

TASARIMA YARDIMCI BİLGİLER



DÖŞEMEDEN ISITMA TASARIMINDA YENİ BİR YAKLAŞIM

Prof.Dr. Birol KILKIŞ*
Makina Müh.Böl.
ODTÜ-ANKARA

SUMMARY

Floor heating systems which have started to find a wide application in Turkey as well, offer important advantages like minimum building heat loads and more effective utilization of low temperature waste and alternative energy resources. Although heat load calculations and design and selection of heating panels exhibit substantial differences with conventional methods, a dedicated and systematic algorithm has not been made available yet. In this study, a specific design and selection method was developed in order to enable designers and engineers to include the relevant factors affecting the heating capacity. Design charts together with correction figures were also prepared to simplify the manual design process. The paper explains this methodology with sample solutions.

ÖZET

Yapı ısıtma yüklerinin önemli ölçüde azalmasını sağlayan, ayrıca düşük sıcaklık-taki atık ve alternatif enerji kaynaklarının daha etkin kullanılabilmesine imkan tanıyan yerden ısıtma sistemleri Ülkemizde de gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Yerden ısıtma yapılacak yapılara özgü bir ısıtma yükü hesap yöntemi ile ısıtma panellerinin tasarımı ve seçiminde değişik kavramların söz konusu olmasına rağmen henüz Ülkemizde bu alanda standart ve özel yöntemler geliştirilmemiştir. Bu makalede uygulayıcı ve mühendislerin tasarımı etkileyen önemli faktörleri bir arada ve gerçekçi bir biçimde dikkate almalarına imkan tanımak üzere geliştirilmiş yeni bir tasarım ve hesap yöntemi açıklanmakta ve bu amaçla hazırlanmış tasarım abak ve düzeltme faktörleri örneklerle tanıtılmaktadır.

GİRİŞ

Döşemeden ısıtma yönteminin öncelikle enerji tasarrufu ve konfor konularında gündeme getirdiği avantaj ve yeni seçenekler derginin daha önceki sayılarında açıklanmıştı [1, 2]. Bir çok avantajları olmasına karşın, döşemeden ısıtma sistemlerinin tam olarak bilinçli ve bilimsel bir yaklaşımla tasarımı ve uygulandığı söylenemez. Örneğin, döşemeden ısıtma panellerinin kapasitelerini tayin etmek için piyasada mevcut bazı abaklar hangi koşullar için hazırlandığı, hatta hangi termoplastik boru tip ve boyutları için geçerli olduğu yeterince araştırılmadan, her türlü tasarım koşulunda herhangi bir düzeltmeye tabi tutulmadan kullanılmaktadır. Bu gibi bir çok diğer faktörün tasarıma olan etkileri ya ihmal edilmekte ya da yanlış yorumlanmaktadır. Bu ça-

lışmada, yerden ısıtma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılmak üzere bir model geliştirilmiş [3], bu model kullanılarak yeni tasarım abakları çizilmiştir. Tasarımı etkileyen altı ana faktörün göz önünde tutulmasını sağlamak üzere de düzeltme çizelgeleri hazırlanmıştır. Bu yöntem elle yapılan tasarımlarda hem hassasiyet hem de hız sağlamakla birlikte, temelini oluşturan model kullanılarak bilgisayar yardımı ile tasarım da mümkündür [3]. Yöntem ne olursa olsun, geliştirilen model ve yaklaşımın yaygınlaşması gerçekleştiginde standart ve doğru tasarımlar ile döşemeden ısıtmanın teknolojik ve ekonomik yararları daha sağlıklı bir biçimde uygulamaya geçirilmiş olacaktır.

* Yazar daha önceki sayılarımızda tanıtılmıştır.

DÖŞEMEDEN ISITMA KAPASİTESİ

Arzu edilen düzeyde bir ısıtma kapasitesi-nin sağlanabilmesi için döşeme üst yüzeyinin belli bir sıcaklıkta (T_p) olması gerekir. Kapalı bir mekanda yapılan döşemeden ısıtmanın yaklaşık % 65'i ısıma, geri kalan miktarı ise taşı-nım ısı transferi ile gerçekleşmektedir. Isıma ısı transferini etkileyen ana faktörler; duvar iç yüzeyleri ortalama sıcaklığı, ısıtılan döşeme (pa-nel) yüzey tipi ve sıcaklığı, ile üzerindeki malze-meler, mekan geometrisi, duvar ve örtü renkleri-dir. Duvar iç yüzeyleri ortalama sıcaklığı ise pen-cere-duvar oranına, iç duvar-dış duvar oranına, mekanın iç sıcaklığına ve binadaki konumuna, duvar yapı ve yalıtım özelliklerine bağlıdır. Isı taşınımı ise döşeme yüzey ve ortam sıcaklıkla-rına, mekanın boyutlarına ve havanın yoğunlu-ğuna dolayısı ile deniz seviyesinden olan yüksekliğe bağlıdır. Görüldüğü üzere panel konstrüksiyonu ve yapı özellikleri sabit tutulsa dahi, belirli bir yöreye ve mekan konum ve boyutlarına göre hazırlanmış bir tasarım abağının kullanılmasında dikkatli davranılmalı-dır. Örneğin İstanbul gibi ılıman bir iklime sahip ve deniz seviyesindeki bir kent için ha-zırlanmış bir abağın Ankara veya Erzurum gibi dış iklim koşulları çok farklı ve deniz seviye-sinden oldukça yüksekte bulunan kentler için kullanılması belirli hata paylarını gündeme ge-tirecektir. Sadece deniz seviyesinden olan yük-seklik ele alındığında, Ankara ve İstanbul kent-leri özelinde toplam panel ısıtma kapasitesin-deki fark % 2 dolayında olacaktır. İkinci konu olarak döşeme içindeki ısı transferi incelenme-lidir. Döşeme üst yüzey sıcaklığının gerekli bir T_p değerinde tutulabilmesi için döşeme içine belirli aralıklarla (M) ve derinlikte döşenmiş termoplastik borulardan geçirilecek su sıcaklı-ğının (T_s) tesbiti gerekir. Bu amaçla döşeme katmanlarının kalınlık ve ısı özellikleri ile ter-moplastik borularının et kalınlığı, çapı ve mal-zemesi bilinmelidir. Örneğin Polietilen-Crosslink (PE-X) malzeme ile Polipropilen-Kopolimer veya Random-Polimer (PP-C, PP-R) malzemelerin ısı iletim katsayıları oldukça farklıdır. Bu de-ğerler sırası ile 0.37 W/mK ve 0.23 W/mK'dir. Dolayısı ile belirli bir boru malzemesi için hazırlanmış abakların başka bir boru malzemesi ile yapılacak uygulamanın tasarımında kullanıl-ması da yanlış olacaktır.

Eğer döşeme üzerinde parke, halı gibi ilave katmanlar öngörülüyor ise bu ek ısıl direçlerin göz önünde tutulması doğaldır. Bu yeni ısıl dirençler nedeni ile oluşan ek sıcaklık grad-yanları neticesi yeni yüzeydeki döşeme sıcak-lığı beklenenden düşük olacak ve döşeme-mekan ısı transferini olumsuz yönde etkileyecektir. Zira döşeme-mekan toplam ısı transferi (ısıma+ taşınm) T_p ile orantılıdır. Arzu edilen ısıtma

kapasitesine kavuşmak için yapılacak tek şey döşeme yüzey sıcaklığının tekrar T_p 'ye çıkar-tılmasıdır. Bu ise tasarımda boru aralığı (M) ve/veya su sıcaklığı (T_s)'nin tekrar düzenlen-mesi ile gerçekleşir. Şu andaki uygulamalarda ise "şap kalınlığı" ve "döşeme yüzeyi" düzelt-me faktörleri kullanılarak mekanın ısı yükü zamlandırılmakta ve tasarım ona göre düzen-lenmektedir. Bu faktörlerin aşırı derecede yük-sek olduğu belirlendiği gibi ısı yüküne zam şeklinde uygulanması aşağıda açıklandığı üzere temelde yanlış ve sakıncalıdır:

i) Isı yükü, (Q_T) yani belirli bir sıcaklık-taki mekandan oluşan ısı kayıpları döşeme kat-manlarındaki değişikliğe-döşeme ısı kayıpları dışında-duyarlı değildir. Kaldı ki döşemeden ısıt-mada ek yalıtıcı katman (strapor) kullanıldığı için bu etki tamamen ihmal edilebilir boyutta-dır. Isı kayıpları yapı zarfının termofiziksel özelliklerine ve dış sıcaklığa bağlıdır. Daha açıkçası, örneğin döşemeye halı serilmesi ile o mekanın ısı yükü pratik olarak değişmez.

ii) Isı yükünün gereksiz yere zamlandırıl-ması sonunda, ısı pompası, kazan gibi tesisatın seçiminde kurulması gerekli kapasite değerleri gerçekçi olmayan bir şekilde artacaktır. Bunun sonucu olarak kapasite fazlalığına ve maliyet artışına neden olunacaktır.

Bu konudaki akılcı tek yaklaşım, yeni katmanların termofiziksel özelliklerine bağlı olarak boru sıklığı ve/veya su sıcaklığı ile oynayarak gerekli T_p değerinin en üst katman yüzeyinde tekrar oluşmasını sağlamaktır. Çeşitli yabancı standartlar sağlık ve genel kon-for açılarından döşeme yüzey sıcaklığına belirli üst sınırlar getirmişlerdir. İlgili DIN standardı bu değeri (T_{pmaks}) sık kullanılan mahaller için 26°C, seyrek kullanılan mahaller için 29°C olarak vermektedir. ASHRAE standardı da genel sınır olarak 29°C değerini kabul et-miştir. Bu kısıtlama neticesi birim döşeme yü-zeyinden elde edilebilecek yararlı ısı miktarı (q_y)'da sınırlanmış olmaktadır. Bu çalışma sı-rasında geliştirilen ve önerilen iç mekan konfor sıcaklıkları (T_a) ve nüsaade edilebilir döşeme sıcaklıkları Çizelge 1a'da verilmiştir [4]. Bu çizelgede, döşemeden ısıtmada, klasik ısıtma sistemlerine kıyasla gerçekleştirilen hissedilir konfor sıcaklığı (T_k) mukayese amacı ile verilmiştir.

DÖŞEMEDEN ISITMA TASARIM ABAKLARI

Döşeme içi ısı transferi ve döşeme üst yü-zeyi-mekan ısı transferi modellemesi neticesi yerden ısıtma tasarım abakları yeniden düzen-

lenmiştir [4]. I.ci iklim bölgesinde ve deniz seviyesindeki bir mevkiye ilişkin panel ısıtma kapasitesi abakları sırası ile 16°C, 18°C, 20°C ve 22°C mekan sıcaklığı (T_a) için verilmiştir. Burada q_y birim panel yüzeyinden mekana arz edilebilecek toplam ısı miktarı, T_s ise borular-da dolaşan aritmetik ortalama su sıcaklığıdır.

($\Delta T = 10^\circ\text{C}$ kabul edilmektedir). Bilgisayar modellemesinde göz önünde tutulan döşeme konstrüksiyonu abaklar içerisinde şematik olarak gösterilmiştir. Söz konusu abaklarda çeşitli boru aralıklarına (M) tekabül eden çözümler sunulmuştur. Abak sağ tarafında ise arzulan q_y kapasitesi için gerekli T_p sıcaklıkları verilmiştir. Görüldüğü üzere belirli bir q_y kapasitesi için tek bir T_p seçeneği, fakat birden fazla T_s ve M kombinasyonu mevcuttur. Abaklarda bulunmayan mahal sıcaklıklarında, örneğin $T_a = 17^\circ\text{C}$ için komşu

abaklar arasında interpolasyon yapılması yeterlidir. Birim boru uzunluğundan elde edilecek ısı miktarı, dolayısı ile döşenecek boru uzunluğu M ile yakından ilgilidir. M ne kadar geniş seçilir ise birim boru uzunluğundan elde edilecek ısı miktarı artmakta, dolayısı ile ısıtma sisteminin maliyeti azalmaktadır [4]. Buna karşılık gerekli T_s değeri artmaktadır. T_s değerinin belirli bir üst sınırı vardır. Yapı statiği, malzeme kararlılığı ve boru ömrü açılarından T_s 60°C'ı geçmemelidir. Ayrıca M arttıkça döşemede sıcaklık farkları belirginleşmekte, bu ise özellikle parke ve benzeri yüzey kaplama elemanlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Öte yandan mevcut ısı kaynağındaki akışkan sıcaklığı, T_s seçiminde etkindir. Özellikle atık ısı kaynaklarında düşük su sıcaklıkları söz konusudur. Ayrıca ısı pompası ısıtma tesir katsayısı da T_s ile bağlantılı olup iyi bir katsayı eldesi için T_s mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Bu karşıt etmenler nedeni ile her ne kadar tasarım döngüsüne en büyük M değeri ile başlanması önerilse de T_s değeri üzerindeki kısıtlar göz ardı edilmemelidir.

ABAK DEĞERLERİNİN DÜZELTİLMESİ

Döşemeden ısıtma kapasitesi bölümünde açıklandığı üzere, belli koşullar için hazırlanmış abaklara giriş değerleri ve abaklardan okunan değerler gerçek tasarım girdileri ışığı altında düzeltilmelidir. Bu düzeltmeler iki sınıfta toplanabilir. Bunlar; döşeme-mekan ısı transferini etkileyen faktörlere ilişkin düzeltme katsayıları ve döşeme içi ısı transferini etkileyen faktörlere ilişkin düzeltme katsayılarıdır.

Bu nedenle düzeltme katsayıları tasarım sırasında iki ayrı aşamada ele alınmalıdır.

Döşeme-Mekan Isı Transferi Düzeltme Katsayıları

Döşeme-mekan ısı transferini etkileyen faktörlerin başlıcaları, oda boyutları, denizden olan yükseklik ve dış hesap sıcaklığıdır. Bu etkenler, neticeleri ve tasarımda alınması gereken önlemler Çizelge 1b'de gösterilmiştir.

a) Oda Karakteristik Boyu

Bir mahallin boyutları büyüdükçe döşemeden yukarıya doğru olan ısı taşınım katsayısı bir miktar düşer. Mahallin en uzun kenarı (X) 10 m'nin altında ise bu etki ihmal edilir. F_1 'in yaklaşık değeri Çizelge 2'de verilmiştir.

b) Denizden olan Yükseklik

Yükseklikle hava yoğunluğu azaldığından ısı taşınımı olumsuz yönde etkilenir. Bu etkiyi simgeleyen F_2 değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

c) Dış Sıcaklık

Dış sıcaklık azaldıkça dış duvar iç yüzey sıcaklıkları da azaldığından döşemeden ısıtma ısı transferi, dolayısı ile kapasite artar. Bu etki T_p 'ye bağlı olduğundan $T_p = 25^\circ\text{C}$ ve $T_p = 29^\circ\text{C}$ için F_3 değerini veren iki ayrı çizelge hazırlanmıştır (Çizelge 4a ve 4b). Burada c, oda konumu tanım katsayısı olup, Çizelge 5'de tanımlanmıştır.

d) Kat ve Oda Konumu

Dış sıcaklık gibi, oda konumu da dış duvarların iç yüzey sıcaklığını etkilediğinden ısıtma kapasitesine etkindir. Gene iki ayrı T_p değeri için F_4 düzeltme katsayıları Çizelge 5a ve Çizelge 5b'de verilmiştir.

Döşeme İçi Isı Transfer Katsayıları

Bu konudaki faktörler, şap kalınlığı ve ilave döşeme kaplamalarıdır.

a) Şap Kalınlığı

Şap kalınlığı arttıkça yukarıya doğru ısı direnç arttığından kapasite olumsuz yönde etkilenir. Abaklarda verilen model için toplam şap kalınlığı 5 cm alınmıştır. Modelin diğer katmanları aynı kalmak kaydı ile, toplam şap kalınlığının (x_s) değiştirilmesi durumunda kul-

lanılacak F_5 katsayısı Çizelge 6a ve 6b'de gene iki farklı T_p değeri için verildiği gibi, matematiksel tanımları da yapılmıştır.

b) İlave Döşeme Katmanları

Genelde özellikle konut ve bürolarda şap üzerine parke, marley, halı gibi ilave katman veya katmanlar uygulanmaktadır. Belirli döşeme katman tip ve kalınlıkları için geliştirilen F_6 katsayı değerleri grafik olarak Şekil 1'de verilmiştir.

Özel Durumlar:

1. Üst Üste Birden Fazla Kaplama

Eğer döşemede üst üste birden fazla döşeme kaplaması var ise her bir kaplama için şekilden F_6 değerleri okunur ve toplam değeri

(F_6) aşağıdaki denklemden yaklaşık olarak bulunur:

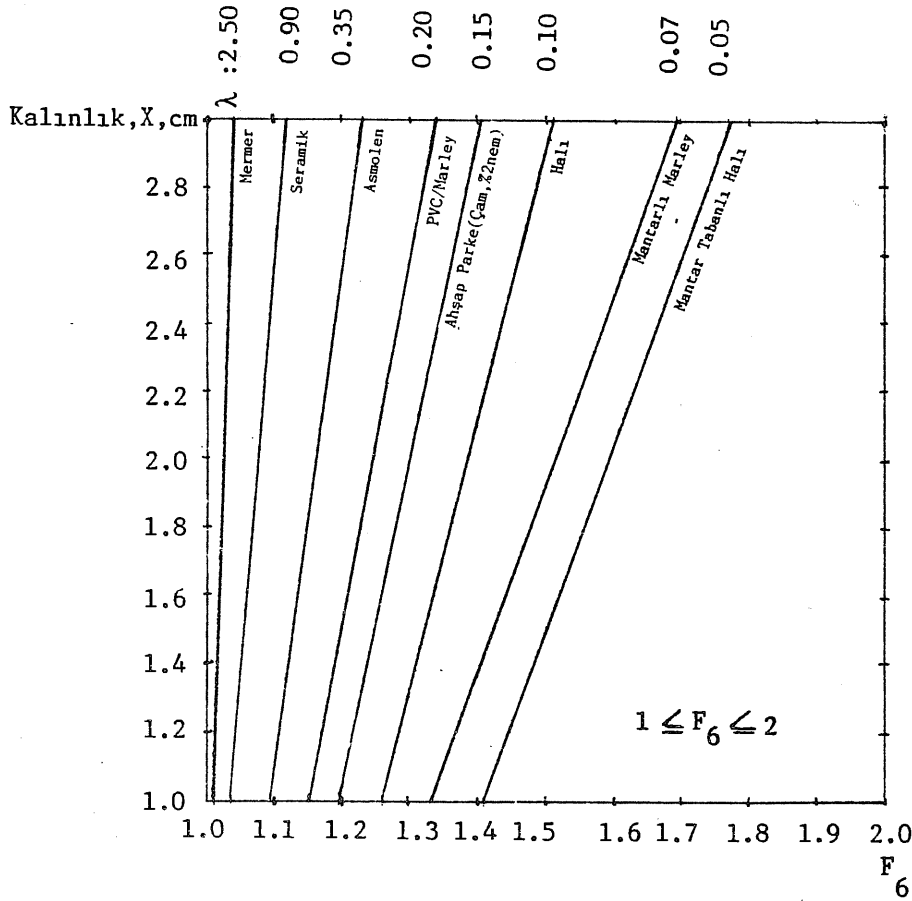
$$\bar{F}_6 \approx 2.0 - \frac{1}{\left\{ \frac{1}{2.0 - (F_6)_1} + \frac{1}{2.0 - (F_6)_2} + \dots \right\}} \quad (1)$$

2. Kısmi Kaplamalar

Isıtılan döşemede kısmi bir kaplama, örneğin bir yol halısı var ise bu kaplamaya özgü değeri (F_6') kısmi kaplama alanının (A_1), etkin olarak ısıtılan döşeme alanında (A_p) oranı kullanılarak bulunur:

$$F_6' = 1 + \frac{A_1}{A_p} \left\{ 1 - \frac{1}{F_6} \right\} \quad (2)$$

Burada F_6 Şekil 1'den okunan katsayıdır.



Şekil 1 Döşeme kaplaması düzeltme abağı, F_6 [3]

(Deniz seviyesi, II. İklim Bölgesi, $T_p = 29^\circ\text{C}$ koşullarında ve Abaklardaki konstrüksiyona göre hazırlanmıştır)

$$F_6 \approx 2 - \frac{0.2844}{0.2844 + x/\lambda}$$

x Kaplama kalınlığı,

λ malzeme ısı iletkenliği

Şu ana kadarki uygulamalarda sadece "şap kalınlığı" ve "döşeme tipi" katsayıları göz önünde tutulmakta idi. Literatürde mevcut [5] bu katsayılar gerçekçi olmayan bir yorumla zam şeklinde mütalaa edilerek ısı yüküne (Q_T) uygulanmaktadır:

$$Q'_T = Q_T \cdot F_5 \cdot F_6 \quad (3)$$

Önceden de belirtildiği gibi bu uygulama ile ısı yükleri, dolayısı ile gerekli kazan kapasitesi zahiri olarak artırılmış olmaktadır. Bu işlemi tasarım sırasında mazur gösterebilecek tek neden tasarıma başlarken sadece ısı yükünün bilinmesidir. Oda boyutlarından ısıtma yüzeyi de (A_p) az çok bilindiğinden,

$$q'_T = \frac{Q'_T}{A_p} \quad (4)$$

tarifi ve

$$q_Y \geq q'_T \quad (5)$$

koşulu ile, tasarım abaklarına girilerek M ve T_s değerleri seçilebilmektedir. Bu yöntem matematiksel olarak (Denklem 10) mantıklı görülse de mahzuru önceki bölümde açıklanmıştır. Bu mahzurları gidermek için aşağıdaki iki aşamalı yöntem uygulanmalıdır.

1.ci Aşama:

Döşeme yüzey sıcaklığının belirlenmesi: Aşağıya girilecek herhangi bir q_Y değerinin F_1 , F_2 , F_3 , F_4 ile düzeltilmiş hali (dolayısı ile T_p), ihtiyacı karşılayacak büyüklükte olmalıdır:

$$q'_Y = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_3 \cdot F_4} q_Y \quad (6)$$

Burada q'_Y düzeltilmiş (gerçekleşen) ısıtma kapasitesidir.

$$q'_Y \geq \frac{Q_T}{A_p} \quad (Q_T: \text{düzeltilmemiş, gerçek birim ısı yükü}) \quad (7)$$

Yukarıdaki denklemin eşitlik koşulu kullanılarak:

$$q'_Y = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_3 \cdot F_4} q_Y = \frac{Q_T}{A_p} \quad (8)$$

8 numaralı denklem kullanılarak abakta girilmesi gereken ve düzeltildikten sonra talebi karşılayacak q_Y değeri bulunur:

$$q_Y = \frac{F_3 \cdot F_4}{F_1 \cdot F_2} \frac{Q_T}{A_p} \quad (9)$$

Düzeltilme katsayıları tasarım girdileri ışığı altında ilgili çizelgelerden okunur.

Örnek 1

Isı yükü 1400 W olan bir odanın 20 m²'lik döşemesinde ısıtma yapılacaktır. Bu amaçla, $T_a = 20^\circ\text{C}$ iç sıcaklık koşulu için gerekli döşeme sıcaklığını ideal abak koşullarında bulunuz.

$$q'_Y = q_Y \text{ (ideal koşullar)} = \frac{Q_T}{A_p} = \frac{1400 \text{ W}}{20 \text{ m}^2} = 70 \text{ W/m}^2$$

$$T_a = 20^\circ\text{C} \text{ abağından } T_p \approx 26^\circ\text{C}$$

$$M=350 \text{ mm}, T_s=45^\circ\text{C} \text{ veya } M=250 \text{ mm}, T_s=42^\circ\text{C}$$

Örnek 2

Önceki örnekte ideal koşullarda incelenen odanın gerçek tasarım girdileri nedeni ile aşağıdaki düzeltilme katsayıları tesbit olunmuştur:

$$F_1 = 0.950, F_2 = 0.980, F_3 = 1.00, F_4 = 1.00$$

Bu durumda gerekli T_p değerini bulunuz:

$$q_Y = \frac{1 \times 1}{0.950 \times 0.980} 70 = 75.18 \text{ W/m}^2$$

Aynı abağı bu kez $q_Y = 75.18 \text{ W/m}^2$ değeri ile girilerek gerekli döşeme sıcaklığı, $T'_p = 26.5^\circ\text{C}$ olarak bulunur. M ve T_s çözümleri için bazı seçenekler:

$$\left. \begin{array}{ll} M=350 \text{ mm} & T_s=46.8^\circ\text{C} \\ M=250 \text{ mm} & T_s=43.8^\circ\text{C} \end{array} \right\} T'_p = 26.5^\circ\text{C}$$

vb. gibidir.

2.ci Aşama

Boru aralığı ve su sıcaklığının düzeltilmesi: Eğer şap kalınlığı abak şartlarından ($x_s = 5 \text{ cm}$) farklı ve/veya ilave döşeme kaplaması var ise döşeme sıcaklığını sabit tutmak amacı ile M ve/veya T_s değiştirilmelidir. Abaklar ile tasarım yapıldığında sıcaklık gradyanları hesaplanmadığından gerekli düzeltmelerin doğrudan yapılması mümkün değildir. Bu nedenle sırf yeni M ve T_s değerlerini okumak için F_5 ve F_6 katsayıları "geçici olarak" Q_T 'ye uygulanır. Bu nedenle bu faktörler parantez içersinde gösterilmiştir.

$$q_Y = (F_5 \cdot F_6) \frac{Q_T}{A_p} \quad (T_p = \text{sabit}) \quad (10)$$

Örnek 3

Bir numaralı örnekte oda şap kalınlığı 6 cm olup 1 cm parke döşelidir. Bu koşullar altında yeni tasarım noktalarını bulunuz.

Çizelge 6'dan, $F_5=1.028$; Şekil 1'den $F_6=1.2$

$$q_Y = 1.028 \times 1.2 \times 70 = 86.3 \text{ W/m}^2$$

Bu geçici değerle abağa girildiğinde uygun çözümler:

$$\begin{aligned} M &= 350 \text{ mm} & T_s &= 51^\circ\text{C} \\ M &= 250 \text{ mm} & T_s &= 47^\circ\text{C} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} M &= 350 \text{ mm} \\ M &= 250 \text{ mm} \end{aligned}} \right\} T'_p = 27.6^\circ\text{C}$$

Görüldüğü üzere $T'_p=27.6^\circ\text{C}$ koşulunu yeni şartlar altında koruyabilmek için T_s değerleri sırası ile yaklaşık 6°C ve 5°C kadar artırılmalıdır. Bu sağlandığı takdirde döşeme üst yüzeyinde sıcaklık tekrar istenen düzeye gelecek ve arzu edilen ısıtma kapasitesi gerçekleşecektir.

Sonuç olarak, örneğin $M=350 \text{ mm}$, $T_s=51^\circ\text{C}$ işletme koşulunda T'_p gene 27.6°C olacak ve döşemeden 70 W/m^2 'lik bir ısıtma kapasitesi sağlanabilecektir.

ÖRNEK PROBLEM

Ankara'da inşa edilecek bir otelin balo salonu, çatı katında ve köşe konumundadır. Salon ölçüleri 40×20 metre olup, kenarda gerekli paylar bırakıldığında 700 m^2 'lik bir alanda döşemeden ısıtma yapılabilir. Döşemeden ısıtma için hesap edilen ısı yükü $70\,000 \text{ W}$ 'dir. Döşeme şap kalınlığı 6 cm 'dir. 2 cm kalınlığında ahşap parke döşenecek ve ısıtılan yüzeyin % 60'ına 1 cm kalınlığında yün halı serilecektir. Döşemeden ısıtma parametrelerini tesbit ediniz.

Çizelge 1a'dan, toplantı salonu için $T_a=18^\circ\text{C}$ seçildi, $T_{\text{pmaks}}=29^\circ\text{C}$ bulundu. $T_p=25^\circ\text{C}$ tahmini ile

Düzeltilme Katsayıları:

- $Deş = 40 \times 20 \times 4 / (40 + 20 + 40 + 20) = 26.67 \text{ m}$
Çizelge 2'den $F_1=0.95$
- $h = 894 \text{ m}$ (Ankara), Çizelge 3'den
 $F_2 = 0.98$

- $c=3$ (köşe ve çatı konumu, Çizelge 5'den)
 $T_o = -12^\circ\text{C}$ (Ankara), Çizelge 4a'dan
 $F_3^o=0.80 \times 0.98=0.784$ (T_p 25°C civarı olması düşünülerek)

- Çizelge 5a'dan $F_4 = 0.890$
- Çizelge 6b'den $F_5=1.025$
- Parke için $F_6=1.3$

$$\text{Halı için } F_6=1.27, F'_6 = 1 + \frac{0.6}{1} \left\{ 1 - \frac{1}{1.3} \right\} \approx 1.14$$

$$\bar{F}_6 = 2 - \frac{1}{\frac{1}{2-1.3} + \frac{1}{2-1.14}} = 1.61$$

1.ci aşama

Denklem 9'dan:

$$q_Y = \frac{0.784 \times 0.890}{0.950 \times 0.980} \cdot \frac{70.000}{700} = 74.94 \text{ W/m}^2 \text{ (abaktan)}$$

$T_a = 18^\circ\text{C}$ abagından, $T'_p=25.6^\circ\text{C}$ (T_{pmaks} 'dan az, dolayısı ile kabul edildi). Gerçek ısıtma kapasitesi ise 100 W/m^2 'dir (Denklem 8).

2.ci aşama

Denklem 10'dan ve abak değerleri ile:

$$q_Y = (1.025 \times 1.61) \times 74.94 = 123.67 \text{ W/m}^2$$

$T_a=18^\circ\text{C}$ abagından, "geçici" q_Y (123.67) değeri ile tasarım seçenekleri:

- $M = 350 \text{ mm} \quad T_s = 60.5^\circ\text{C}$ (kabul edilmez)
- $M = 300 \text{ mm} \quad T_s = 57.2^\circ\text{C}$ (sınırı yakın)
- $M = 250 \text{ mm} \quad T_s = 55^\circ\text{C}$
- $M = 200 \text{ mm} \quad T_s = 52.8^\circ\text{C}$

Sonuç olarak, $M=200 \text{ mm}$, $T_s=52.8^\circ\text{C}$ seçildi. Bu suretle, $T_{\text{giriş}}=52.8+10/2=57.8^\circ\text{C}$, $T_{\text{çıkış}}=52.8-10/2=47.8^\circ\text{C}$ ($\Delta T_s=10^\circ\text{C}$), $T'_p=25.6^\circ\text{C}$ olmaktadır. $T_s=55^\circ\text{C}$ seçilse idi, kolektörlerden odalara gelen borularda T_s , 60°C olacaktı.

SONUÇ

Örneklerde de görüldüğü üzere tasarım abakları kullanıldığı durumlarda, kapasiteyi etkileyen önemli faktörlerin bir arada gözetilmesi gerekmektedir. Şu anda, uygulamada kullanılan yöntem ile ısı yükleri "şap kalınlığı" ve "döşeme kaplaması" için gerçekten zamlandı-

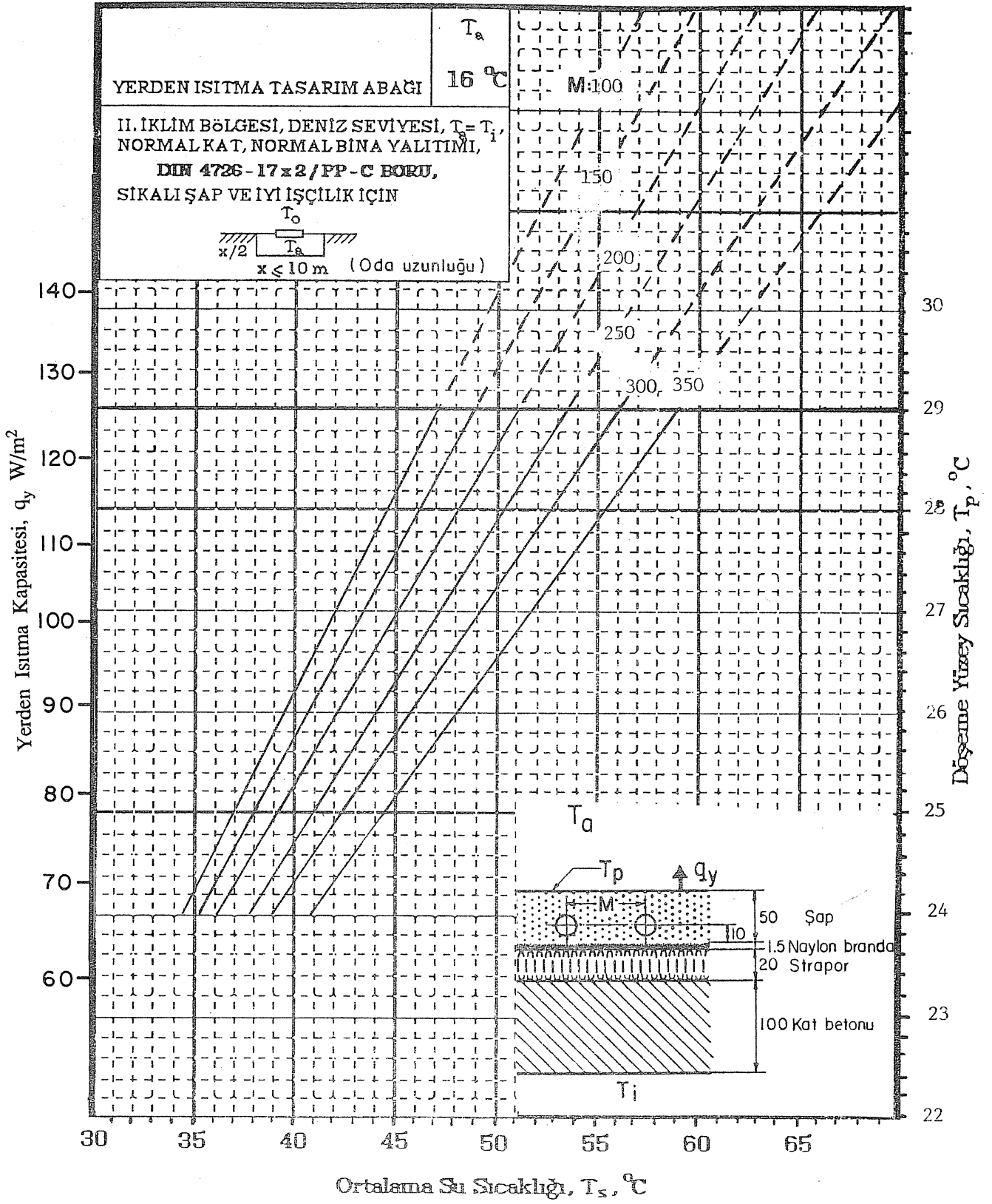
ılmakta, bu nedenle de bir çok kez, müsaade edilebilir döşeme sıcaklığı sınırı içersinde kapasitenin yetersiz kaldığı zannedilmektedir. Aynı yaklaşım örnek problem için uygulansa idi, $q_Y=123.67 \text{ W/m}^2$ değeri için $T'_p \approx 29.8^\circ\text{C}$ olacak, bu değer 29°C sınırını aştığı için tasarımdan vazgeçilecek veya tasarım kabul edilir sınırlar içinde kalsa bile kazan yükünde $123.67 \times 700 \text{ m}^2 = 86570 \text{ W}$ değeri temel alınarak kazan gereksiz büyüklükte seçilecektir. Halbuki salonun gerçek ısı yükü $70\ 000 \text{ W}$ 'dır. Görülüyorki F_5 ve F_6 katsayıları gerçek ısı yükünü karşılamak üzere, sadece döşeme üst yüzey sıcaklığını gerekli değerde tutmak için boru aralığı ve/veya su sıcaklığını düzeltme aşamasında Q_T 'ya tatbik olunmalıdır. Şu anda uygulamada raslanan bu tür kavram karışıklıkları giderildiğinde ve standart abak ve gerçekçi düzeltme katsayıları kullanıldığında şüphesiz uygulamalar daha akılcı ve bilinçli olacaktır.

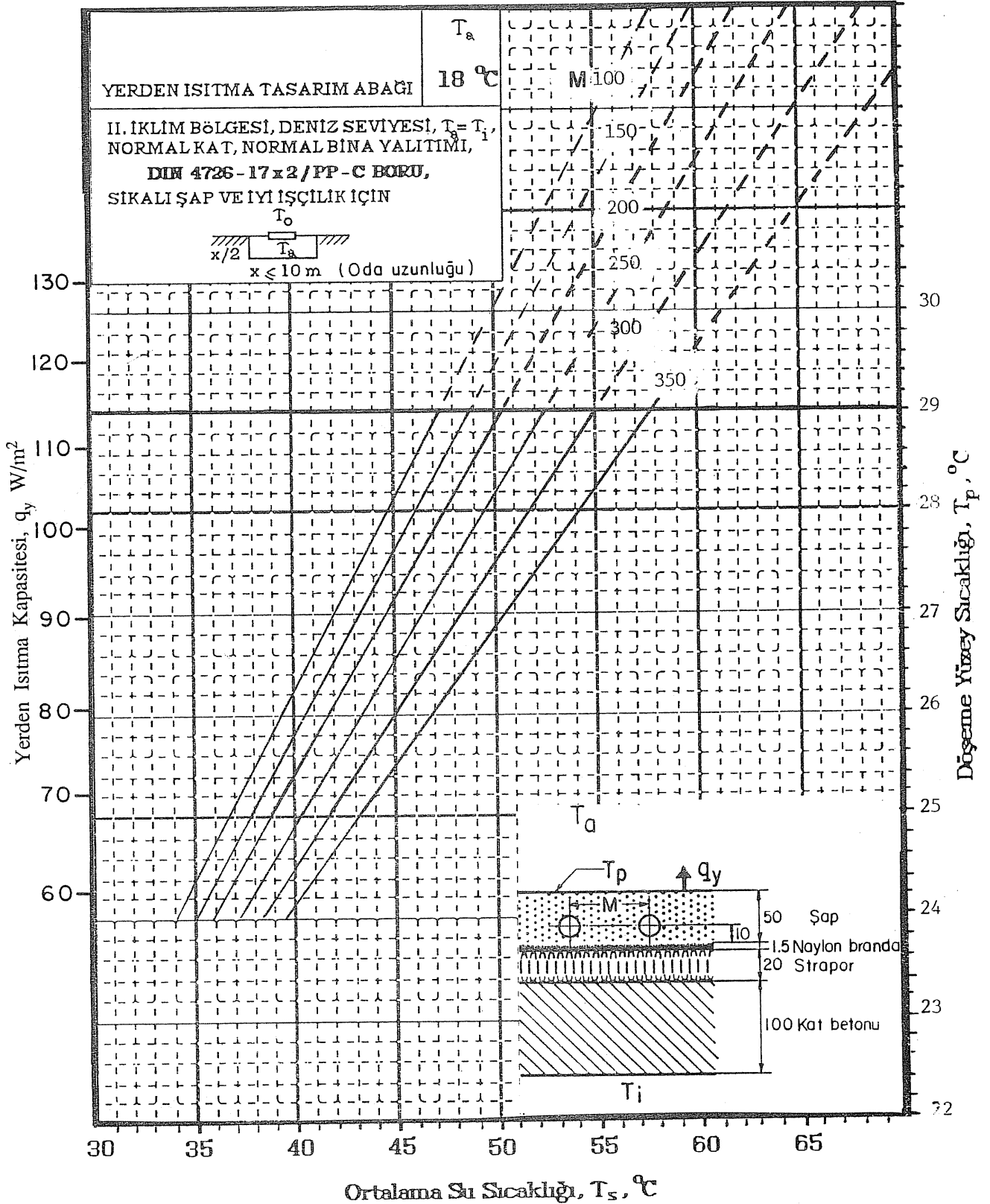
TEŞEKKÜR

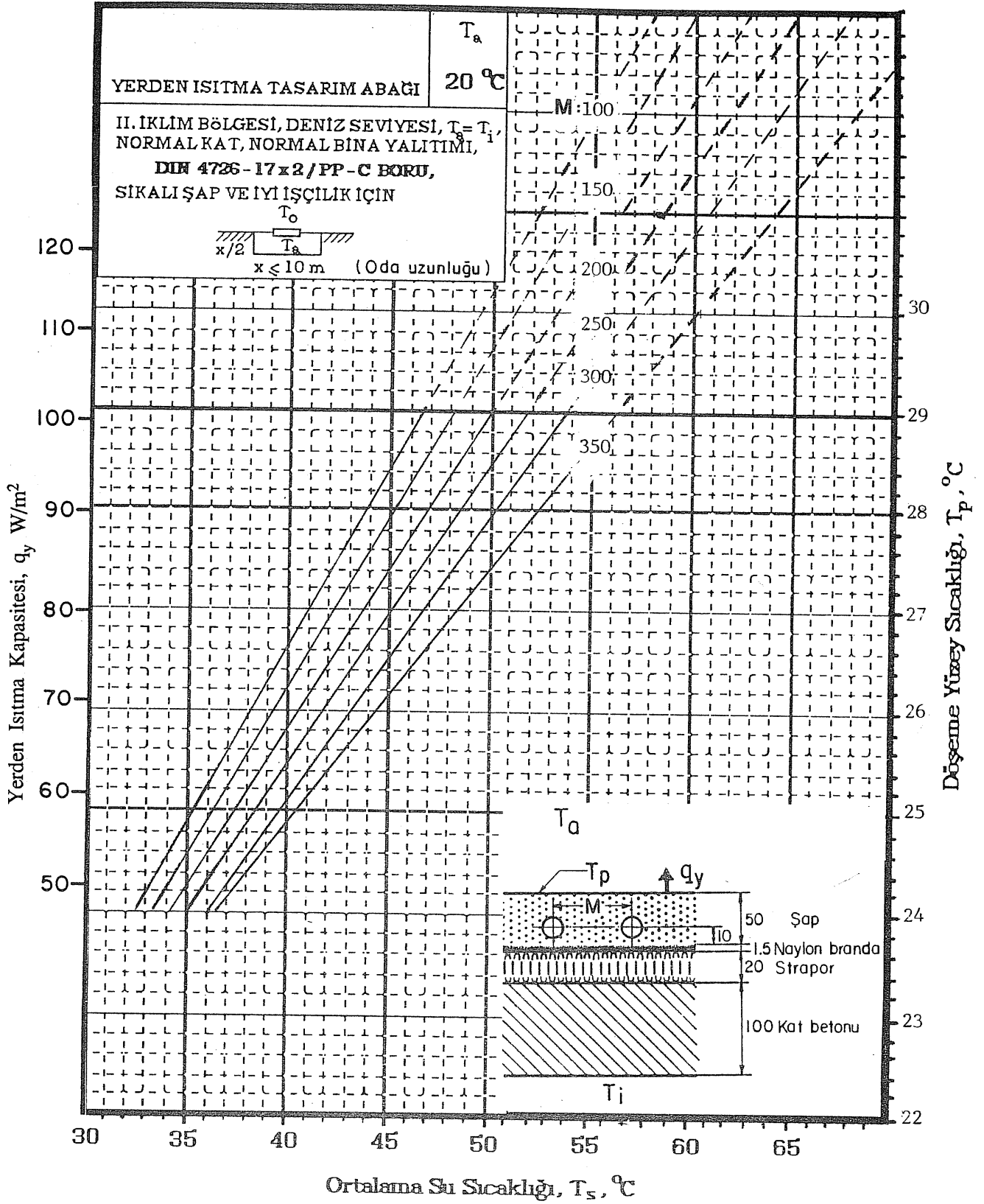
Yazar, bu çalışmada destekleri bulunan ISIYER A.Ş.'ye katkıları için teşekkür eder.

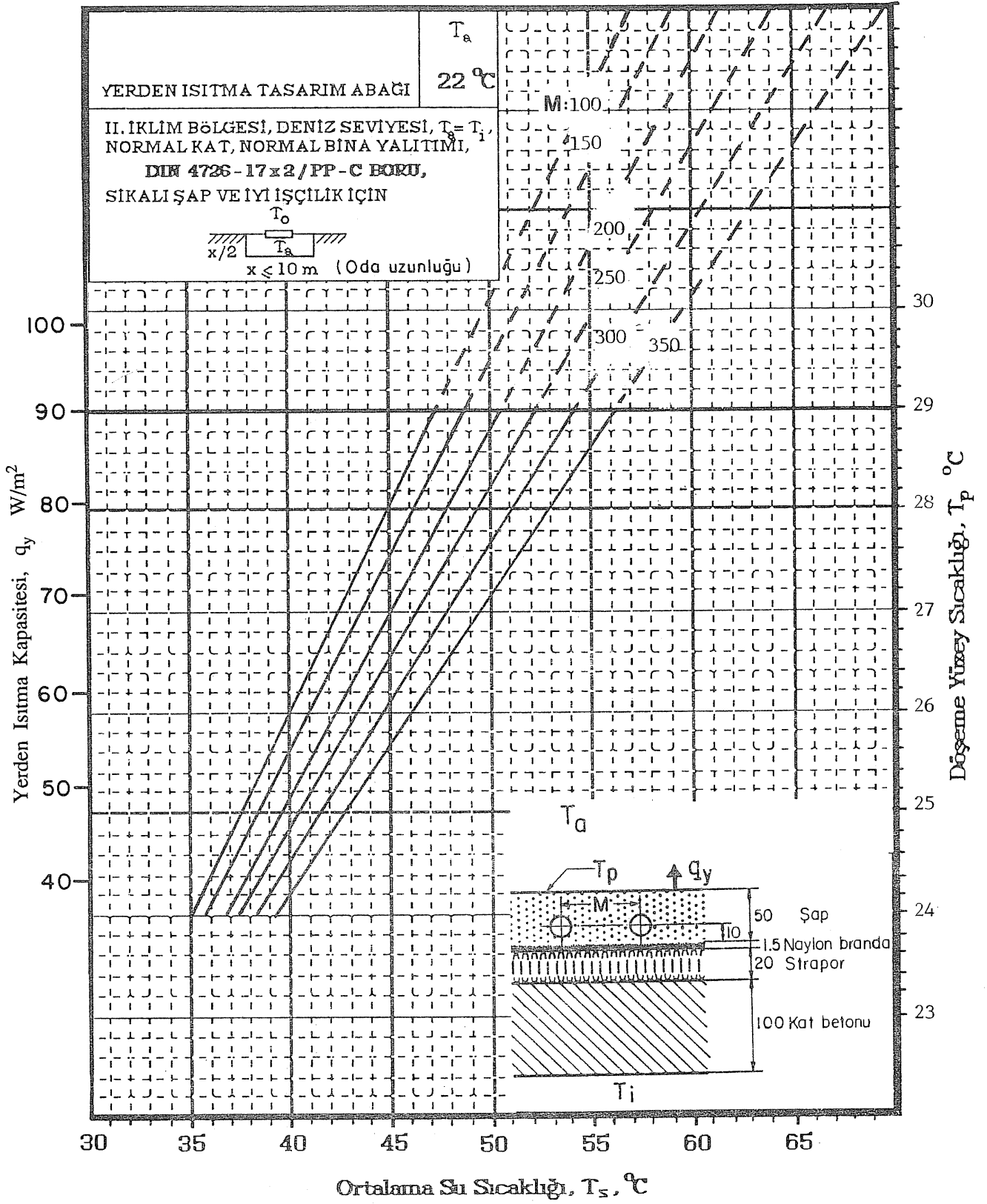
KAYNAKLAR

1. Acar, M., "Döşemeden Isıtma Sistemi ve Ekonomikliği", Isı Bilimi ve Tekniği, Cilt 10, Sayı 3, sayfa 43-52, 1987.
2. Kılış, B., "Döşemeden Isıtma Sistemi Hakkında Genel Bir Değerlendirme", Isı Bilimi ve Tekniği, Cilt 11, Sayı 3, sayfa 39-42, 1988.
3. Kılış, B., "Döşemeden Isıtma Projelendirmesi Yönünden TS 2164'de Yapılması Gereken Değişiklikler ve Önerilen Hesap Algoritması", TERMO 89 Uluslararası Fuar ve Semineri, Mart 1989, İstanbul.
4. Kılış, B., "Yapılarda Panel Isıtma ve Soğutma: Teori ve Uygulama Esasları", 235 sayfa, ODTÜ Basım İşliği, Ankara, 1990.
5. ----, "Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Esasları", 8.ci Baskı, MMO Yayını, No.84, Ankara, 1989.









Çizelge 1a. Yerden Isıtma İçin Mahal Hesap Sıcaklığı ve Müsaade Edilebilir Döşeme Sıcaklıkları [3]

Mahal Tipi	DÖŞEMEDEN ISITMA		
	T_a (°C)	Eşdeğer T_k (°C)	Maksimum $T_{p,max}$ (°C)
1. KONUTLAR			
-Oturma odası (salon)	+ 18	+ 22	+ 26
-Yatak odası	+ 17	+ 20	+ 29
-Antre, koridor	+ 17	+ 21	+ 29
-Hela, mutfak	+ 17	+ 20	+ 29
-Banyo	+ 20	+ 23	+ 29
-Merdiven (1)	+ 10	+ 10	+ 29
2. İŞ VE İDARE BİNALARI			
-Dükkan	+ 18	+ 20	+ 29
-Lokanta, otel, pansiyon odası	+ 18	+ 20	+ 29
-Bekleme odası	+ 18	+ 20	+ 29
-Koridor, hela	+ 16	+ 19	+ 29
-Toplantı salonu	+ 18	+ 20	+ 29
-Büro hacimleri	+ 19	+ 21	+ 26
-Arşiv hacimleri	+ 16	+ 18	+ 26
-Merdiven	+ 10	+ 10	+ 29
3. OKULLAR			
-Derslikler	+ 18	+ 20	+ 26
-Laboratuvar, atelye	+ 17	+ 20	+ 29
-Teneffüs salonları, helalar	+ 15	+ 17	+ 29
-Spor salonu	+ 17	+ 19	+ 26
-Konferans salonu	+ 17	+ 20	+ 29
-Öğretmen odası	+ 18	+ 21	+ 26
-Revir	+ 18	+ 21	+ 29
-Duş ve giyinme odaları	+ 21	+ 23	+ 26
-Kreş odaları	+ 18	+ 21	+ 25
-Oyun odaları	+ 18	+ 20	+ 25
4. HASTANE YAPILARI			
-Hasta odası	+ 18	+ 20	+ 25
-Banyo, duş, ameliyat odası (2)	+ 18	+ 20	+ 25
-Eczane, laboratuvar hacimleri	+ 18	+ 20	+ 25
-Merdiven, koridor, bekleme salonu, helalar	+ 16	+ 18	+ 29
5. CEZA VE TUTUK EVİ			
-Odalar	+ 18	+ 20	+ 26
-Hafif iş atelyesi ve koğuş	+ 16	+ 18	+ 26
-Banyo, duş, soyunma hacimleri	+ 20	+ 23	+ 26
-Hela	+ 15	+ 18	+ 29
6. FABRİKA YAPILARI			
-Ağır iş atelyesi ve montaj yeri	+ 15	+ 17	+ 26
-Hafif iş atelyesi	+ 17	+ 19	+ 29
-Kadın işçilerin çalıştığı örgü biki dikiş yerleri	+ 18	+ 20	+ 26
7. ÇEŞİTLİ YERLER			
- Cami	+ 16	+ 17	+ 26
-Sergi evleri	+ 15	+ 17	+ 26
-Sinema, tiyatro salonları	+ 16	+ 18	+ 26
-Garajlar	+ 10	+ 12	+ 26
-Ahır ve ağıl	+ 12	+ 14	+ 25
-Yüzme havuzu			
. Bekleme salonu	+ 18	+ 21	+ 29
. Havuz çevresi	+ 21	+ 23	+ 26
. Soyunma, giyinme odaları	+ 19	+ 22	+ 26
. Duş hacmi ve geçişleri	+ 19	+ 22	+ 26
. Merdivenler	+ 18	+ 20	+ 26
-Hamam (3)	+ 23	+ 25	+ 26
-Jimnastik salonu	+ 16	+ 18	+ 26
-Lokanta	+ 17	+ 19	+ 29
-Kütüphane	+ 18	+ 20	+ 26
-Seralar (4)			
. Normal bitkiler	+ 14	+ 15	+ 22
. Sıcak iklim bitkileri	+ 22	+ 25	+ 24

- (1) - Yerden ısıtma bu gibi yerlerde merdiven sahanlıklarında ve gerekirse duvarda yapılır.
- (2) - Aktif röntgen çekimi yapılan odalarda veya yoğun ışın tedavi odalarında radyasyonun suyu etkilememesi için yerden ısıtma dahil, sıcak sulu ısıtma yapılmamalıdır.
- (3) - Konforu artırmak için göbekteşi ve duvarlardan da panel ısıtması yapılır.
- (4) - Yerden ısıtma seçiminde bitki türüne dikkat edilmelidir.

Çizelge 1b. Tasarım Abağı Düzeltme Katsayıları [4]

DÖŞEME-MEKAN ISI TRANSFERİ	ETMEN	ETKİSİ	TASARIMDA ALINMASI GEREKLİ ÖNLEMLER	DÜZELTME KATSAYISI
1	Oda Karakteristik Boyu	Oda büyüklüğe ısıtma kapasitesi azalır	DÖŞEME YÜZEY SICAKLIĞI, T_p DEĞİŞTİRİLMELİDİR	F_1 (Çizelge 2)
	Denizden Olan Yükseklik	Yükseklik arttıkça ısıtma kapasitesi azalır		F_2 (Çizelge 3)
	Dış Hesap Sıcaklığı, T_o	T_o azaldıkça ısıtma kapasitesi artar		F_3 (Çizelge 4a, 4b)
	Kat ve Oda Konumu, c	İç odalarda ve orta katlarda ısıtma kapasitesi azalır		F_4 (Çizelge 5a, 5b)
2	Toplam Şap Kalınlığı, x_{ϕ}	Kalınlık arttıkça döşeme yüzey sıcaklığı azalır	BORU ARALIĞI (M) VE/VEYA ORTALAMA SU SICAKLIĞI ($\bar{T}_s$) DEĞİŞTİRİLMELİDİR	F_5 (Çizelge 6)
	Döşeme Kaplaması(ları)	Döşeme yüzey sıcaklığı azalır		F_6 (Şekil 1)

Çizelge 2. Yerden Isıtmada Oda Karakteristik Boyu Düzeltme Faktörü, F_1 [4]

Oda Boyu, X	$X \leq 10$ m	$X > 10$ m
F_1	1	$F_1 \equiv \frac{0.65 \left(\frac{4.067}{D_{eş}} \right)^{0.08} + 1}{1.65}$

Not:

$$D_{eş} = 4 \times \text{Döşeme alanı} / \text{Oda çevresi}$$

Çizelge 3. Yerden Isıtmada Deniz Seviyesinden olan Yükseklik Düzeltme Faktörü, F_2 [4]

Denizden olan yükseklik, h (m)	$h < 200$	$200 \leq h \leq 500$	$500 < h \leq 900$	$900 < h \leq 1300$	$1300 < h \leq 1800$	$1800 < h \leq 2000$	$2200 < h \leq 2750$
F_2	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94

Çizelge 4a. Yerden Isıtmada Dış Hesap Sıcaklığı Düzeltme Faktörü, F_3 [4]

$T_p = 25^\circ\text{C}$, $T_a \cong 20^\circ\text{C}$, NORMAL KATLAR⁽¹⁾ İÇİN

Dış Hesap Sıcaklığı $T_o (^{\circ}\text{C})$	$-30^\circ \leq T_o \leq -20^\circ$			$-20^\circ < T_o \leq -15^\circ$			$-15^\circ < T_o \leq -10^\circ$			$-10^\circ < T_o \leq -5^\circ$			$-5^\circ < T_o \leq 0^\circ$			$T_o > 0^\circ\text{C}$		
F_3	c:0 ⁽²⁾	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2
	0.90	0.83	0.73	1.0	0.85	0.77	1.0	0.88	0.80	1.0	0.90	0.85	1.0	0.91	0.89	1.0	1.06	1.10

Not:

- Çatı katlarında, $\begin{cases} T_o \leq 0^\circ\text{C} \text{ için, (c: 2) } F_3 \text{ değerini 0.98 ile çarpınız} \\ T_o > 0^\circ\text{C} \text{ için, (c: 2) } F_3 \text{ değerini 1.05 ile çarpınız} \end{cases}$
c: 3 koşulu için :
- c terimi için Çizelge 5'e bakınız.
- Toprak temaslı katlarda $T_o \leq 0^\circ\text{C}$ için F_3 değerini 1.03 ile çarpınız
 $T_o > 0^\circ\text{C}$ için F_3 değerini 0.98 ile çarpınız

Çizelge 4b. Yerden Isıtmada Dış Hesap Sıcaklığı Düzeltme Faktörü, F_3 [4]

$T_p = 29^\circ\text{C}$ ⁽¹⁾, $T_a \cong 20^\circ\text{C}$, NORMAL KATLAR İÇİN

Dış Hesap Sıcaklığı $T_o (^{\circ}\text{C})$	$-30^\circ \leq T_o \leq -20^\circ$			$-20^\circ < T_o \leq -15^\circ$			$-15^\circ < T_o \leq -10^\circ$			$-10^\circ < T_o \leq -5^\circ$			$-5^\circ < T_o \leq 0^\circ$			$T_o > 0^\circ\text{C}$		
F_3	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2	c:0	c:1	c:2
	0.90	0.86	0.75	1.0	0.89	0.81	1.0	0.91	0.83	1.0	0.93	0.88	1.0	1.94	0.91	1.0	1.04	1.08

(1) $25^\circ\text{C} < T_p < 29^\circ\text{C}$ değerleri için iki çizelgeden okunan değerlerin interpolasyonu yapılmalıdır.

Çizelge 5a. Kat ve Oda Konumu Düzeltme Katsayısı, F_4 [4]

$$T_p = 25^\circ\text{C}(1)$$

Odanın Bulunduğu Kat					
Normal (ara) Kat			Çatı Katı		
Odanın Konumu					
İç Oda	Dış Oda	Köşe Oda	İç Oda	Dış Oda	Köşe Oda
F ₄					
1.06	1.0	0.94	1.0	0.94	0.89
C					
0	1	2	1	2	3

c : Oda konum katsayısı

Çizelge 5b. Kat ve Oda Konumu Düzeltme Katsayısı, F_4 [4]

$$T_p = 29^\circ\text{C}(1)$$

Odanın Bulunduğu Kat					
Normal (ara) Kat			Çatı Katı		
Odanın Konumu					
İç Oda	Dış Oda	Köşe Oda	İç Oda	Dış Oda	Köşe Oda
F ₄					
1.04	1.0	0.96	1.0	0.96	0.93
c					
0	1	2	1	2	3

(1) $25^\circ\text{C} < T_p < 29^\circ\text{C}$ için iki çizelgeden okunan F_4 değerlerinin interpolasyonu yapılır.

Çizelge 6a. Toplam Şap Kalınlığı Düzeltme Katsayısı, F_5 [4]

Abaklardaki temel modele göre, II. İKLİM BÖLGESİ, DENİZ SEVİYESİ İÇİN⁽¹⁾,

$$T_p = 29^{\circ}\text{C}, T_a \cong 20^{\circ}\text{C}$$

Toplam Şap Kalınlığı $x_{\text{ş}} \text{ (m)}$	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
F_5	0.970	1.00	1.028	1.055	1.08	1.105	1.13

$$\left(F_5 \cong 2 - \frac{0.2844}{\frac{(x_{\text{ş}}-0.01)}{1.2} + \frac{1}{3.983}} \right)$$

Çizelge 6b. Toplam Şap Kalınlığı Düzeltme Katsayısı, F_5 [4]

Şekil 6-19'daki temel modele göre, II. İKLİM BÖLGESİ, DENİZ SEVİYESİ İÇİN⁽¹⁾,

$$T_p = 25^{\circ}\text{C}, T_a \cong 20^{\circ}\text{C}$$

Toplam Şap Kalınlığı $x_{\text{ş}} \text{ (m)}$	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
F_5	0.970	1.00	1.025	1.048	1.07	1.093	1.11

$$\left(F_5 \cong 2 - \frac{0.3241}{\frac{(x_{\text{ş}}-0.01)}{1.2} + \frac{1}{3.439}} \right)$$

(1) Diğer bölgeler için de yaklaşık olarak kullanılabilir.