

Döşemededen (Yerden) Isıtma Sistemlerinde Hesap Yöntemi

Veli DOĞAN
Oğuzhan ÇALIŞIR

ÖZET

Yerden ısıtma sistemine yönelik ilk fiili çalışmalar 1907 yılında İngiltere’de A. H. Barker tarafından yapılmış ve 1929 yılında Almanya’da Dr. Ing. Kollmer tarafından proje uygulamaları formülize edilmeye başlanmıştır.[3]

1973–1974 yılı kışında patlak veren petrol krizinden sonra ortaya çıkan enerji krizi, enerji kullanımında ekonomi getirecek çalışmalara hız verilmesini sağlamıştır. Bu bağlamda daha düşük sıcaklık aralıklarında çalışan döşemededen ısıtma sistemleri giderek önem kazanmış ve son 30 yılda plastik teknolojinin de gelişimiyle hızla yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada döşemededen ısıtma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları ile bir döşeme detayından ısı akışının nasıl hesaplanacağı özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Döşemededen ısıtma, Enerji

1. GİRİŞ

Ana mantığı; yüzey alanını genişletip, sıcaklık farkını düşürerek daha az enerji harcamak ve daha konforlu ısı dağılımı sağlamak olan döşemededen ısıtma sistemi, döşeme altına yerleştirilen borulardaki (sulu sistem) ya da kablolardaki (elektrikli sistem) ısının, döşeme yüzeyinden iç ortama verilerek mekânın ısıtılmasıdır. Bu sistemler son yıllarda klasik sistemlere alternatif olarak yaygın kullanıma sahiptir. Alternatif ısı kaynaklarındaki akışkan sıcaklığının düşük olması bu sistemlerin avantajını arttırmıştır.

Döşemededen ısıtma sisteminin iki çeşidi vardır. Bunlar: Elektrikli döşemededen ısıtma ve sıcak sulu döşemededen ısıtma sistemleridir. Son yıllarda yerden ısıtma sistemleri yaygın olarak kullanılmalarına rağmen birçok konuda tartışmalarda sürmektedir. Konu basit görünmesine rağmen projelendirme aşamasında yeterli dikkat gösterilmediği takdirde ısıtma anında sorunlar yaşanabilmektedir. Detaylı olarak

Abstract:

The first recorded application on Contemporary Under-Floor heating system had been performed by A.H. BARKER in Great Britain (1907). Later, Dr.Ing. KOLLMER in Germany (1929) started to formulize the applications.

The oil crisis (1973–1974) had accelerated the energy efficient systems’ search and application. In this respect, Low temperature range under-floor heating systems have gained more importance and they have been commonly applied with the help of improved plastic extrusion technology during the last 30 years.

This study summarizes the calculation of under-floor heating systems and explains the factors to be considered during the design stage.

Key Words:

Underfloor heating, Energy

Makale

yapılan ısı analizleri sonunda oluşturulacak diyagram ve tabloların kullanımı çok yaygındır. Bu yazıda döşeme kalınlık ve malzemelerine bağlı olarak ısı analizler yapılmıştır. Bu analizlerden faydalanarak diyagram ve tablolar geliştirilebilir.

2. DÖŞEMEDEN ISITMA SİSTEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Döşemeden ısıtma sistemlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Konutlarda ısıtma amaçlı kullanımının yanında; buzlanma tehlikesi olan yollarda, rampalarda, çatılarda ve spor sahalarında olmak üzere çeşitli kullanım yerleri mevcuttur. Aşağıda değişik kullanım alanları sıralanmıştır:

• Konutların ısıtılmasında:

Döşemeden ısıtma, günümüzde en çok konut ısıtmada kullanılmaktadır. Homojen bir ısı dağılımı sağlayarak, daha konforlu bir ısıtma yapması ve yakıt

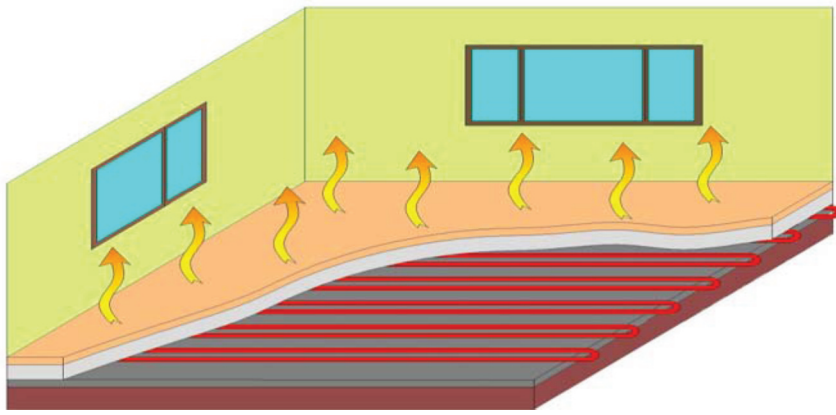
tasarrufu sağlaması en önemli avantajdır.

• Camilerin, hangarların, spor salonlarının, kısacası büyük hacimli mekânların ısıtılmasında:

Sıcak hava, yoğunluğu düşük olduğu için her zaman yukarıda birikir. Büyük hacimli mekânlarda bu birikimin önüne geçerek ısıyı faydalı bir biçimde kullanmak için döşemeden ısıtma sistemleri tercih edilir.

• Cam yüksekliği fazla olan mekânlarda veya radyatör gibi cihazların teras çıkışlarını engellediği durumlarda cam önlerinde:

Resim 2'de görüldüğü gibi cam yüzeylerini, konfor için gerekli sıcaklıkta tutmak amacıyla boylu boyunca bir şerit halinde ısıtma sistemi uygulanır. Pencere önleri kullanıldığından dolayı; inşaat esnasında tüm odaya boru döşenmediği için, boruları korumak daha kolaydır ve bu işlemler inşaatın yapım hızını yavaşlatmaz.



Şekil 1. Döşemeden Isıtma Sistemi



Resim 1. Elektrikli ve Sulu Sistem ile Yerden Isıtılan Konutlar



Resim 2. Yalnız Cam Önünde Yapılan Isıtma

• Hamam ısıtmada:

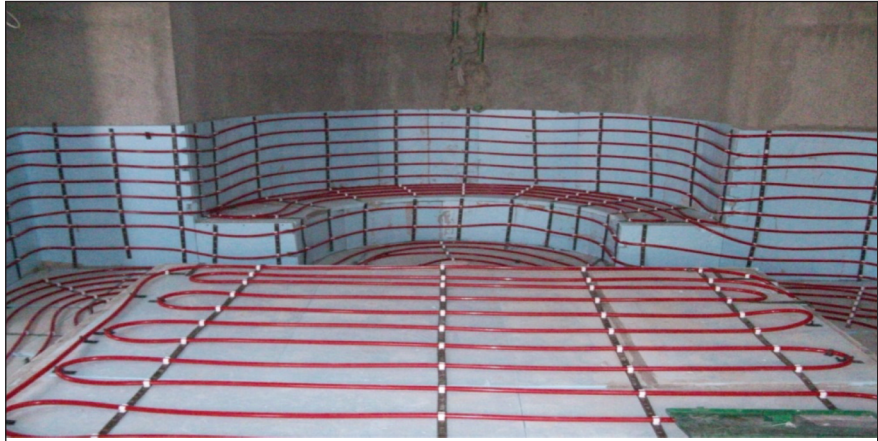
Türk hamamları, yerden ısıtmanın ilk uygulandığı yerlerden birisidir. İyi bir izolasyon gerektirir. Hamamda istenilen sıcaklık, konutlardan yüksek olduğu için izole kalınlığı 5 cm'den az olmamalıdır. Hamamda sadece döşeme değil, insanların belini dayadığı duvarlara da belirli bir seviyeye kadar (bir metre civarında) ısıtma yapılır. Hamamın yaz kış çalışması gerektiği dikkate alınarak zonlanmalıdır; yaz aylarında kapalı durumda olan radyatör ve klima santıralı gibi cihazlar, ısıtma devrelerinden ayrı bir ısıtma devresine sahip olmalı veya bu devrelerden vanalar ile kolayca ayrılabilir. Mutlaka bağımsız bir kollektör grubu ve sıcaklık kontrolü olmalıdır.

• Kapalı yüzme havuzlarının zemin ısıtmasında: Genellikle kapalı yüzme havuzu çevresinde yalın ayak dolaşan insanlara konfor sağlamak ve havuz hacminin ısıtılmasına takviye

yapmak amacı ile yerden ısıtma yapılır. Bu ısıtma, etrafa sıçrayan su damlalarını çok hızlı buharlaştıracaktır. Havuzun nem hesabı yapılırken havuz çevresinden buharlaşacak su, mutlaka dikkate alınmalıdır.

• Çatılarda:

Kış rüzgarları çatılarda kar biriktirir. Çatı üzerinde biriken kar, binanın içinden çatıya akan ısıyla veya havanın güzel olduğu saatlerde güneş ışınlarının etkisi ile erimeye başlar. Eriyen kar, saçaklara doğru yönelir ve gece-gündüz sıcaklık farklarından dolayı tekrar donarak buz bari-



Resim 3. Türk Hamamı Yerden Isıtma Örneği



Resim 4. Kapalı Havuz Çevresi Yerden Isıtma Örneği

Makale

yerlerinin oluşmasına yol açar. Erimeye devam eden kar suyu, bu bariyerlerin arkasında birikir. Biriken su, çatıdan içeri sızarak bina içine zarar verir ve bariyeri aşarak sarkıtların oluşmasına neden olur. Kar, buz ve sarkıtlar düşerek insan sağlığını ve hayatını tehdit etmektedir. Bunu engellemek için; olukların içine, çatı kenarlarına, elektrikli döşemeden ısıtma yapılır.



Resim 5. Oluklara, Çatı Kenarlarına Elektrikli Isıtma Uygulaması

- Buzlanma tehlikesi olan yollarda ve rampalarda: Buzlanan yollar her zaman tehlikelidir ve ülkemizde bu yüzden her yıl birçok kaza meydana gelmektedir. Bunu önlemek için buzlanan yollara, özellikle rampalara döşemeden ısıtma yapılır. Isıtma için çoğunlukla uygulanan sistem, elektrikli döşemeden ısıtmadır. Buzlanmayı önlemek için kurulan sulu sistemlerde ise boruların içindeki suyun donma tehlikesine karşı, sistemin antifriz içermesi gerekir.

- Merdivenlerde:

Buzlanan merdivenlerde de çatılara benzer bir durum söz konusu olduğunda elektrikli döşemeden ısıtma yapılabilir.

- Çim kaplı alanların ısıtılmasında:

Elektrikli döşemeden ısıtmayla, golf ve futbol sahalarında toprak ısıtılabilir. Çimlerin doğal ortamda büyümesi baharda başlar; bu büyüme süresi, çimlerin köklerinin ısıtılmasıyla hızlandırılır. Isıtılan çim alanlar, doğal ortamdaki büyüme süreçlerine göre 2 ay önceden kullanıma hazır olur.

3. DÖŞEMEDEN ISITMA SİSTEMLERİNDE DÖŞEME ÇEŞİTLERİ VE HESAP YÖNTEMLERİ

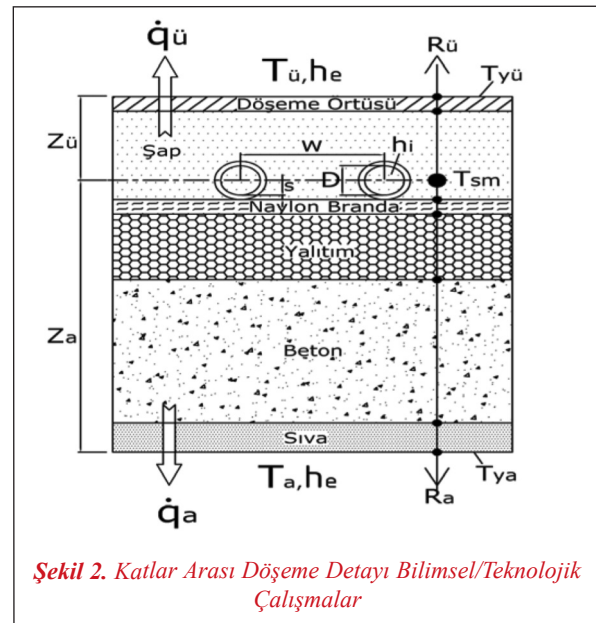
Döşemeden ısıtma sistemlerinin hesabında “toprak temaslı döşeme” ve “toprak temaslı olmayan bir

ortama açılan döşeme” olarak iki döşeme tipi dikkate alınmıştır. Odaya aktarılması gereken ısı miktarını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, ısıtılacak ortam ile boru arasındaki malzemelerin özellikleridir. Bu malzemenin özellikleri ve kalınlıklarına bağlı olarak ısı direnç hesaplanır, sonrasında döşeme yüzeyi ile döşeme altına olan ısı akışı analiz edilir.

3.1. Çok Katlı Yapılarda Katlar Arasındaki Döşemelerde Hesap Yöntemi

Döşeme içindeki borudan akan suyun taşımış olduğu enerjinin, ısıtılmak istenen yüzeye ve oradan da ısıtılacak odalara aktarılabilen miktarının hesapları önemlidir. Bu güne kadar amaç, hesapların basitleştirilerek (kabul edilebilir hata payı ile) yapılması ve mümkün olduğunca diyagram veya tablolara indirgenmesi olmuştur.

Aşağıda, seçilen bir döşeme için, ısıtılacak olan odaya ve bu döşemenin toprağa oturması veya diğer bir odanın üzerinde olması durumuna göre hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda, döşeme yüzey sıcaklığı ve boru yüzey sıcaklığının zamanla değişmediği kabul edilmiştir. Ayrıca ısı transferinin iki boyutlu olduğu kabulü ve ısı iletim katsayısının zamanla değişmediği kabulü ile şekil faktörü kullanılmıştır. Yine bu hesaplamalarda $L \gg D$, z ve $w > 1,5D$ olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2. Katlar Arası Döşeme Detayı Bilimsel/Teknolojik Çalışmalar

Şekil 2'ye göre üst yüzeye transfer olan ısı akılarını yazacak olursak; [2]

$$\dot{q}_{\dot{u}} = \frac{Z_{\dot{u}} \cdot S_{\dot{u}}}{R_{\dot{u}} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{y\dot{u}}) \rightarrow (W / m^2) \quad (1)$$

$$S_{\dot{u}} = \frac{2 \pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_{\dot{u}}}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (2)$$

Şekil 2'ye göre alt yüzeye transfer olan ısı akılarını yazacak olursak; [2]

$$\dot{q}_{\dot{a}} = \frac{Z_{\dot{a}} \cdot S_{\dot{a}}}{R_{\dot{a}} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{y\dot{a}}) \rightarrow (W / m^2) \quad (3)$$

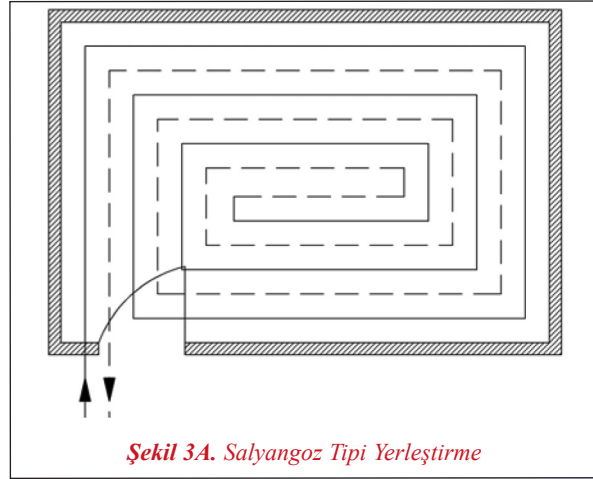
$$S_{\dot{a}} = \frac{2 \pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_{\dot{a}}}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (4)$$

- $\dot{q}_{\dot{u}}$ = Borudan üst döşemeye yayılan ısı
- h_e = Eşdeğer taşınım katsayısı
- $\dot{q}_{\dot{a}}$ = Borudan alt döşemeye yayılan ısı
- $R_{\dot{u}}$ = Üst ısııl direnç
- $T_{\dot{u}}$ = Üstteki hacmin iç ortam sıcaklığı
- $R_{\dot{a}}$ = Alt ısııl direnç
- $T_{\dot{a}}$ = Alttaki hacmin iç ortam sıcaklığı
- s = Boru et kalınlığı
- T_{sm} = Boru eksenindeki ortalama sıc.
- w = Borular arası uzaklık
- $T_{y\dot{u}}$ = Üst döşemedeki yüzey sıcaklığı
- D = Boru dış çapı
- $T_{y\dot{a}}$ = Alt döşemedeki yüzey sıcaklığı
- $Z_{\dot{u}}$ = Üst döşemeye uzaklık
- h_i = Boru içindeki taşınım katsayısı
- $Z_{\dot{a}}$ = Alt döşemeye uzaklık
- $S_{\dot{u}}, S_{\dot{a}}$ = Isı iletimi şekil faktörü
- L = Boru boyu

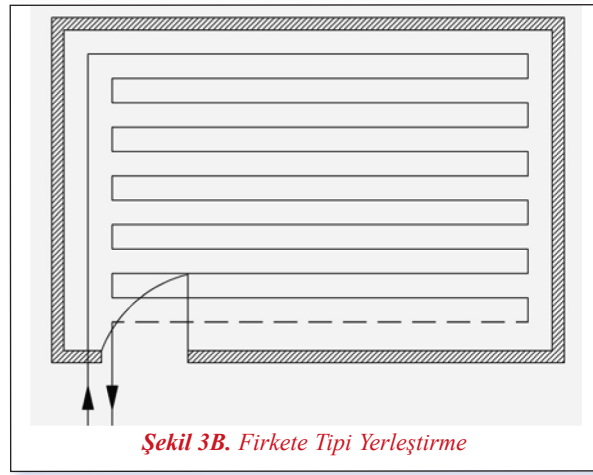
3.1.1. Ortalama Su Sıcaklığının (TSM) Hesaplanması

Ortalama su sıcaklığı boruların yerleştirilme şekline bağlı olarak farklı hesap yöntemleriyle bulunur. Ancak her iki yöntem arasında fazla bir fark yoktur.

Aşağıda boruların yerleştirilme şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3A. Salyangoz Tipi Yerleştirme



Şekil 3B. Firkete Tipi Yerleştirme

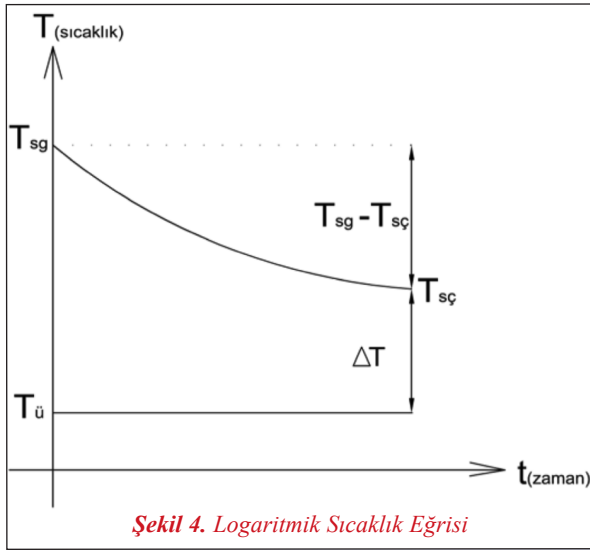
Salyangoz tipi yerleştirmede döşemenin her yerinde yaklaşık olarak aynı ortalama sıcaklık görülür. T_{sg} su giriş ve $T_{sç}$ su çıkış sıcaklığını göstermek üzere T_{sm} ortalama su sıcaklığını yazacak olursak;

$$T_{sm} = \frac{T_{sg} + T_{sç}}{2} \quad (5)$$

Firkete tipi yerleştirmede su giriş sıcaklığı logaritmik bir azalma gösterir. Bu azalma aşağıda Şekil 2'de görülmektedir. Bu azalmaya bağlı olarak firkete tipi yerleştirmede ortalama su sıcaklığı T_{sm} şu şekilde hesaplanır.

Tabloya bakarak sıcaklık farkını yazacak olursak;

$$\Delta T = \frac{T_{sg} + T_{sç}}{\ln \frac{T_{sg} - T_{\dot{u}}}{T_{sç} - T_{\dot{u}}}} \quad (6)$$

Makale**Şekil 4. Logaritmik Sıcaklık Eğrisi**

Ortalama su sıcaklığı ise şu şekilde hesaplanabilir.

$$T_{sm} = T_{\bar{u}} + \Delta T$$

$$T_{sm} = T_{\bar{u}} + \frac{T_{sg} - T_{sc}}{\ln \frac{T_{sg} - T_{\bar{u}}}{T_{sc} - T_{\bar{u}}}} \quad (7)$$

Döşmeden ısıtma sistemlerinde su giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın 5–10 derece arasında seçilmesi önerilir. Aksi takdirde sıcaklık farkı azaldıkça gerekli ısı yükünün karşılanması için su debisinin artırılması gerekir. Debiye bağlı olarak su hızı ve basınç kayıpları artar. Bu artış kendini gürültü olarak gösterir. Boru içindeki su hızının 0,5 m/sn değerini aşmaması önerilir.

3.1.2. Üst ve Alt Döşeme Isıl Dirençlerinin Hesaplanması

Döşmeden ve tavadan geçen ısı akıları için ısı direnç değerlerini şu şekilde yazabiliriz. Döşeme ve tavan ısı dirençleri;

$$R_{\bar{u}} = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{l_i}{k_i} \right) \rightarrow (m^2 \cdot C / W) \quad (8)$$

$$R_a = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{l_i}{k_i} \right) \rightarrow (m^2 \cdot C / W) \quad (9)$$

Bu eşitliklerde l_i (m) döşemeyi oluşturan tabaka kalınlıklarını k_i (W/m°C) tabaka kalınlıklarının ısı iletim katsayılarını göstermektedir. h_i taşınım katsayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

3.1.3. Boru İçindeki Taşınım Katsayısının Hesaplanması

h_i hesaplanabilmesi için Reynolds, Nusselt ve Prandtl sayılarının bilinmesi gerekir. Ortalama su sıcaklığında suyun dinamik viskozitesi, ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve özgül ısıları tablolardan bulunduktan sonra;

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}, \quad Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad \text{ve} \quad Nu = 0,023 \cdot R_e^{0,8} \cdot Pr^n \quad \text{hesaplanabilir.} \quad (10)$$

$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$ formülündeki n katsayısı sistem ısıtıyor ise 0.4, soğuyorsa 0.3 alınmalıdır.

$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$ formülü $0,7 \leq Pr \leq 160$ ve $Re > 10000$ olduğunda geçerlidir.

P = yoğunluk (kg/m³)

μ = dinamik viskozite (kg/ms),

V = boru içindeki su hızı (m/s)

D = boru dış çapı (m)

C_p = özgül ısı (j/kg°C)

k = Suyun ısı iletim katsayısı(W/m°C)

$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$ formülü %25 civarında hata payıyla hesaplanır. Hatayı %10'a kadar düşürecek daha kompleks formüller vardır. Ancak h_i taşınım katsayısının etkisi çok küçük olduğundan hesaplamalarda bu formül yeterli olacaktır.

Boru girişindeki hidrodinamik giriş uzunluğu türbülanslı akış için çok küçük olduğundan dikkate alınmamıştır.

Yukarıdaki eşitliklerinden önce reynolds ve prandtl sayıları daha sonra nusselt sayısı hesaplanır. Nusselt sayısı bulunduktan sonra aşağıdaki eşitlikten boru içindeki taşınım katsayısı h_i hesaplanabilir.

$$Nu = \frac{h_i \cdot D}{k} \rightarrow h_i = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (11)$$

3.1.4. Yüzey Sıcaklığının Seçimi

Üst döşemedeki yüzey sıcaklığı insanı rahatsız edecek sınırları geçmemelidir. Bu sınırlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. Maksimum Yüze Sıcaklıkları

Mekanlar	Max.Yüze Sıcaklığı(°C)
Ayak basılmayan kenar bölgeler	35
Banyo,havuz vb ıslak hacimler	33
Ayak basılan iç bölgeler	29

Maksimum yüze sıcaklığına bağlı olarak döşeme yüzeyinden elde edilecek max.ısı akısı arasında;

$$\dot{q}_{ü} = 8,92(T_{yü}-T_{ü})^{1.1} \rightarrow (W/m^2) \text{ bağıntısı yatılabilir.} \quad (12)$$

Bu ilişki aşağıda Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ty-Tü Sıcaklık Farkına Bağlı Maksimum Isı Akıları

Bu tabloya göre 20 °C oda sıcaklığı için 1 m²'lik yüzeyden maksimum 100 W ısı alınabilir. 100 W'lık ısı 29 °C'lik yüze sıcaklığı sağlar demektir. Alt yüze sıcaklığı ise alt ortam sıcaklığından 2 °C fazla alınabilir.

3.2. Toprak Temaslı Döşemelerde Hesap Yöntemi

Aşağıdaki çizime göre üst ve alt yüzeye transfer olan ısı akılarını yazacak olursak; [2]

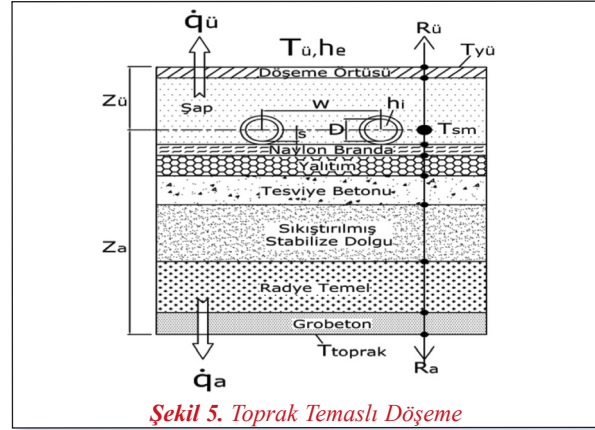
$$\dot{q}_{ü} = \frac{Z_{ü} \cdot S_{ü}}{R_{ü} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{yü}) \rightarrow (W / m^2) \quad (1)$$

$$S_{ü} = \frac{2 \pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_{ü}}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (2)$$

Tablo 3. Toprak Sıcaklıkları

Dış ortam Sıcaklığı(°C)	3	0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27
Döşeme toprak Sıcaklığı(°C)	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Duvarla temaslı toprak Sıc.(°C)	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5

Not: Bu sıcaklıklar 1 m derinlikteki sıcaklıklardır.

**Şekil 5. Toprak Temaslı Döşeme**

$$\dot{q}_{a} = \frac{Z_{a} \cdot S_{a}}{R_{a} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{t}) \rightarrow (W / m^2) \quad (13)$$

$$S_{a} = \frac{2 \pi L}{\ln\left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_{a}}{w}\right)} \rightarrow (m) \quad (14)$$

Katlar arasındaki döşemeden farklı olarak burada yüze alt sıcaklığı (T_{ya}) yerine toprak sıcaklığı (T_t) nin kullanılmasıdır. Aşağıdaki tabloda dış ortam sıcaklığına bağlı olarak toprak sıcaklıkları verilmiştir.

Her iki döşeme tipinde de alt kısma transfer olan ısı miktarı, üst kısma transfer olan ısıнын % 20'sini geçmemelidir.

4. DÖŞEMEDEN ISITMA SİSTEMLERİNDE ÜST DÖŞEME ÖZELLİKLERİ

Diğer parametreler gibi üst döşeme malzemesinin ne olacağına proje aşamasında karar verilir. Piyasadaki bazı firmalar döşemeden ısıtma abaklarını üst döşeme ısıl direncine bağlı olarak hazırlamaktadır. Döşeme malzemesi belirlendikten sonra döşeme tipine bağlı olarak toplam ısıl direnç hesaplanır. Aşağıdaki tabloda bazı döşeme malzemeleri, ısı iletim katsayıları ve ısıl dirençleri verilmiştir.

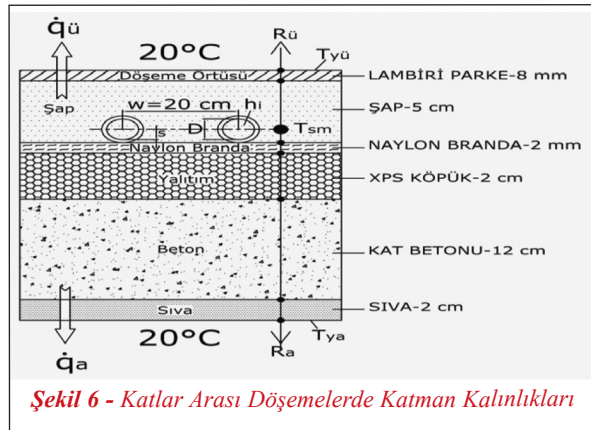
Makale**Tablo 4. Üst Döşeme Çeşitleri[1]**

Çeşitli Döşeme Malzemeleri ve Özellikleri				
Malzeme Cinsi	Kalınlık(mm)	Yoğunluk(kg/m ³)	Isı iletim katsayısı(W/mK)	Isıl direnci(m ² K/W)
Laminant parke	8	900	0,21	0,038
Halı 335g/m ²	6	-	-	0,070
Halı 780g/m ²	14	-	-	0,230
Seramik Fayans	13	-	1,00	0,013
Mermer	30	2500	2,10	0,014

5. DÖŞEME TIPLERİ İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR

5.1. Çok Katlı Yapılarda Katlar Arası Döşemeler İçin Örnek Hesaplama

Örnek 1: Aşağıda tanımlanan verilere ve Şekil 5'deki döşeme detayına bağlı olarak; döşemeden, üst ve alt ortama yayılan ısı miktarlarının hesabı özetlenmiştir. Burada esas olan döşeme yüzey sıcaklığıdır; bu sıcaklıkta birim alandan ne kadar ısı transfer edebileceğimiz hesaplanacaktır.

**Şekil 6 - Katlar Arası Döşemelerde Katman Kalınlıkları**

$$\begin{aligned}
 T_{\bar{u}} &= 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 T_{\bar{a}} &= 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 T_{y\bar{u}} &= 29 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 T_{y\bar{a}} &= 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 h_e &= 8,92 \text{ W/m}^2 \\
 s &= 2 \text{ mm} \\
 w &= 20 \text{ cm} \\
 D &= 17 \text{ mm} \\
 Z_{\bar{u}} &= 0,052 \text{ m} \\
 Z_{\bar{a}} &= 0,16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sistem çalışma sıcaklığı 50–40 °C olarak seçildiği kabul edilerek ortalama su sıcaklığı hesaplanır.

$$T_{sm} = \frac{50 + 40}{2} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

Daha sonra boru içindeki taşınım katsayısı h_i hesaplanmalıdır.

$$\begin{aligned}
 \rho &= 992,3 \text{ kg/m}^3 & \mu &= 0,608 \times 10^{-3} \text{ kg/ms} \\
 V &= 0,5 \text{ m/s} & D &= 0,017 \text{ m} \\
 C_p &= 4179,87 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} & k &= 0,634 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = 13872 \quad (10)$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} = 4 \quad (10)$$

$$Nu = 0,023(13872)^{0,8} 4^{0,4} = 82 \quad (10)$$

$$Nu = \frac{h_i \cdot D}{k} \rightarrow h_i = \frac{Nu \cdot k}{D} = 3058 \text{ W / m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

Boru içindeki taşınım katsayısı hesaplandıktan sonra döşemedeki katman özelliklerine göre ısı dirençler hesaplanır.

Kullanılacak borunun özellikleri;
 $D = 17 \text{ mm}$ çap
 $s = 2 \text{ mm}$ etkilnlığı,
 $k = 0,4 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ısı iletim katsayısı.

Şap Özellikleri;

L = 40 mm kalınlık

k = 1,4 W/m°C ısı iletim katsayısı

Üst döşemenin özellikleri;

L = 8 mm kalınlığında laminant parke,

k = 0,21 W/m°C ısı iletim katsayısı.

Naylon Brandanın Özellikleri;

L = 0,20 mm kalınlık

k = 0,19 W/m°C ısı iletim katsayısı

Yalıtım tabakasının özellikleri;

L = 20 mm kalınlık,

k = 0,028 W/m°C ısı iletim katsayısı.

Kat betonunun özellikleri;

L = 120 mm kalınlık

k = 2,1 W/m°C ısı iletim katsayısı.

Sıvanın özellikleri;

L = 20 mm kalınlık,

k = 0,87 W/m°C ısı iletim katsayısı.

$$R_{\bar{u}} = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{L_i}{k_i} \right) = 0,072 \rightarrow (m^2 \cdot C / W) \quad (8)$$

$$R_a = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{L_i}{k_i} \right) = 0,81 \rightarrow (m^2 \cdot C / W) \quad (9)$$

Isıl dirençler hesaplandıktan sonra döşemeden ve tavandan olan ısı akıları hesaplanır.

$$S_{\bar{u}} = \frac{2 \pi L}{\ln \left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_{\bar{u}}}{w} \right)} = 2,1556 \quad (m) \quad (2)$$

$$\dot{q}_{\bar{u}} = \frac{Z_{\bar{u}} \cdot S_{\bar{u}}}{R_{\bar{u}} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{y\bar{u}}) = 124 \rightarrow (W / m^2) \quad (1)$$

$$S_a = \frac{2 \pi L}{\ln \left(\frac{2w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_a}{w} \right)} = 0,999 \rightarrow (m) \quad (4)$$

$$\dot{q}_a = \frac{Z_a \cdot S_a}{R_a \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{ya}) = 23 (W / m^2) \quad (3)$$

124 W/m²'lik net ısı akısını Tablo 2'de yerine koyarsak,

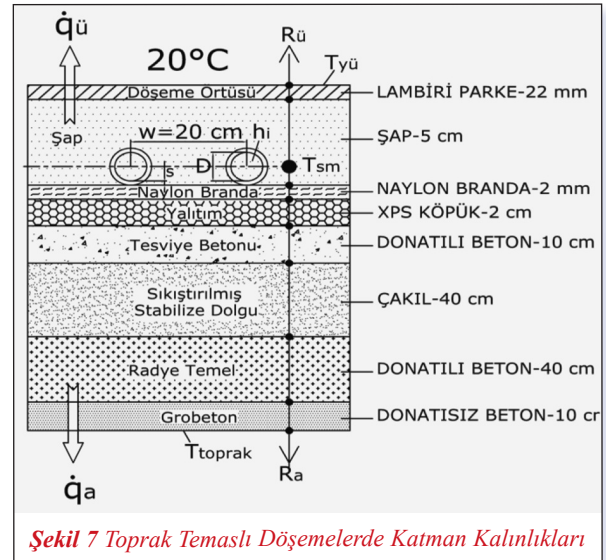
T_y-T_ü = 10,86 °C → T_ü = 18,14 °C olarak bulunur.

Görüldüğü gibi, 20 cm aralıkla döşenen borulardan, 124 W/m² ısı elde edilebilmesi için ortam sıcaklığının 18,14 °C olması gerekir. İstenilen ortam sıcaklığının 20 °C olduğu için, boru aralığının yeniden belirlenerek hesap yapılması gerekir. Ayrıca toplam ısı ihtiyacı hesaplanırken, alt ortama transfer olan ısı kayıpları, sisteme ilave edilmelidir.

Özetle 50–40 °C rejiminde çalışan 20 cm boru aralıklarındaki döşemeden 124 W/m² ısı elde edilir. Bu ısı, 29 °C maksimum yüzey sıcaklığında 18 °C civarında ortam sıcaklığı sağlamaktadır.

5.2. Toprak Temaslı Döşemeler İçin Örnek Hesaplama

Örnek 2: Aşağıda tanımlanan verilere ve Şekil 7'deki döşeme detayına bağlı olarak döşemeden, üst ve alt ortama yayılan ısı miktarlarının hesabı özetlenmiştir. Burada esas olan döşeme yüzey sıcaklığıdır; bu sıcaklıkta birim alandan ne kadar ısı transfer edileceğimizi hesaplanacaktır:



Şekil 7 Toprak Temaslı Döşemelerde Katman Kalınlıkları

Makale

$$\begin{aligned}
T_{\bar{u}} &= 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
T_{y\bar{u}} &= 29 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
h_e &= 8,92 \text{ W/m}^2 \\
s &= 2 \text{ mm} \\
w &= 20 \text{ cm} \\
D &= 17 \text{ mm} \\
Z_{\bar{u}} &= 0.052 \text{ m} \\
Z_a &= 1,02 \text{ m}
\end{aligned}$$

Tesviye betonunun özellikleri;
 $L = 10 \text{ cm}$ kalınlık,
 $L = 2,1 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ısı iletim katsayısı.

Stabilize dolgunun özellikleri;
 $L = 40 \text{ cm}$ kalınlık,
 $k = 1,4 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ısı iletim katsayısı

Radye temelin özellikleri;
 $L = 40 \text{ cm}$ kalınlık,
 $k = 2,1 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ısı iletim katsayısı.

Grobetonun özellikleri;
 $L = 10 \text{ cm}$ kalınlık,
 $k = 1,74 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ısı iletim katsayısı.

$$R_{\bar{u}} = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{L_i}{k_i} \right) = 0,072 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)} \quad (8)$$

$$R_a = \frac{1}{h_i} + \sum \left(\frac{L_i}{k_i} \right) = 1,37 \text{ (m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C / W)} \quad (9)$$

Isıl dirençler hesaplandıktan sonra döşemeden ve tavandan olan ısı akıları hesaplanır.

$$S_{\bar{u}} = \frac{2 \pi L}{\ln \left(\frac{2 w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_{\bar{u}}}{w} \right)} = 2,1556 \text{ (m)} \quad (2)$$

$$\dot{q}_{\bar{u}} = \frac{Z_{\bar{u}} \cdot S_{\bar{u}}}{R_{\bar{u}} \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_{y\bar{u}}) = 124 \rightarrow \text{(W / m}^2 \text{)} \quad (1)$$

$$S_a = \frac{2 \pi L}{\ln \left(\frac{2 w}{\pi D} \sinh \frac{2 \pi Z_a}{w} \right)} = 0,19 \text{ (m)} \quad (14)$$

Toprak sıcaklığını Tablo-3 den $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak seçersek;

$$\dot{q}_a = \frac{Z_a \cdot S_a}{R_a \cdot w \cdot L} (T_{sm} - T_t) = 25 \rightarrow \text{(W / m}^2 \text{)} \quad (13)$$

Buraya kadar yapılan hesaplamalar için firmaların özel olarak hazırladıkları ısıtma abakları bulunmaktadır. Bu abakları kullanırken dikkat edilmesi gereken uygulandıkları döşeme tipinin bilinmesidir. Genelde standart olarak kullanılan döşeme, bizimde bu çalışmada uyguladığımız 1.tip döşeme olan çok katlı yapılardaki katlar arasındaki döşemedir. Özel olarak istenilen döşeme varsa proje aşamasında bilinmesi ve ona göre ısı analizinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca boruların basınç kayıplarının hesaplanmasında yine firmaların hazırladıkları boru basınç kayıp çizelgeleri kullanılabilir.

SONUÇ

Enerji maliyetlerinin çok önem arzettiği şu günlerde daha düşük sıcaklıkta çalışan dolayısıyla yakıtta %15'e yakın tasarruf sağlayan döşemeden ısıtma sistemi giderek önem kazanmaktadır. Dolayısıyla döşemeden ısıtma sistemleri avrupanın birçok ülkesinde ve ülkemizde giderek yaygınlaşmıştır. Yaygın olarak kullanılan bu sistemde, gerekli hesapların çok dikkatli yapılması ve döşeme malzemelerinin proje aşamasında detaylandırılarak ona göre hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca insanı rahatsız edecek olan yüzey sıcaklıklarının aşılmasına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Genceli, O. F., Parmaksızoğlu, İ.C. "TMMOB Kalorifer Tesisatı"
- [2] Çengel, A.Y. "Heat Transfer A Practical Approach"
- [3] Axem Thermofloor Yerden Isıtma Sistemleri" <http://www.yerdenisi.com>"