

# ROMA DÖNEMİNDE HYPOKAUST SİSTEMİNİN, ISIL ANALİZ YÖNÜNDEN, GÜNÜMÜZ YERDEN ISITMA SİSTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI\*

**Tahsin BAŞARAN**

1967 Selçuk doğumludur. İlk ve orta öğretimini Selçuk'da tamamladıktan sonra Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü 1991 senesinde bitirmiştir. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünden, "Thermal Analysis of the Heating Systems of Roman Baths" adlı teziyle yüksek lisans derecesi almıştır. Halen Dokuz Eylül Üniversitesi'nde doktora programına devam ederken, Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

## ÖZET

Günümüz yerden ısıtma sistemlerinin atası, Antik Roma'da; zengin evlerinde ve hamamlarda görülen "hypokaust sistemidir". İlkel şekillerine antik Yunanda; Olympia ve Delphi'de rastlanılan bu sistem, Roma'da MÖ. 1. yüzyıldan başlayarak, özellikle imparatorluk döneminde, tüm eyaletlerde artan bir ivmeyle kullanım alanı bulmuştur.

Bu çalışmada, Roma hamamları ve ısıtma sistemleri hakkında genel bilgi verilmiş, ısı analizine yönelik yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Daha sonra, tasarlanan bir hamam bölümü için ısı kaybı belirlenmiş ve baca gazı kütleli debisi hesaplanarak, sonlu farklar yöntemiyle, yüzey sıcaklık dağılımı ve hypokaust sisteminden mekana olan ısı transferi bulunmuştur. Mekanın boru içi sıcak su akışıyla yerden ısıtılması durumu için, yakıt miktarı hesaplanmış ve iki ısıtma yöntemi karşılaştırılmıştır.

## GİRİŞ

Mekan içi homojen sıcaklık dağılımı sağlaması ve çoğu uygulamada görece ekonomik olması, yerden ısıtma sistemlerinin gittikçe yaygın kullanımına yol açmaktadır. Bu sistemlerin temelinde, Antik Roma hamamlarında ve o dönemdeki bazı zengin evlerinde görülen, "hypokaust sistemi" yatmaktadır.

Roma hamamlarının ısıtma sistemlerine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır, Kretzschemer(1) ve Hüser(2)'in deneysel çalışmaları; Thatcher(3), Joria(4) ve Rook(5)'un ise teorik çalışmaları, hamamların ısıtma sistemlerine ilişkin bazı bilgiler vermektedir.

1902'de Almanya'da, devrin Alman İmparatoru tarafından açılan, Roma hamamlarına benzer, tek mekanlı bir yapı işletmeye alınmıştır. Bu yapı üzerinde Kretzschemer, 27 Aralık 1951'den 3 Ocak 1952'ye kadar, bazı deneysel çalışmalar yapmıştır. Birçok noktadan sıcaklık ölçümü yaparak, eş sıcaklık eğrileri oluşturmuş ve hypokaust sisteminden odaya olan ısı transferini 1760 kcal/h olarak belirlemiştir.

Daha sonra aynı yapı üzerinde, Hüser bir başka deneysel çalışma yapmıştır. Baca gazı sıcaklığının zamanla değişimini ölçmüş, zemin ve duvarlardaki sıcaklık dağılımlarını belirlemiştir. Zemin ortalama sıcaklığı 18°C iken, ocağa yakın bölgede bu değeri 38°C olarak ölçmüştür.

Thatcher, Forum Hamamları'nın ısıtılan beş büyük odası için, üç kabule dayalı bir çalışma yapmıştır, her odanın rekonstrüksiyonunu yaparak, ısıtılan yüzeyleri belirlemiş ve ortalama yüzey sıcaklığı için 100°F (37.8°C) değerini atamıştır. Böylece oda koşullarına ilişkin tablolar oluşturmuştur.

Pompei'de Stabian Hamamları'ndaki çalışmasında Joria; Hüser'in deneysel sonuçlarını kullanmıştır. Buna göre, 114 m<sup>2</sup>'nin üzerindeki hamamın sıcak odasındaki sıcaklığın 35°C olması için, saatte 7 kg odun yakılması gerektiğini hesaplamıştır.

Dış ortam sıcaklığını 10°C kabul eden Rook ise, sıcak odayı 70°C'de ve ılık odayı da 55°C'de tutmak için yakılması gerekli odun miktarını hesaplamış, ocağın tüm yıl boyunca, sönmeden yakıldığını kabul ederek, yıllık odun tüketimini 114 ton olarak hesaplamıştır.

## ROMA HAMAMLARI HAKKINDA GENEL BİLGİ

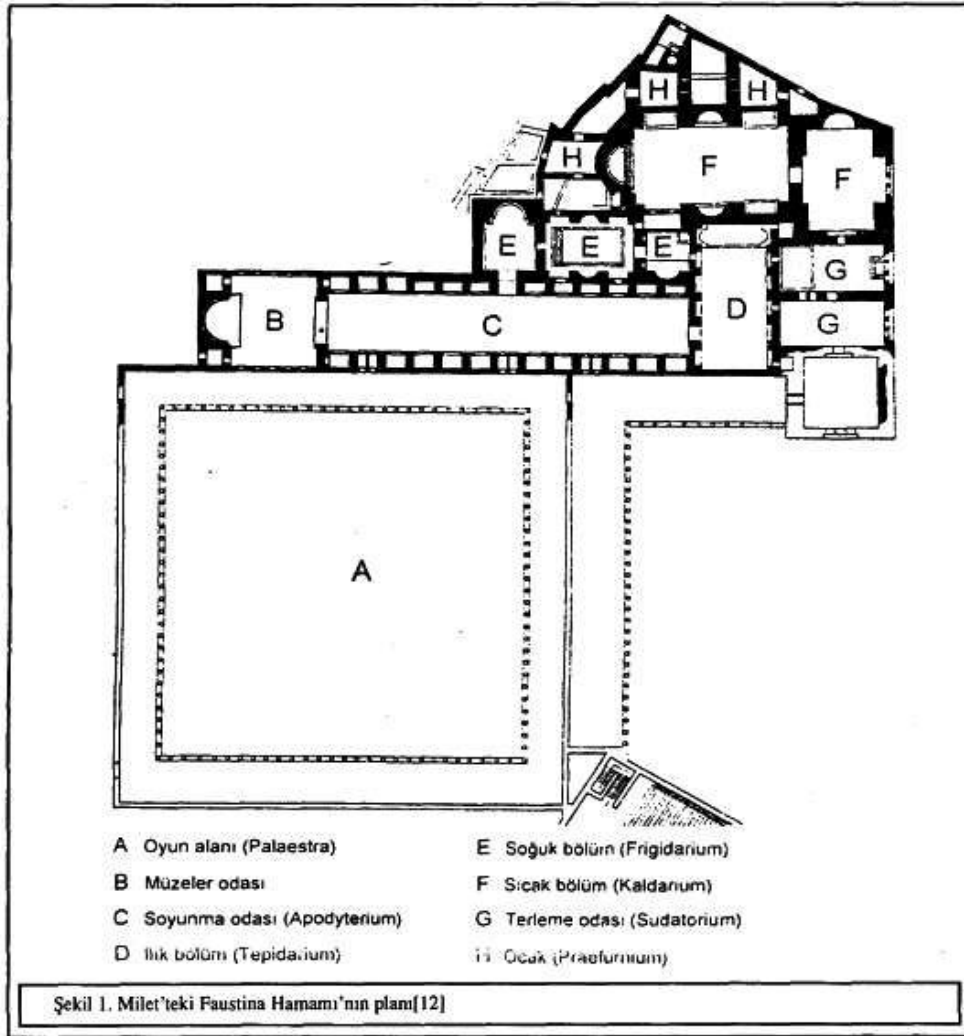
Brödner, bronz çağındaki kültürlerde, yıkanmanın dinsel kökenli olduğunu, genel temizlik için ise akarsu, göl ve kaynakların kullanıldığını belirtiyor(6). Bu şekilde, tarih öncesi devirlere kadar götürülebilen yıkanma eylemi, gerçekte ilk defa eski Yunanlılar'ın yaşamında önemli bir yer bulmuştur. Yıkanmanın Grekler'in yaşantısında hem dini, hem de vücudun sağaltımına dönük bir içeriği vardı.

M.Ö. 5. Yüzyıl sonlarında, Olympia'daki hamamın ilk evresinde görülen ilkel zeminden ısıtma sistemi, ilk

hypokaust sistemi olarak düşünülebilir. Ancak gerçek anlamda hypokaust sistemi, hamamın M.Ö. 2. Yüzyıl sonu veya M.Ö. 1. Yüzyıl başına tarihlenen dördüncü evresinde görülmektedir. Teknik gelişmelerle birlikte hamam, Grekler'in günlük yaşantısına giderek daha fazla girmiştir. Fakat Yunanlılar'da Romalılar'da olduğu gibi gelişmiş, bağımsız hamam yapılarına rastlanmamaktadır. Yunanlılar'dan esinlenen Romalılar, M.Ö. 2. Yüzyıl içinde hayır sahiplerinin yaptırdığı genel hamamları halkın istifadesine açmışlardır. Böylece hamamlar M.Ö. 1. Yüzyıl'dan başlayarak, İmparatorluk Dönemi süresince, tüm Roma ve eyaletlerinde çok sayıda yapılmış ve imparatorluk Dönemi'nde de büyüklük ve lüks açısından doruğa ulaşmıştır(7).

İlk Roma hamamları, kadınlar ve erkekler için farklı bölümlere sahipti. Kadınlara ayrılan kısımlar daha küçük ve daha konforsuzdu. Daha sonra kadınlar ve erkekler birlikte yıkanmaya başladılar, ta ki Hadrian döneminde çıkan bazı sansasyonlar dolayısıyla, yasaklanıncaya kadar. Bu durumda, farklı bölümleri olmayan hamamlarda, kadınlar ve erkekler, farklı saatlerde yıkandılar(8).

Romalılar, öğle yemeğini izleyen siestadan sonra, 14.00-15.00 sularında hamama giderlerdi. Bazı hamam kalıntılarında bulunan kandiller, buralarının geceleri de kullanıldığının göstergesidir. Hamam yapıları, çevrelerindeki sportif ve sosyo kültürel amaçlı yapılarla bir bütün olarak düşünüldüğünde, Romalılar'ın yaşantısında önemli bir ağırlığa sahiptiler.



### Roma Hamamı Bölümleri

Sıcak oda "kaldarium", hamamın en önemli mekanıdır. Bazı hamamlarda, soğuk havalarda kullanılmak üzere, asıl kaldariumun yanına küçükleri de yapılmaktaydı. Vitruvius, bu mekanın öğleden sonra güneşini almasını ve güneye cephesi olmasını önermekteydi(9).

Hamamın soğuk odası "frigidarium"da; mekanın ortasında veya duvar kenarlarında havuzlar bulunmaktaydı. Bu havuza Seneca, piscina adını vermektedir. Ayrıca, özellikle yaz aylarında kullanılan, atmosfere açık, notio adı verilen büyük boyutlu bir başka havuz da bazı hamam komplekslerinde görülmekteydi.

Frigidarium ile kaldarium arasında olması önerilen "tepidarium", hamamın ılık salonuydu ve çoğunlukla

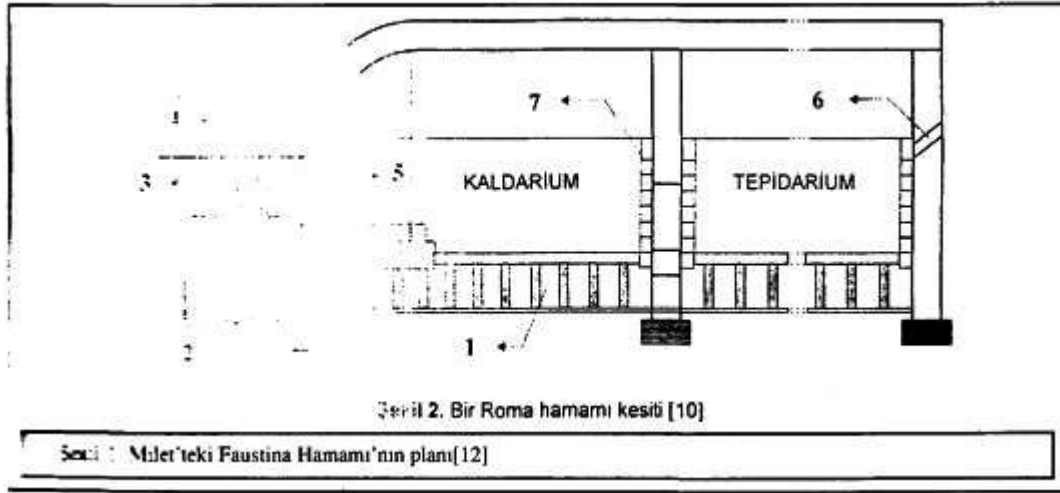
zeminden ısıtılmaktaydı. Vücudu ovma ve yağlama, eğer bu iş için farklı mekanlar yoksa, burada yapılmaktaydı (o dönemde henüz sabun bilinmiyordu).

Ocağa yakın inşa edilen terleme salonu, "sudatorium"da, sıcaklık doğal olarak daha yüksek olmaktadır ve iç ortam nemi, mümkün olduğunca düşük tutulmaya çalışılmaktaydı.

Hamamın bu mekanlarına ait farklı sıcaklık değerleri söz konusudur. Kretzschmer ve Hüser, deneysel çalışmalarında, ortalama ortam sıcaklıklarını, sırasıyla, 21°C ve 18°C olarak ölçmüşlerdir. Kendilerinin de belirttiği gibi, bu değerler oldukça düşüktür. Kretzschmer bir diğer çalışmada(10) kaldarium için 55°C değerini vermektedir. Rook, kaldariumdaki ortam sıcaklığı için 70°C, tepidarium için ise 55°C değerlerini vermiştir. Joria ise hesaplamalarında, kaldarium ve tepidarium için, sırasıyla 35°C ve 30°C değerlerini kullanmıştır. Thatcher, ortalama zemin sıcaklığını 100°F (37.8°C) olarak hesaplamıştır. Brödner ise Türk hamamı ve Fin saunalarından hareketle, tepidarium için 23-25°C kaldarium için 32-33°C ve sudatorium için 37°C değerlerini vermiştir. Buna karşılık ASHAE rehberinde, sudatorium ve kaldarium için, sırasıyla 120°F (48.9°C) ve 110°F (43.3°C) değerleri verilmiştir(11).

Hamama ait diğer mekanlardan birisi de girişin yakınlarında yer alan soyunma salonu, "apodyterium"dur ve bazen girişi de kapsamaktaydı. Burada, insanların soyunup giyinebilmeleri için nişler yer almaktaydı.

Çeşitli spor karşılaşmalarının yapıldığı ve oyunların oynandığı "palaestra"ların da hamam kompleksi içinde önemli bir yeri vardır. Tüm bu ana mekanların dışında, ayrıca, çok farklı işlevleri olan "latrina" (genel tuvalet), "nymphaeum" (nympha heykelleriyle süslü çeşmeler), "müze" odası (heykellerin yer aldığı bir başka oda) gibi mekanlarda bulunmaktaydı.



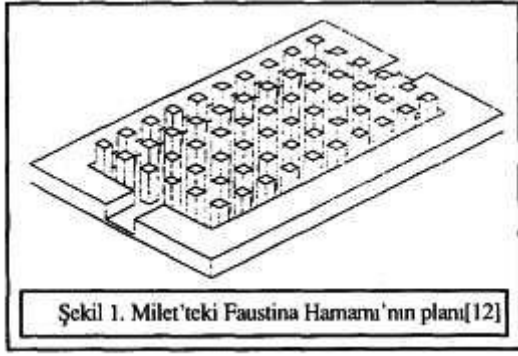
### Roma Hamamlarının Isıtma Sistemleri

Roma hamamlarının ısıtılması, "hypokaust sistemi"(1) aracılığıyla yapılmaktaydı. Vitruvius'a dayanılarak, hypokaust sistemini Sergius Orata'nın bulunduğu kabul edilmiştir. Gerçekte, zamanın diğer kaynak ve yazıtlarında, Orata'nın kesinlikle hypokaust sisteminin yaratıcısı olduğuna dair bir kanıt rastlanmaz(13). Ayrıca arkeolojik veriler, basitçe olsa Helenistik dönemden beri bu sistemin varlığını kanıtlamaktadırlar. Sergius Orata, hypokaustun bulucusu değil, fakat geliştiricisi ve uygulayıcısı olarak kabul edilebilir.

"Praefurnium" adı verilen ocağa(2) yakılan odun veya odunkömüründen elde edilen yüksek sıcaklıktaki baca gazları, hypokaust sistemi boyunca, "pilae" adı verilen destekler arasında ilerleyerek hamamın ısınmasını sağlıyorlardı. Tuğladan imal edilen destekler, horasan harcı ile birbirlerine bağlanarak hamam zeminini taşıyorlardı. Ayrıca bu destekler, bazalt, kireçtaşı gibi farklı malzeme ve silindirik, dörtgen, kemerli gibi farklı geometrilerden de oluşmaktaydı. Hypokaust sisteminin yüksekliği, temizlik yapılabilmesi ve bir sorun çıktığında müdahale edilebilmesi için yeterli yükseklikte yapılmaktaydı.

Ocak sayısı hamamın büyüklüğüne göre çok sayıda da olabilmekteydi. Ankara Roma Hamamı'nda 10 adet praefurnium bulunmaktaydı(14). Ocak zemini genellikle taştan yapılmakta ve izgara kullanılmamaktaydı. Zemine eğim verilerek küllerin rahatça temizlenmesi sağlanmaktaydı. Ocağın çevresi ise yanmış ateş tuğlasından yapılmaktaydı. Çoğunlukla, praefurniumun üzerinde, bakır veya bronzdan kazanlarda su ısıtılmaktaydı(3,4). Ayrıca daha büyük bir depoda da soğuk su bulunurdu. Suların dağıtımı musluklarla donatılmış borular aracılığıyla yapılmaktaydı.

Köşelere yerleştirilen bacalar(6), duvarın dışına veya çatıya yapılmamaktaydı. Bacalar, duvardan açılarak çıkar veya geri tepmeyi önlemek için ucuna bir parça takılırdı. Birçok hamamda, "tubuli"(7) adı verilen elemanlar aracılığıyla veya duvarla hamam arasında boşluk bırakılarak, duvardan da ısıtma yapılmaktaydı. Tubiler özellikle tuğladan, bazen de seramikten yapılmaktaydı(15).



## HAMAM MODELLEMESİ

Bu çalışmada 8m x 42m x 3m boyutlarında duvardan ısıtmanın olmadığı bir hamama ait tek bir mekan tasarlanmıştır. Buna göre hypokaust sisteminde mekan boyunca destek sırası 10; her bir sırada da 6 destek sütunu bulunmaktadır. Bu destekler bir kenarı 30 cm; yüksekliği 6 cm olan kare tuğlaların, 3 cm kalınlığında horasan harcıyla birleştirilmeleri sonucunda, 90 cm yüksekliğinde tasarlanmıştır, ve bu destekler 30 cm kalınlığındaki hamam zeminini taşımaktadırlar. Zemin ise, bir kenarı yaklaşık 1 m olan kare tuğlaların, kaydırılmış şekilde horasan harcı ile birleştirilip, en üstte ise mermer plakaların yerleştirildiği kabulüyle oluşturulmuştur.

Hamamın ılık odası (tepidarium) olarak düşünülen bu mekanın iç ortam sıcaklığı için 22°C değeri, belirtilen diğer çalışmaların ışığında kabul edilmiştir. Kreztschmer ve Hüser'in çalışmalarında, hypokaust sistemindeki baca gazı sıcaklık ölçümleri baz alınarak, hypokaust sistemine baca gazının giriş sıcaklığı 150°C olarak kabul edilmiştir.

Odanın hacmi göz önüne alınarak mekandan olan ısı kaybı 4000 W olarak belirlenmiştir. Bu kaybın, hypokaust sistemindeki sıcak baca gazlarından karşılanması gerektiğinden hareketle, ocakta yakıldığı kabul edilen odunun kütleli debisi, odunun molar bileşimi kullanılarak hesaplanmıştır(16).

Tablo 1. Odunun Özellikleri (Ağırlık yüzdesi olarak)

Tablo 1. Odunun Özellikleri (Ağırlık yüzdesi olarak)

C(%)	O(%)	H(%)	N(%)
50	43	5.7	1.3

Böylece hava-odun karışım oranı,

$$\frac{m_{\text{hava}}}{m_{\text{odun}}} = \frac{(1.0195 \times 4.78)(29)}{(1)(12) + (0.684)(2) + (0.01115)(28) + (0.3225)(32)} = 5.89 \text{ kg hava/kg odun} \quad (1)$$

olarak bulunur. Baca gazı kütleli debisi iteratif yaklaşımla bulunmuştur. Mekandan olan ısı kaybı 4000 W olarak belirlendiğine göre; bu değer, hypokaust sistemindeki baca gazlarından karşılanması gerekmektedir. Oluşturulan bilgisayar programında, kütleli debi değeri değiştirilerek, sıcak baca gazlarından hamama olan toplam ısı transferinin 4000 W olması sağlanmıştır. Bunu sağlayan kütleli debi değeri 0.13 kg/s'dir Buna göre odunun kütleli debisi,

$$m = 0.13 \text{ kg/s} = (5.89 + 1)m_{\text{odun}} \Rightarrow m_{\text{odun}} = 0.0189 \text{ kg/s} = 67.9 \text{ kg/h} \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Odunun ısı değeri 15500 kJ/kg kabul ederek, bu kadar odunun yakılmasıyla açığa çıkan ısı,

$$m_{sulan}=0.0189 \text{ kg/s}=\frac{Q}{15500 \text{ kJ/kg}} \Rightarrow Q=293 \text{ kW} \quad (3)$$

olarak belirlenir.

İç ortam sıcaklığını 22°C'de tutmak için, polietilen borulu sıcak sulu sistemde, sıcaklık düşümünü 10°C kabul ederek, mekandan olan 4000 W'lık ısı transferinin karşılanmasında, suyun kütleli debisi,

$$4000 \text{ W}=m_w \times 4181 \text{ J/kg.K}(10) \Rightarrow m_w=0.0957 \text{ kg/s}=344 \text{ kg/h} \quad (4)$$

olarak bulunur. 4000 W'lık ısı kaybının tamamı yerden ısıtma sisteminden karşılanacağına göre, bu mekânın zemin yüzeyindeki ısı akısı 119 W/m<sup>2</sup> olacaktır. Mahal sıcaklığı ve zemin kaplamasına göre düzeltme faktörleri kullanılarak bu değer 133 W/m<sup>2</sup> olarak revize edilecektir. Bu değere göre zemine yerleştirilecek borular Modül 20'ye göre tasarlanabilir. Böylece ortalama su sıcaklığı da yaklaşık olarak 50°C kabul (giriş sıcaklığı 55°C, çıkış sıcaklığı 45°C) edilebilir. Buna göre de zemin yüzey sıcaklığı 31°C olarak belirlenir(17).

## SONUÇLAR

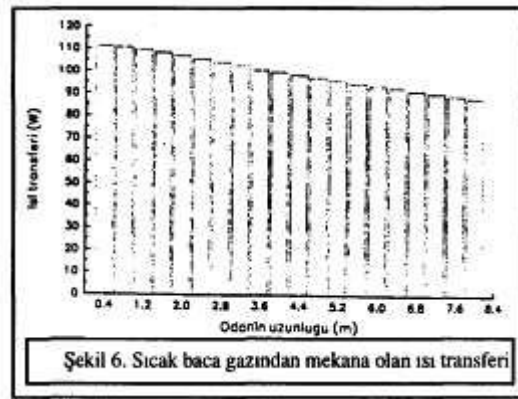
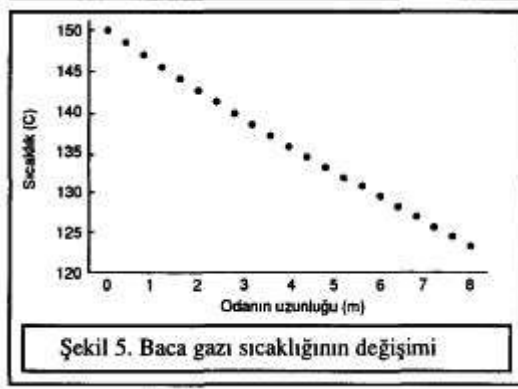
Hypokaust sistemiyle mekânın 4000 W'lık ısı yükünün karşılanması için yakılan odundan çıkan ısı; gerekli olandan yetmiş üç kat fazladır. Her ne kadar bu ısının bir kısmı, ocağın üzerinde yer alan suyun ısıtılmasında kullanılıyorsa da bu, aradaki uçurumu kapatmaya yetmeyecektir. Buna karşılık günümüz yerden ısıtma sisteminde; 4000 W'lık ısı yüküne karşılık, boru sistemindeki kayıplar ve kazan veriminin etkisi bu değeri, hypokaust sisteminde olduğu gibi çok fazla değiştirmeyecektir.

Hypokaust sistemi için, bilgisayar programının çalıştırılması sonucunda elde edilen yüzey sıcaklık dağılımı, üç boyutlu olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu grafik, mekânın uzunlaşmasına ikiye bölünmesiyle elde edilen simetrik bir parçası içindir. Oda boyunca yüzey sıcaklığındaki düşme, her yarı payanda-zemin grubu boyunca enerjisini gittikçe yitiren baca gazları dolayısıyladır,

Bilgisayar programında elde edilen, her bir yan payanda-zemin grubu için ısı transferi miktarı da belirlenmiştir. Mekan, simetriden dolayı ikiye bölündüğü için, bu değerlerin iki katı düşünölmelidir.





Aynı mekanın, sıcak sulu polietilen boru sistemiyle yerden ısıtılması durumu için yapılan hesaplamalar göre elde edilen modül için boru yerleşim planı da aşağıdaki gibi oluşturulabilir.

## TARTIŞMA

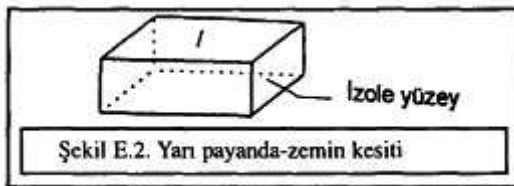
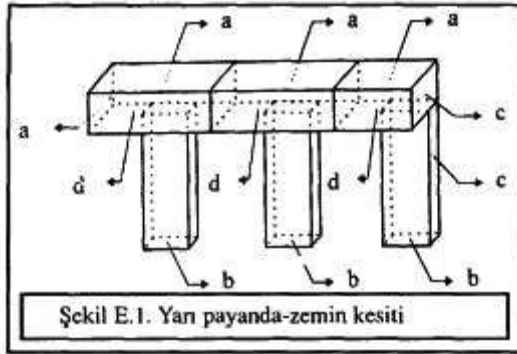
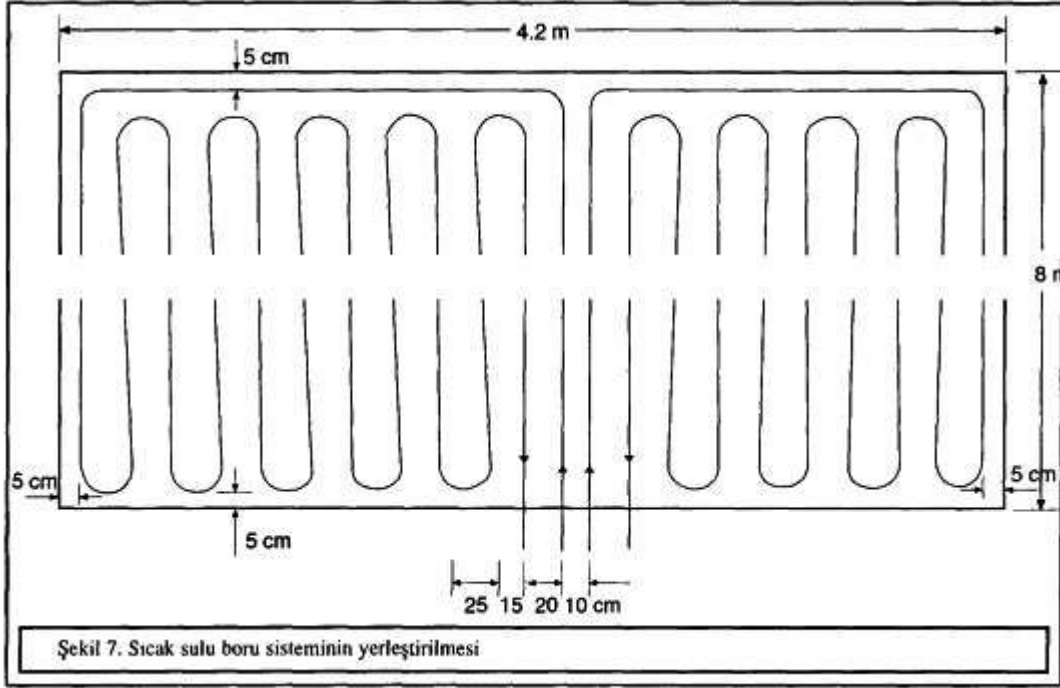
Mekanın hypokaust sistemiyle ısıtılması durumunda; ısı kaybını karşılamak için yakılması gerekli odun miktarı çok fazladır. Sıcaklığın çok düştüğü kış günlerinde, istenen iç ortam sıcaklığına ulaşmak için çok daha fazla yakıt sarfiyatı gerekecektir.

Roma hamam yapılarında büyük hacimlere sahip duvarların ısı depolama kapasiteleri, baca gazı ısıtım ve güneş ısıtım etkileri, iç mekandaki buharlaşma gibi değişkenlerin hesaba katılarak dinamik bir analiz yapılmasıyla, bulunan değerlerde değişimler olacaktır kuşkusuz. Ancak, iki sistem arasındaki enerji sarfiyat uçurumu değişmeyecektir.

Zemin sıcaklık dağılımında, payandaların kanat etkisi gözlemlenebilmektedir. Payandaların izdüşümün-deki bölgelerde sıcaklık değerleri yükselmektedir. Ancak bu değişim belirgin olarak hissedilebilecek düzeyde değildir. Fakat, baca gazı sıcaklığının düşmesiyle birlikte, yüzey sıcaklığında hamam boyunca oluşan düşüş eğilimi hissedilebilecek düzeydedir. Buna karşılık, günümüz sistemiyle daha sağlıklı bir sıcaklık dağılımı sağlanabileceği gibi yüzey sıcaklığı değişimi, hypokaust sisteminde olduğu gibi, insanı rahatsız edebilecek bir değerde de olmayacaktır.

Hypokaust sistemindeki baca gazının akışı, ayrıntılı bir modelleme ve deneysel çalışmayı gerektiren karmaşık bir problemdir. Dolayısıyla yapılan kabullere dayalı hesaplamalar bazı, hataları da içermektedir.

Roma döneminde, hypokaust sistemli ısıtma için gerekli olan odun miktarının karşılanmasında, büyük ağaç katliamlarının yapıldığı söylenebilir. Hele Roma dönemindeki devasa hamam yapılarının ısıtılması göz önüne alındığında, katliamların boyutu daha çok artacaktır.



## EK: ÇÖZÜM ALGORİTMASI

Hypokaust sisteminin ısı analiz; sayısal çözümleme yöntemiyle; payanda-zemin parçalarının gridlere bölünüp, her düğüm noktası için enerjinin korunumundan hareketle yapılmıştır. Isı taşınım katsayılarının belirlenmesinde, oda zemininin üst yüzeyinde doğal taşınım bağıntıları(18), alt tarafta ise boru demetinde çapraz akış bağıntıları(19) kullanılmıştır. Elde edilebilen mimari elemanlara ait ısı iletim katsayıları hot-wire yöntemiyle hesaplanmıştır; elde edilemeyenler ise abaklardan(20) belirlenmiştir.

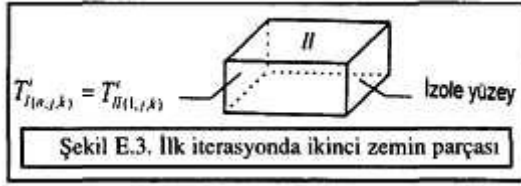
Bilgisayar programı için mekan; simetriden dolayı, uzunlamasına ortadan iki parçaya bölünmüştür. Böylece ortaya çıkan üçlü payanda-zemin parçaları da, daha hassas çözüm için, bu sefer enlemesine, eşit iki parçaya bölünmüştür.

Başlangıçta, simetriden dolayı kesit alınan yüzeyler (a) izoledir. Daha sonra burada elde edilen sıcaklık değerleri, bir sonraki yarı payanda-zemin elemanına aktarılır. Zemin ve duvarla temas halindeki yüzeyler (b,c)de izole kabul edilmiştir, d yüzeyinde ise başlangıçta izole sınır şartı varken, daha sonra, bir önceki yarı

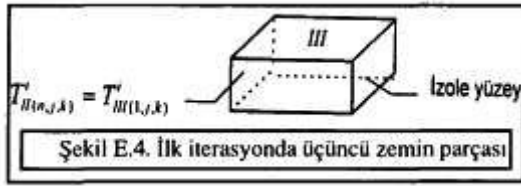
payanda-zemin grubundan aktarılan sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

İlk zemin parçası için, diğeriyle temas halinde bulunduğu yüzey, birinci iterasyonda, izole kabul edilmiştir.

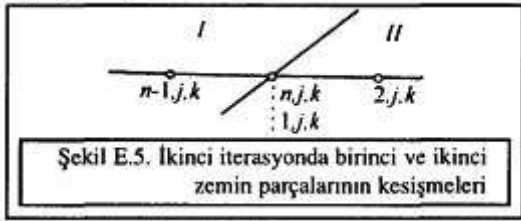
Böylece temas yüzeyinde elde edilen sıcaklık değerleri, ikinci zemin parçasına aktarılır,



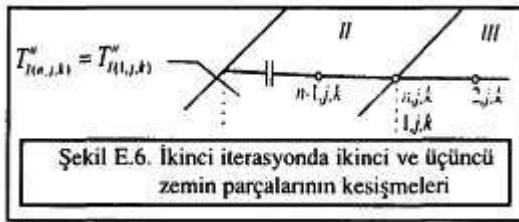
Aynı işlemler üçüncü zemin parçası için de yapılır.



Böylece ilk yarı payanda-zemin grubu için bir sıcaklık dağılımı elde edilir. İkinci iterasyonda, iki yarı zemin parçasının temas yüzeyleri için ısı akılarının eşitliğinden yararlanılır,



Benzer yaklaşımla, ikinci ve üçüncü yüzeyler için ısı akılarının eşitliği yazılır



Böylece bilgisayar programında, iki ard arda iterasyon arasındaki fark tüm noktalarda % 1'in altına düşene kadar her bir iterasyondan sonra yeni bir sıcaklık dağılımı elde edilir. Bu arada, başlangıçta üst yüzey için ortalama bir sıcaklık değeri bilinmediği için, taşınım katsayısı kabul edilir. Bulunan ortalama sıcaklık değerine göre, doğal taşınım bağıntıları kullanılarak, yeni bir taşınım katsayısı hesaplanır. Bu değere göre başlangıçta belirtilen tüm işlemler tekrarlanarak yeni bir sıcaklık dağılımı elde edilir. Taşınım katsayısındaki bu iteratif yaklaşım da son iki iterasyon arasındaki fark % 1'in altına inene kadar devam eder. Böylece ilk yarı payanda-zemin grubunda bir sıcaklık dağılımı elde edilir; buradan da diğer gruplara geçilerek tüm mekan için hesaplamalar tamamlanır.

## KAYNAKLAR

1. Kretzschmer, F., "Hypokausten", Saalburg Jahrbuch, 12, 8-41, 1953.
2. Hüser, H.I., "Warmetechnische Messungen an Einer Hypokaustenheizung in der Saalburg", Saalburg Jahrbuch, 36, 12-30, 1979.
3. Thatche; E.D., "The Open Rooms of the Terme del Foro at Ostia", MAAR, 26, 169-264, 1926.
4. Joria, A., "Sistema di Riscaldamento Nelle Antiche Terme Pompeiane", BullCom, 86, 167-189, 1978-79.



5. Rnok, T., "The Development and Operation of Roman Hypokausted Baths", *Journal of Archeological Science*, 269-282, 1978.
6. Brödner, E., *Die Römischen Thermen und Das Antike Badewesen*, Darmstadt, 2, 1983.
7. Ahbasoğlu, H., *Pamphyüa Bölgesi Roma Devri Hamamları*, Doçentlik Tezi, İstanbul, 16, 1982.
8. Carcopino, ./., *Daily Life in Ancient Rome*.
9. Vitruvius, *Mimarlık Üzerine On Kitap*, 112, 1993.
10. Kretzschmer, F., *Bilddökumente Römischer Technik*, Düsseldorf, 33, 1964.
11. ASHAE Guide, s. 247, Tablo 2, 1953.
12. Bayhan, S., *Priene, Miletus, Didyma*, İstanbul, 1990.
13. DeLaine, J., "Recent Research on Roman Baths", *Journal of Roman Archeology*, 1, 1988.
14. Akok, M., *Ankara "Şehirdeki Roma Hamamı"*, *Türk Arkeoloji Dergisi*, 17,1,9, 1968.
15. Zabern, P.V., *Die Wasserversorgung Antiker Stadte*, Mainz, 113, 1988.
16. Müezzinoğlu, A., *Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları*, İzmir, 1987.
17. ASHRAE Handbook, Systems, Seç. 1, Ch. 8, 1984.
18. Lloyd, J.R., and W.R. Moran, "Natural Convection Adjacent to Horizontal Surfaces of Various Plan-forms", *ASME Paper*, 74-WAIHT-66, 1974.
19. Grimison, E.D., *Trans. ASME*, 59,1937.
20. Incropera, P.P., and Witt D.P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 2nd ed., Wiley, New York, 1985.

\* Bu makale III. Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir-Kasım 1997 Bildiriler kitabından alınmıştır.