bilgi verilecektir. Bu tip ısıtıcılar:

1) Bacalı (yanma gazlarını ısıtılan mekanın dışına bırakan) radyant sistemler,
2) Bacasız (yanma gazlarını ısıtılan mekanın içine bırakan) radyant sistemler şeklinde sınıflandırılmasına karşın, ticari modeller ve uygulama seçenekleri düşünüldüğünde bu sınıflandırma yetersiz kalmaktadır. Bunun yerine aşağıdaki gibi sınıflandırma yapmak daha uygun olacaktır [8]:

- 1) Bireysel Vakum Fanlı Radyant Isıtıcılar
U tipinde çelik borulu ısıtıcılar,
Doğrusal tip çelik borulu ısıtıcılar.
- 2) Merkezi Vakum Fanlı Radyant Isıtıcılar
Birbirine seri bağlı ısıtıcılar,
Egzost sistemine paralel bağlı ısıtıcılar.

BİREYSEL VAKUM FANLI ÇELİK BORULU RADYANT ISITICILAR

Bu tip ısıtma sistemlerinde yanmış gazlar ortama bırakılabileceği gibi egzost boru bağlantılarıyla ayrı ayrı çatı veya yan duvarlardan tahliye edilebilir. Mekanda yeterli miktarda havalandırma yoksa ve gerekli ısıtıcı sayısı fazla ise tercih edilmemelidir. Ancak havalandırmanın yeterli olması durumunda sıcak yanmış gazlar ortama bırakılabileceğinden toplam ısı verim bakımından sistem avantajlı bir konuma gelir. Merkezi vakum fanlı ısıtıcılara göre çelik boru yüzey sıcaklıkları daha fazla (400 - 500 °C) olduğundan daha yüksek radyant verime sahiptirler. Bu nedenle özellikle kötü izolasyonlu 4 m ve daha yukarısı gibi yüksek tavanlı uygulamalar için daha uygundur. Bu tip ısıtıcılar çalışma yerlerine bağlı olarak tavan, yan duvar gibi farklı uygulamalara yanıt verebilirler.

U Tip Çelik Borulu Radyant Isıtıcılar

Isıtıcı tiplerine bağlı olarak, ısıtıcıların toplam uzunluğu 3.5 ile 6 m arasında değişmektedir. Boru yüzey sıcaklığı brülörden uzak bölgelerde 150 °C ' ye kadar düşer. Bu nedenle brülöre yakın ve uzak bölgelerde ışınlam şiddeti farklılaşır. U şeklindeki borularda en sıcak ve en soğuk yüzeyler karşı karşıya getirilerek ısıtıcı boyunca daha homojen bir ısıtma gücü elde edilir. Vakum fanı için gerekli olan elektrik gücü hemen yanındaki brülör kutusundan alındığından elektrik donanım maliyeti azalır.

Doğrusal Tip Çelik Borulu Radyant Isıtıcılar

Toplam ısıtıcı uzunluğu U tipine oranla yaklaşık iki katı olmakta ve ısıtıcı kapasitelerine bağlı olarak 6.5 ile 13 m arasında değişmektedir. Kullanılan elemanlar U tipinde kullanılanlarla aynı olup, çok kesin çizgilerle ayrılacak önemli farklılıkları yoktur.

MERKEZİ VAKUM FANLI RADYANT ISITICILAR

Bu tip ısıtıcılarda yanmış gazlar ortama bırakılmaksızın tek bir bacadan tahliye edilir.

Birbirine Seri Bağlı Isıtıcıların Oluşturduğu Sürekli Tip Isıtıcılar

Bu sistemde çelik boru üzerinde belli mesafelerde brülör saplaması yapılır ve en son çelik boru ucunda yüksek vakumlu fan yerleştirilerek sistem bütünü oluşturulur. Her bir brülör arasındaki mesafe dizayn ve ısıtıcı kapasitesine bağlı olarak 3 ile 20 m arasında değişir. Bir fana bağlanabilecek toplam güç yaklaşık olarak 400kW, sistem bütünündeki her brülörün kapasitesi de yaklaşık olarak 10 ile 60 kW arasında olmaktadır. Sürekli tip radyant ısıtıcılar bireysel vakum fanlı ısıtıcılara göre daha düşük radyant boru sıcaklığına ve dolayısıyla daha düşük güce sahiptirler. Çelik boru yüzey sıcaklığına karşılık gelen yaklaşık radyant güçler [Tablo 2]’de verilmiştir.

Sıcaklık (°C)	40	90	150	205	260	315	370	425	Ortalama sürekli tip sıcaklık	480	540	Ortalama U tip sıcaklık	590	650	700
Yayıdığı Güç (kW/ m ²)	0.5	1.0	1.8	3	4.6	6.8	9.8	13.7		18.6	24.7		32.1	41.2	52

Bu tip sistemlerin düşük güce sahip olmalarından dolayı yüksek tavanlı, düşük yalıtımlı mekanların aksine, düşük tavanlı (yaklaşık 4 m) iyi izolasyonlu ve bacalı uygulama zorunluluğu gerektiren mekanlar için daha uygun bir sistem olarak karşımıza çıkar. Bu sistemde gazın radyant boruyu terkediş noktasındaki sıcak 60 - 90 °C dir. Bireysel vakum fanlı ısıtıcılarda ise 180 - 220 °C dir. Bu sistemler noktasal yada çok dar bölgesel amaçlı ısı kontrol için uygun değildir. Ayrıca herhangi bir ısıtıcının arızası halinde sistem bütün olarak kapatılıp onarım işlerinden sonra devreye alınabilir.

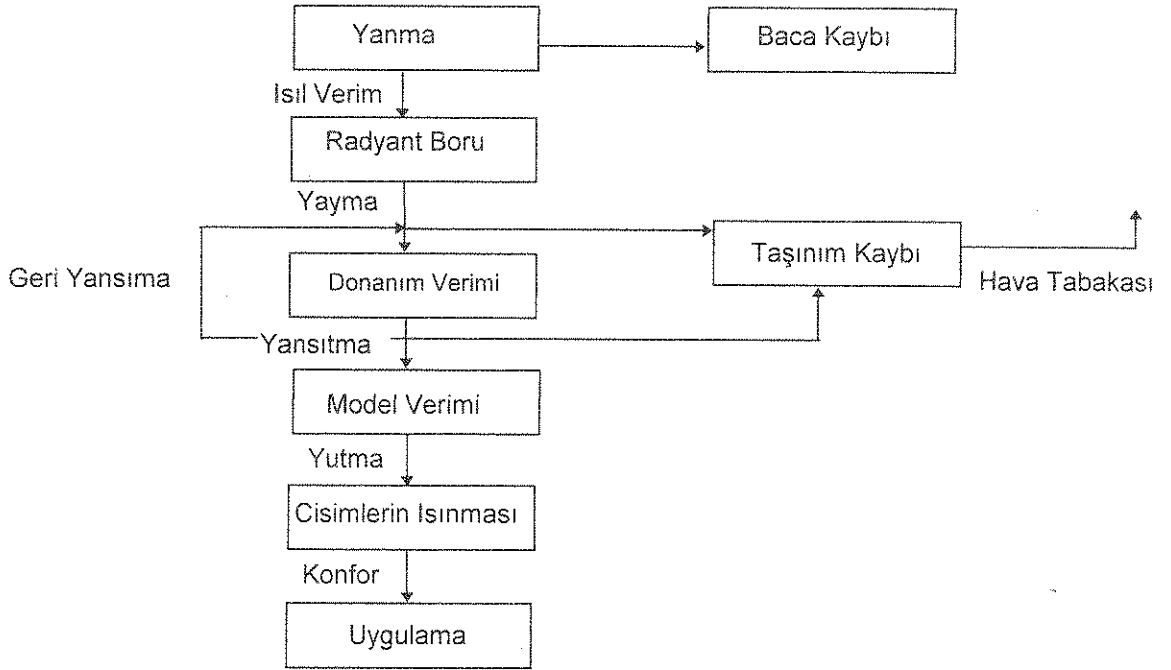
Egzost Sistemine Paralel Bağlı Tip Isıtıcılar

Bu sistemler sürekli tip sistemlere göre daha yüksek radyant boru sıcaklığı, yüksek ışımaya ve yüksek radyant verime sahip olduklarından yüksek tavanlı tek bacalı uygulamalar için daha uygundur. Her bir brülör yanma ayar ve dengeleri açısından bağımsız olduklarından bakım - onarım ve devreye alma işlemleri sürekli tip sistemlere göre daha kolaydır [11,12].

RADYANT ISITMA KAVRAMLARI

Radyant ısıtma uygulamalarında, mahale yeteri miktarda enerji vermek ve mahalde bulunanların konforunun sağlanması bakımından bazı kavramların anlaşılması önemlidir. Radyant ısıtma sistemiyle ilgili olan aşağıda sıralanan kavramların önemini anlaşılması sistemin yüksek verimle çalışmasına imkan tanıyacaktır. Radyant ısıtma uygulamasının kullanımına etki eden faktörlerin şeması [Şekil 3]’de gösterilmiştir.

- Yayıcılık (emissivity),
- Yansıtıcılık (reflektivite),
- Taşınım kayıpları,
- Donanım (fixture) verimi,
- Model (pottern) verimi,
- Yutuculuk (absorptivity).



Şekil 3. Radyant Isıtma İçin Enerji Akım Şeması [4].

Isıl Verim

Radyant ısıtma uygulamasında ısı verim, mevcut enerji çıkışının girilen toplam enerjiye oranı olarak tarif edilir. Pratik olarak,

Isıl verim = Toplam giriş enerjisi - Baca kaybı, bağıntısıyla hesaplanır. Baca kayıplarının azaltılması ile ısı verim artar. Baca kayıplarının azaltılması için de duman gazı sıcaklığının azaltılması gerekir. Ancak duman gazı sıcaklığının azaltılmasından dolayı yoğuşma olabilir. Çeşitli sistemler için ısı verim aralığı %70 ile %90 arasında değişmektedir [4].

Yayıcılık

Yayıcılık malzemeye ait bir özellik olup bir yüzeyin toplam yayma gücünün aynı sıcaklıktaki siyah yüzeyin toplam yayma gücüne oranıdır. Siyah cisim üzerine düşen ışınımın tamamını yutan veya yayan cisim olup yayma sayısı bir olan teorik bir kavramdır. [Tablo 3], bazı malzemelere ait yayma katsayılarını göstermektedir.

Tablo 3. Bazı Malzemelerin Yayma Katsayıları [2,8,9,10]		
Malzeme	Yayma katsayısı	Sıcaklık (°C)
Alüminyum (Çok parlatılmış)	0.039-0.057	237-576
Alüminyum (Pürüzlü parlak)	0.18	100
Dökme demir	0.44	22
Dökme demir (parlatılmış)	0.21	200
Kalay	0.043-0.064	23
Nikel (Parlatılmış)	0.07	260
Çelik (Parlatılmış)	0.066	100
Galvanize çelik	0.028	40
Paslanmaz çelik (tip.301)	0.16	23
Alüminyum	0.10 - 0.20	40

Radyant ısıtma sistemlerinde toplam yayma gücü (bir yüzeyin birim alanından birim zamanda bütün dalga boylarında yaydığı ışınım) Stefan-Boltzmann Kanunu yardımıyla hesaplanır.

$$Q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (1)$$

Bu eşitlikte:

Q : Işıma gücü (W/m²),

σ : Stefan-Boltzmann katsayısı (sabiti) $(5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4})$

ε : Yüzeyin yayma katsayısı

T : Yüzeyin mutlak sıcaklığıdır. (°K)

Yansıtıcılık

Yansıtıcılık, bir yüzeyden yansıyan ışınımın gelen ışınımına oranıdır. Malzeme yüzeyine bağlı olup özellikle parlak ve pürüzsüz bir yüzeyin yansıtma özelliği fazladır [2,3,13]. Yansıtıcılık aynı zamanda yayılan enerjinin dalga boyuna bağlı olmakla beraber infraruj enerji için değişim çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. [Tablo 4], değişik malzemelerin yansıtma katsayılarını içermektedir.

Tablo 4. Bazı Malzemelerin Yansıtma Katsayıları [3,8,9]	
Malzeme	Yansıtma Katsayısı
Paslanmaz çelik	0.55 ($\lambda = 0.6 \mu m$)
Alüminyum	0.88 ($\lambda = 0.4 \mu m$)
Galvanize çelik	0.72
Nikel	0.90
Krom	0.92
Paslanmaz çelik (Parlatılmış)	0.80 - 0.90

Yansıtıcı elemanların (Reflektörler) yansıtma açıları mahale doğru yönlendirilen enerji miktarını belirler. Bu nedenle malzemelerin yüksek yansıtma özelliğiyle birlikte yansıtıcıların yerleştirme biçimleri de önemlidir. Endüstride kullanılan yansıtıcı elemanların şekilleri [Şekil 4]'de gösterilmiştir.

Taşınım Kayıplar

Radyant bir uygulamada taşınım ile olan ısı kaybı, ısıtılan mahal içinde tabaka oluşumu olarak bilinen bir duruma sebebiyet verir. Tabaka oluşmasından dolayı dış ortamla olan sıcaklık farkı artarak çatı ve üst duvar aralarında iletimle olan ısı kaybı artar. Ayrıca baca etkisinin bir sonucu olarak çatıda ve yakınındaki delik ve çatlaklar yüzünden hava değişim ısı kaybı artar.


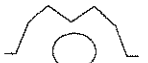




Radyant ısıtma sistemleri ile ısıtılmış binalar için fazla sorun olmayan hava tabakası oluşumu, uygulama üzerine konan yansıtıcıların tüp çevresinde sıcak havayı hapsedmesiyle önlenir. Tüpün etrafında hava hapsedilmediği zaman yukarıya doğru yükselip hava tabakası oluşturduğu gibi tüpün sıcaklığının azalmasına yol açarak radyant çıkışta önemli bir azalma meydana getirir. Yansıtıcıların şekli radyant ısıtma uygulamalarında taşınım ile olan ısı kayıplarının azaltılması bakımından önemlidir.

Donanım Verimi

Donanım verimi, radyant ısıtma uygulamasında mevcut enerjinin mahale doğru yönlendirmesinin bir göstergesidir. Yüksek yanma sıcaklığı, yüksek tüp yayma sayısı ve yüksek yansıtma değerine sahip bir yansıtıcı malzemesi donanım verimi üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Ancak taşınım kayıplarını kontrol etmedeki ve radyant enerjiyi dağıtımadaki yetersizlik donanım verimini düşürür [14]. Bundan dolayı tüp boyu, yansıtıcı şekli ve taşınım kayıplarını kontrol etmek için yansıtıcı yeteneği gözönüne alınmalıdır.

Radyant Verim

Radyant verim, yakıt giriş enerjisine göre, gerçek radyant enerji çıkışının göstergesidir (Çıkış seviyesi/Giriş seviyesi). Radyant verim, uygulamaya bağlı olarak %30 ile %60 arasında değişmektedir.

DONANIM ŞEKİLLERİ	YANSITICILIK	AÇISAL ÖZELLİK	TAŞINIM KAYIPLARINI ÖNLEME	DONANIM VERİMİ	MODEL VERİMİ	RADYANT VERİM
	E	E	E	E	E	A
	E	E	A	E	A	A
	E	B	B	B	A	A
	E	A	B	A	B	B
	E	B	B	B	B	A
	E	B	B	B	B	B

A : Vasat, B :Vasatın altında, E : Vasatın üstünde

Şekil 4. Donanım Şekillerinin Karşılaştırılması [4]

ISIL KONFOR PARAMETRELERİ

Isıl konfor, insanların ısı çevreden tatmin olduğunu gösteren durum olarak tanımlanmakta olup, sağlanabilmesi için ilk şart insan vücudu ile çevresi arasında ısı dengesinin olması veya dengesizliğin kabul edilebilir olması, başka bir deyişle insanın daha yüksek veya daha düşük hava sıcaklığını hissetmemesidir. Isıl konforu belirleyen en önemli parametreler şunlardır:

- Hava sıcaklığı,
- Aktivite/ çalışma seviyesi,
- Ortalama radyant sıcaklık,
- Hava hızı,
- Nem miktarı,
- Giyinme durumu. Bu parametreler,
- Dış iklim,
- Yapı elemanlarına (hacimdeki dış duvar sayısı, pencere sayısı, izolasyon, duvar ölçüleri, sızıntı vb.),
- Yapı kontrol bileşenlerine (ısıtma / soğutma yöntemi vb.),
- Yapı çevresine (yapının çevresinde iklimi etkileyen faktörler, gölgeleme vb.),
- Yapı içerisindeki insanların duruş pozisyonuna bağlıdır [15].

ORTALAMA RADYANT SICAKLIK (M.R.T.)

Radyant ısıtma uygulamalarında kullanılan ortalama radyant sıcaklık (M.R.T.), konforun sağlanmasında etkili bir kavramdır. Genel olarak döşeme, tavan ve duvarların sıcaklıklarının ortalaması olarak tanımlanır, odanın içinde bulunan kişinin pozisyonuna göre değişir.

Ortalama radyant sıcaklığın hesabında, düzgün sıcaklık dağılımında N adet yüzeyden oluşan kapalı bir alan düşünülür. Duvarlar düzgün sıcaklık dağılımında değilse, daha küçük yüzeylere bölünerek düzgün sıcaklık dağılımında kabul edilir. Bu durumda,

$$T_R = \sqrt[4]{T_1^4 F_{P-1} + T_2^4 F_{P-2} + \dots + T_N^4 F_{P-N}} \quad (2)$$

bağıntısıyla ortalama radyant sıcaklık değeri hesaplanır. Bu eşitlikte:

- T_R = Ortalama radyant sıcaklık
- T_1, T_2, \dots, T_N = Yüzey sıcaklıkları,
- $F_{P-1}, F_{P-2}, \dots, F_{P-N}$ = Kişi ile duvarlar arasındaki şekil sayısıdır.

Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının az olması durumunda (1) nolu bağıntı lineerleştirilerek,

$$T_R = T_1 F_{P-1} + T_2 F_{P-2} + \dots + T_N F_{P-N} \quad (3)$$

bağıntısıyla ortalama radyant sıcaklık hesaplanır. Küçük odalar için kişi ile yüzeyler arasındaki şekil sayısından bağımsız olarak radyant sıcaklık,

$$T_R = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_N A_N}{A_1 + A_2 + \dots + A_N} \quad (4)$$

bağıntısıyla hesaplanır. (3) Nolu bağıntı mühendislik hesaplarında yaygın olarak kullanılmakla beraber bazı durumlarda iyi sonuç vermemektedir [16]. Missenard (1959) ortalama radyant sıcaklığın hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$T_R = \frac{\sum T\theta}{360} = \frac{T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \dots + T_N\theta_N}{360} \quad (5)$$

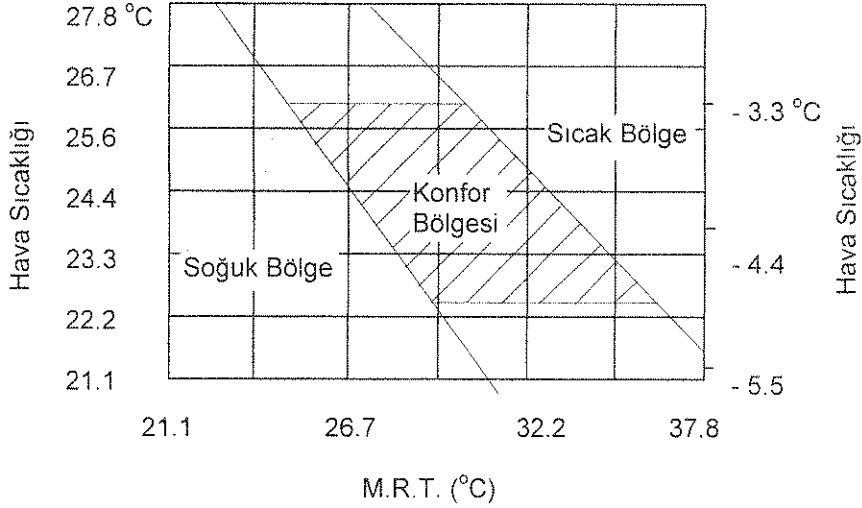
Bu eşitlikte:

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$: Mahali işgal edenlerin yüzeyleri görme açısıdır.

Oturarak çalışan, az giyinmiş insanlar için, bağıl nemin %50 ve hava hızının yaklaşık olarak 0.07 ile 0.3 m/s olması durumunda M.R.T. ile hava sıcaklığı arasındaki ilişki [Grafik 1]'de gösterilmiştir.

KONFOR SAĞLAMA

Konfor duygusunun sadece ortamın termometreden okunan sıcaklığa bağlı değil, hava hareketi, nem ve özellikle ortamda bulunan cisimlerin sıcaklıkları gibi parametrelere bağlı bileşke sıcaklık olduğu bilinmelidir. Bunu rüzgarsız ve güneşli bir havada karın üzerinde hareketsiz duran bir kayakçının havanın soğuk olmasına rağmen üşümemesi ile açıklayabiliriz.



Grafik 1. Konfor, M.R.T. ve Hava Sıcaklığı İlişkisi [17]

Winslow, Harrington ve Gagge (1949), hava hızının 0.8 m/s olması durumunda, çıplak bir adam için işletme sıcaklığını,

$$T = 0.48 T_R + 0.52 T_a \quad (6)$$

ve giyinmiş bir adam için ise,

$$T = 0.55 T_R + 0.45 T_a \quad (7)$$

bağıntılarıyla ifade etmişlerdir. Bu eşitlikte:

T = İşletme sıcaklığı

T_R = Ortalama radyant sıcaklık,

T_a = Hava sıcaklığıdır.

Hava hızının yaklaşık olarak 0.1 m/s olması durumunda Missenard (1959), işletme sıcaklığı için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$T = 0.45 T_R + 0.55 T_a \quad (8)$$

Nielsen ve Pedersen (1952) ise

$$T = 0.443 T_R + 0.557 T_a \quad (9)$$

bağıntısını önermiştir. Rietschl ve Raiss (1968) hissedilen hava sıcaklığı,

- Düşük hava hızlarında,

- Bağıl nemin %30- %70,

- Hava sıcaklığının 15- 22 °C olması durumunda,

$$T = \frac{T_a + T_R}{2} \quad (10)$$

bağıntısıyla ifade etmişlerdir [5].

Işınımın hissedilmesinde cilt rengi, cildin üzerine gelen ışınımın (irradiation) şiddeti ve süresi önemlidir. Bradtke (1952) 1 μ m den büyük dalga boyulu ışınlarla koyu cilt rengine sahip kişiler üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmalarda; hava sıcaklığının 20 °C olması durumunda 28 W/m² ışınım şiddetinde ışınımın hissedildiğini saptamıştır. İnfraruj ışınlar ise 420 - 490 W/m² ışınım şiddetinde aynı hissi verebilmiştir. Bradtke sonuç olarak radyant ısıtma uygulamalarında insan yüzüne ulaşan ışınım yoğunluğunun 35 W/m² 'yi aşmaması gerektiğini söyler. Farklı ışınım yoğunluğu için ciltteki ısı reaksiyonları [Tablo 5] ve [Tablo 6]' da verilmiştir.

Tablo 5. Farklı Şiddetteki İnfraruj Işınım İçin Isıl Reaksiyon Süreleri [5]

Yutulmuş Isı (W/m^2)	Isıl Reaksiyon Süresi
28 - 56	Sonsuza yakın
56 - 105	3 - 5 dakika
105 - 175	40 - 50 s
175 - 210	20 - 30 s
210 - 280	15 - 20 s
280 <	3 - 5 s

Tablo 6. Farklı Işınım Şiddeti İçin Isıl Reaksiyon Süreleri [5]

Yutulmuş Isı (W/m^2)	Alın Sıcaklığında Maksimum Artış ($^{\circ}C$)	Isıl His
1050	10 (< 2 dakika)	Bunaltıcı
150	6 (< - 5 dakika)	Sıcak, yüzde yanma hissi
35	3 (< 3- 5 dakika)	Ilık
12	0.1-0.4 (< 10 - 15 dakika)	Hafif ılık

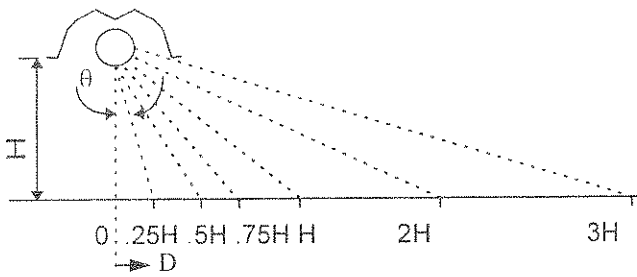
Chrenko (1963) yapmış olduğu laboratuvar çalışmalarının sonucunda ısı konforu için aşağıda sıralanan şartları saptamıştır.

- İnsanın başı ile döşeme arasındaki sıcaklık farkı $2.5^{\circ}C$ yi mümkün oldukça aşmamalı,
- Baş yüksekliğinde ortalama radyant sıcaklık artışı $2.2^{\circ}C$ veya ışınım yoğunluğu $11.1 W/m^2$ yi aşmamalıdır.

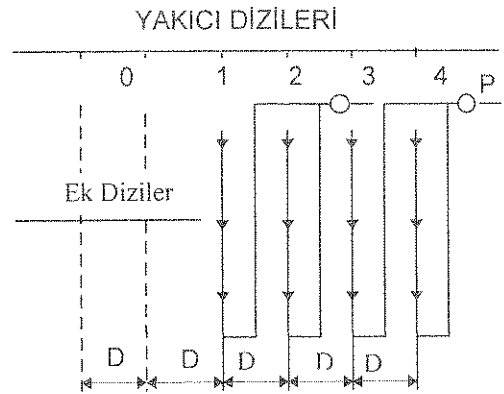
Radyant ısıtma uygulamalarında ısı konforunun sağlanabilmesi için yapılabilecek diğer bazı uygulamalar aşağıda belirtilmiştir.

Radyant enerjiyi hafifçe değiştiren sıcak yüzeylerin sağlanmasıyla mahali işgal edenlere enerjinin eşit olarak dağıtılmasıyla maksimum konfor hissi verilebilir. Ayrıca giriş ve sütunların radyant gölgeleme yapabileceği gözönüne alınmalıdır. Dışarıya olan ısı kaybı ve dış duvarlara direkt ışınım olan ısı kaybını önlemek için ısıtıcılar dış duvarlardan yeterince uzağa yerleştirilmelidir.

Radyant enerjinin avantajlarını kullanmak için radyant bir sistemin yeteneği, genellikle bu sistemin döşemede rezerv bir ısı kapasite meydana getirmesine bağlıdır. Isıtıcılardan yüksek seviyede direkt ışınım alındığı yerlerde, örneğin spot ısıtma bölgesi için rezerv kapasite sağlanmaksızın konfor sağlanabilir. Yükseklik düzeltme katsayısı döşemede ısı deposu oluşturmak için yeterli radyant enerji şiddetini elde etmede önemlidir [4,5]. [Şekil 5-1] ve [Şekil 5-2] ile [Tablo 7-1] ve [Tablo 7-2] yüksek donanım verimine sahip tek ve çoklu yakıcı sistemlerinin yakıcı düzeni ve yüksekliğe göre döşeme seviyesindeki ışınım şiddetinin değerini göstermektedir.



H: Tesis Yüksekliği, D: Yakıcının yayma merkezinden olan yatay uzaklık

Şekil 5-1. Tekli Yakıcı Düzeni [4]

D : Yakıcılar arasındaki yatay uzaklık
O P : Vakum pompası

Şekil 5-2. Çoklu Yakıcı Düzeni [4]

Isıtma uygulamalarında yüksek duvarlar daha uzun duvar yükseklikleri meydana getirdiğinden dolayı direkt radyant enerji kaybı olasılığını artırır. Aynı zamanda yüksek duvar yüzeyleri enerjinin döşemeden daha büyük bir açıyla uzaklaşmasına ve döşemede ısı rezervinin azalmasına sebep olur. Döşemede bir miktar ısı rezervinin korunması, konforun sağlanması bakımından önemlidir. Tesis yüksekliği arttıkça ısı rezervi azalır. Bu nedenle yükseklik düzeltme katsayısı kullanılmalıdır. 6 m 'nin üzerindeki montaj yükseklikleri için (8 -18 m ye kadar) her metre için % 3.5 ısı kaybı düzeltme katsayısı tavsiye edilir. Bu katsayı vasıtasıyla artırılmış olan ısı giriş kapasitesi radyant konforun sağlanmasına yardımcı olur. [Tablo 8], [Tablo 8-1] ve [Tablo 8-2], çalışma seviyesi, hava hızı ve sıcaklığına bağlı olarak ısı giriş seviyelerini göstermektedir. Uygulamalarda konforun sağlanması için döşeme ısı rezervinin korunmasının öneminden dolayı döşeme ısı yükünün mümkün olduğunca az olacak şekilde gece ayarlaması yapılmalıdır. Bu şekilde ekonomik bir kullanım sağlanmış olur. Aşağıda çeşitli uygulamalar için tavsiye edilen ayarlama değerleri verilmiştir [14].

Tablo 7-1. Tek Yakıclı Sistemler İçin Işınım Şiddeti [4]

Tesis Yükseklik H (m)	$\theta = 0^\circ$	D=.25H $\theta=14^\circ$	D=.50H $\theta=26.7^\circ$	D=.75H $\theta=36.9^\circ$	D=H $\theta=45^\circ$	D=2H $\theta=63.4^\circ$	D=3H $\theta=71.6^\circ$
2.500	2	2	1.600	1.400	1.200	0.300	0.100
3.700	1.330	1.330	1.064	0.930	0.798	0.200	0.067
4.900	1	1	0.800	0.700	0.600	0.150	0.050
6.100	0.800	0.800	0.640	0.560	0.480	0.120	0.040
9.200	0.533	0.533	0.426	0.373	0.320	0.080	0.027
12.20	0.400	0.400	0.320	0.280	0.240	0.060	0.020
15.30	0.320	0.320	0.256	0.224	0.192	0.048	0.016
22.90	0.213	0.213	0.171	0.150	0.128	0.032	0.011
30.50	0.160	0.160	0.120	0.108	0.096	0.024	0.008

Tablo 7-2. Çok Yakıcı Sistemler İçin Işınım Şiddeti [4]

Tesis Yükseklik H (m)	D=.25H $\theta=14^\circ$	D=.50H $\theta=26.7^\circ$	D=.75H $\theta=36.9^\circ$	D=H $\theta=45^\circ$	D=2H $\theta=63.4^\circ$	D=3H $\theta=71.6^\circ$
2.500	19.80	9.934	6.534	5.000	2.600	2.100
3.700	13.17	6.610	4.344	3.326	1.730	1.397
4.900	9.620	4.740	3.240	2.500	1.300	1.050
6.100	7.920	3.974	2.614	2.000	1.040	0.840
9.200	5.109	2.511	1.711	1.333	0.693	0.560
12.20	3.960	1.986	1.306	1.000	0.520	0.420
15.30	3.232	1.590	1.110	0.800	0.416	0.336
22.90	2.111	1.059	0.695	0.533	0.277	0.224
30.50	1.584	0.762	0.554	0.400	0.208	0.168

I = 4.9 m yüksekliğinde yakıcının tam altında döşeme yüzeyindeki ışıma yoğunluğudur. Bu tablolar radyant enerji çıkışının %100 nün 120 ° lik bir model genişliği ile tanımlanan döşeme yüzeylerine uygulanacağı düşünülerek hazırlanmıştır. Tablodaki değerler I ile çarpılacaktır.

Uygulama	Tavsiye edilen ayarlama (°C)
-Yüksek tavanlı yapılar	Çok az veya hiç
-Vasat konstrüksiyonlu ticari yapılar	3 - 4
-Yeni konstrüksiyonlu ticari yapılar	4.5 - 5.5

Tablo 8. Spot veya Alan Isıtması İçin Gerekli Isı Giriş Seviyeleri (W/m²) (Normal Giyinmiş Oturarak Çalışan Kişiler) [4]

Hava sic. °C	Hava Hızı (m/s)										
	0.254	0.305	0.355	0.406	0.447	0.894	1.341	1.788	2.235	4.47	6.705
-17.8	750.79	788.65	826.50	854.89	886.44	1119.9	1318.6	1492.1	1665.6	2589.9	3422.7
-15	697.16	719.25	772.87	801.27	826.50	1053.6	1233.4	1400.6	1567.8	2429.0	3217.7
-12.2	656.15	681.39	719.25	750.80	772.90	984.20	1157.7	1309.2	1533.1	2277.6	3012.6
-9.4	599.37	611.99	659.31	681.40	703.50	902.20	1066.3	1205.1	1347.0	2113.6	2794.9
-6.7	536.28	567.83	599.37	621.50	643.50	826.50	977.9	1104.1	1242.9	1946.4	2580.5
-3.9	498.43	514.20	536.28	567.80	583.60	750.80	892.70	1015.8	1135.7	1848.6	2378.6
-1.1	438.49	466.88	485.81	507.90	523.7	681.40	810.7	892.7	1037.9	1627.8	2170.4
1.7	384.86	410.10	422.72	447.90	460.6	605.7	719.20	813.90	924.30	1470.0	1952.7
4.4	324.92	347.0	362.78	384.90	400.6	529.9	618.3	719.2	810.7	1302.8	1741.3
7.2	277.60	296.53	309.15	324.9	340.70	454.3	545.7	627.8	712.9	1141.9	1536.3
10	227.13	242.9	258.68	271.3	287.1	384.9	460.6	536.3	605.7	984.2	1331.2
12.8	173.50	189.28	195.6	211.4	220.8	302.8	372.2	432.2	498.4	826.5	1119.9
15.6	113.57	129.34	135.6	145.10	157.7	227.1	280.8	340.7	384.9	656.2	902.2
18.3	69.40	75.71	82.02	91.50	97.80	151.4	195.6	242.9	287.10	498.4	697.20

Tablo 8-1. Normal Giyinmiş Hafif Çalışan Kişiler İçin Isı Giriş Seviyeleri (W/m²) [4]

Hava Sıcaklığı, °C	Hava Hızı (m/s)										
	0.254	0.305	0.355	0.406	0.447	0.894	1.341	1.788	2.235	4.47	6.705
-17.8	574.10	612.0	630.9	687.7	712.9	964.4	1145.1	1318.6	1492.1	2416.4	3154.6
-15.0	523.7	545.7	567.8	627.8	649.8	876.9	1059.9	1227.1	1394.3	2255.5	3044.2
-12.2	476.3	507.9	545.7	574.1	599.4	810.7	984.2	1135.7	1293.4	2104.1	2839.1
-9.4	422.7	435.3	485.8	507.9	530.0	725.6	892.7	1028.4	1173.5	1936.9	2618.3
-6.7	362.8	394.3	422.7	447.9	470.0	656.2	801.3	930.6	1066.3	1772.9	2407.0
-3.9	318.6	340.7	362.8	394.3	410.1	574.1	719.2	839.1	962.1	1611.9	2189.3
-1.1	264.9	287.1	302.8	315.5	347.0	507.9	637.2	750.8	864.4	1454.3	2000.0
1.7	211.4	233.4	249.2	268.1	287.1	432.2	545.7	643.5	750.8	1293.4	1769.7
4.4	151.4	173.5	189.3	211.4	227.1	347.0	454.3	545.7	637.2	1129.3	1441.6
7.2	107.30	119.90	135.60	151.40	167.20	280.80	372.20	454.30	536.30	968.50	1362.8
10.0	53.60	69.40	88.33	97.8	119.90	211.40	302.80	362.80	432.20	810.70	1157.7
12.8	0	15.77	22.10	37.90	44.20	129.30	195.60	258.7	324.90	649.80	946.40
15.6		0	0	0	0	53.60	107.30	157.7	211.40	485.8	725.6
18.3						0	22.10	69.40	113.60	324.90	523.70

Tablo 8-2. Normal Giyinmiş Ağır Çalışan Kişiler İçin Isı Giriş Seviyeleri [4]

Hava Sıcaklığı, C°	Hava Hızı (m/s)										
	0.254	0.305	0.355	0.406	0.447	0.894	1.314	1.788	2.235	4.47	6.705
-17.8	280.80	318.60	356.50	384.90	416.40	649.80	911.70	1022.1	1192.4	2120.0	2826.5
-15.0	227.10	227.10	227.10	334.40	356.50	538.60	763.40	933.80	1097.8	1962.2	2747.6
-12.2	183.00	211.40	220.80	280.80	302.80	514.20	687.70	902.20	1000.0	1810.7	2542.6
-9.4	129.30	142.00	189.30	211.40	233.40	432.20	599.40	735.00	877.00	1643.5	2324.9
-6.7	69.40	97.80	129.30	151.40	173.50	536.50	507.9	637.20	772.90	1476.3	2132.5
-3.9	22.10	44.20	69.40	97.80	113.60	280.80	422.70	545.70	665.60	1318.6	1908.5
-1.1	0	0	15.80	37.90	53.60	211.40	334.40	454.30	567.80	1157.7	1728.7
1.7			0	0	0	135.6	249.20	347.00	454.30	1000.0	1482.7
4.4						53.60	183.00	249.20	340.7	832.8	1271.3
7.2						0	75.70	157.7	242.9	675.10	1097.8
10.0							0	69.40	142.00	514.20	684.40
12.8								0	31.50	356.50	649.80
15.6									0	189.30	558.40
18.3										31.50	227.10

RADYANT ISITMA SİSTEMLERİNİN KONVANSİYONEL SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI [12,18]

Radyant ısıtma sistemlerinin konvansiyonel ısıtma sistemlerinden en büyük farkı yüzeyler arasında ışınlama ile ısı geçişi ile ısıtmayı sağlamasıdır. Sistemin sessiz olarak çalışması ve ortama ısıyı homojen olarak vermesi de ayrıca bir farklılık göstermektedir. Radyant ısıtma ile doğrudan kişilerin konfor sıcaklığı hissetmeleri sağlanır. Hava ısıtılmadığından, ısınan hava yükselir kuralı çerçevesinde, çalışma olmayan yüksek seviyelerde sıcaklığın yüksek, esas ısıtılması istenen alt birimlerde ise daha düşük sıcaklık gibi büyük enerji kaybı yaratan olumsuzluklar ortadan kaldırılır.

RADYANT ISITMA SİSTEMİ	Merkezi buhar üflemlili ısıtma KONVANSİYONEL ISITMA SİSTEMİ
Radyant ısıtıcı üzerinde ısıtmayı sağlayan yüzeyler ısı transferine bütünüyle katılırlar.	Isıtma sisteminin döşemeden olduğu durumlarda yüzey kayıpları oluşur.
Isının taşınmasından ortaya çıkan ısı kayıpları çok azdır.	Taşınımia ısı geçişinden dolayı ısı kayıpları fazladır.
Montajı kolaydır, mahal düzenine göre yeniden düzenlenir.	Isıtma sisteminin sökülüp yeniden kullanılması çok zordur.
Esnek ve geliştirilmeye uygundur.	Esnek ve geliştirilmeye uygun değildir.
Isıtıcının biri çalışmadığında diğerleri çalışmaya devam eder. (Merkezi Olmayan Isıtma Sistemi)	Sistemin herhangi bir kısmı çalışmadığında sistemin bütünü çalışmaz. (Merkezi Isıtma Sistemi)
Isıtıcıların ömrü 30 yıldır	Isıtma sisteminin ömrü maksimum 15 yıldır.
Bakımı kolaydır	Çok sık bakım gerektirir, sızıntı olur.
Genel verim %80	Genel verim %50
Uygulama şekline göre %30 ile %50 arasında enerjiden tasarruf sağlar	
Geri ödeme süresi bir çok durum için 3 yıldır.	Oldukça uzundur
Yüzey ısıtma prensibine göre hareket eder.	Hacim ısıtma prensibine göre hareket eder. (sıcak hava sistemi- taşınım)

SONUÇ

Radyant ısıtma sistemlerinin gerek genel prensipleri gerekse de sistem özellikleri açısından etkin ve verimli bir teknoloji olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca ülkemizde, bu sistemlerin kullanımı konusunda faaliyet gösteren kişi yada kuruluşlara bazı ipuçları verilmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] KAYAALP, K. "Radyant Isıtma Sistemlerinin Sanayideki Uygulamaları", Tesisat Mühendisliği Dergisi, Aralık, 1994.
- [2] ÖZİŞİK, M. N. Heat Transfer A Basic Approach, McGraw-Hill.
- [3] ÖZTÜRK, A. ve YAVUZ, H. Uygulamalarla Isı Geçişi: Tanıtım ve Işınım, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu-İstanbul, 1995.
- [4] Infraruj Handbook, Robert-Gordon Inc., 1990.
- [5] BANHIDI, L. J. "Radiant Heating System Design and Applications, Pergamon Press, 1991.
- [6] TUNÇ, M. "Radyant Isıtma Sistemleri", Termodinamik Aylık Dergi, Temmuz, 1994.
- [7] ASHRAE Handbook Heating Ventilating and Air Conditioning Handbook, Equipment Handbook, 1993.
- [8] INCROPERA, F. P. and DEWITH, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Third Edition, Indiana, USA.
- [9] SIEGEL, R. and HOWELL, J. R. Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill.
- [10] KAKAÇ, S. Örneklerle Isı Transferi, ÖDTÜ, Ankara, 1970.
- [11] DURUKAN, M. "Radyant Isıtmada Sistem Seçenekleri ve Seçme Esasları", Termodinamik Aylık Dergi, Kasım, 1993.
- [12] Firma Katalogları: Ambi-Rad, Roberts-Gordon.
- [13] DAĞSÖZ, A. K. Isı Geçişi (Transferi), 4. Baskı, AlpTeknik Kitaplar, İstanbul, 1990.
- [14] Radyant Isıtma El Kitabı, Çukurova Isı Sistemleri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
- [15] TOKSOY, M. "Isıl Konfor", I. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, İzmir, Nisan, 1993.

- [16] FANGER, P. O. Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill.
- [17] FANGER, P. O. Thermal Comfort , McGraw-Hill, 1972.
- [18] KOMUT, M. "Isınmada Radyant Çözümler", Termodinamik Aylık dergi, Kasım, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Yaşar İSLAMOĞLU

1971 yılında Rize - Ardeşen'de doğdu. İstanbul Bahçelievler Lisesinden 1989 yılında mezun olmuş, 1994 yılında İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü tamamlayarak aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Programında yüksek lisans eğitimine başladı. 1997 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra İngiltere'nin Sheffield Üniversitesinde araştırmacı olarak bulunmuş, Türkiye'ye döndükten sonra doktora eğitimine başlamıştır. 1995 yılından beri Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görevini sürdürmektedir.

Kemal ERMİŞ

1971 yılında Ankara-Saray'da doğdu. 1988 yılında Bahçelievler Teknik Lisesini, 1992 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü, 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansını bitirmiştir. 1995 yılından beri Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora Eğitimine devam etmektedir. 1993-95 yılları arasında Kocaeli Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmış, halen Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocukludur.

Mehmet YILMAZ

1972 yılında Ankara Güdül'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Beypazarı'nda tamamladı. 1990 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini Haziran 1994'te tamamladı. Daha sonra Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği EABD'da yüksek lisans eğitimine başladı ve Ağustos 1996'da yüksek mühendis ünvanı aldı. Halen aynı enstitüde doktora eğitimine devam etmektedir ve aynı zamanda SAÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.