25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 25

Türkiye'nin Dört Derece Gün Bölgesinde Borular İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı

N. Alpay KÜREKCİ

ÖZET

Dış ortama veya galerilere yerleştirilen ve içlerinde sıcak akışkan geçen her boru ısı kaybeder. Oluşan bu ısı kaybı hem yakıt sarfiyatına hem de sıcak akışkanın soğumasına neden olmaktadır. Boruya yapılacak yalıtım ile ısı kaybı azalır. Yalıtım kalınlığının artırılması ısı kaybını azaltacak ama yalıtım malzemesi maliyetlerini de artıracaktır. Bu çalışmada Türkiye'deki dört derece gün bölgesi için dış ortamdan geçen borularda kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplarda farklı iki yalıtım malzemesi ele alınmış, boru içinden farklı sıcaklıklarda ve farklı hızlarda akışkan geçtiği düşünülerek etkileri irdelenmiştir. Her sıcaklık ve her hız değeri için boru içinde ısı taşınım katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplarda bölgelerin aylık değişen dış hava sıcaklıkları kullanılmıştır. Boruların yalıtımsız ve değişik kalınlıktaki yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumlarına göre kaybedilen ısı miktarları, bunlara karşılık gelen yakıt miktarı ve yakıt maliyetleri hesaplanmıştır. Farklı kalınlıklardaki yalıtım malzeme maliyeti de hesaplanarak toplam maliyet analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda Türkiye'nin dört derece gün bölgesinde, içlerinden 40–90°C arasında sıcaklıkta ve 1–10 m/s hızda su geçen boruların, cam yünü ve kauçuk yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda, optimum yalıtım kalınlıkları, net tasarruf miktarı ve geri ödeme süreleri tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Borular İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı, Enerji Tasarrufu, Net Tasarruf Miktarı, Geri Ödeme Süresi*

1. GİRİŞ

Nüfus artışı, kentleşme, büyük şehirlere göç ve yaşam standartlarının iyileşmesi nedenleriyle enerji tüketimi dünya çapında hızla artmaktadır [1]. Dünyada enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtların yakılması sonucu elde edilmektedir. Dünyadaki fosil yakıtların yakın bir zamanda biteceği bir gerçektir. Kalan fosil yakıtlar her geçen gün değerlenmektedir. Bu durumda fosil yakıtların verimli kullanımı önem kazanmaktadır. Aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, günümüzde enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir [2]. Ülkemizin enerji kaynakları açısından çok zengin olmadığı açık-

Abstract:

Tubes with hot fluid inside and placed in the external environment or galleries lose heat. Due to this heat loss, hot fluid gets cold and fuel consumption increases. Heat loss decreases with insulation, but insulation cost will also rise with increasing insulation thickness. In this study, for four different degree day region in Turkey, optimum insulation thickness of outdoor tubes has been calculated. Effect of hot fluid temperature and velocity passing through the tube has been investigated for two different insulation materials. Convective heat transfer coefficient in different conditions has been calculated. And outdoor air temperatures varying in monthly basis were considered. Heat loss of pipes with and without insulation and corresponding fuel consumption and fuel cost have been calculated. Considering costs of insulation with changing thickness, total cost analysis has been done. In four degree day region of Turkey, using glass wool and rubber as insulation material, hot water temperature in the range of 40-90°C and velocity in the range of 1-10 m/s, optimum insulation thickness, net saving and payback period have been determined and presented in tables and graphs.

Key Words:

Optimum Insulation Thickness For Pipes, Energy Saving, Amount Of Net Saving, Payback Period

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 26

tır; enerji ihtiyacının %60-65'i ithal edilmektedir. Ayrıca bu ihtiyaç her sene %4 oranında artış göstermektedir [3,4].

Bina ısıtmalarında ve sanayide kullanılan sıcak su borularının izolasyonu ya hiç yapılmamakta ya da piyasada bulunan en ucuz yalıtım malzemeleri ile hiç hesabı yapılmadan 2-3 cm arasında yalıtım malzemeleri ile yapılmaktadır. Özellikle dış ortamlardan, galerilerden geçen bu yalıtımsız veya yeterince yalıtılmamış borular çevreye ısı enerjisi vermektedir. Bu durum boruların içinden geçen akışkanın soğumasına neden olmaktadır [5]. Bu da kaybedilen ısı enerjisini karşılamak amacıyla ısıyı hazırlayan kazanın gereğinden fazla yakıt yakmasına sebep olmaktadır. Bu kayıplar kazan kapasitesini artırmakta, bu da ilk kurulumda kazan maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca kazan kapasitesinin gereğinden fazla olması durumunda daha fazla yakıt yakan kazan, çevreye daha fazla atık gaz salacağından, bu durum çevreye de olumsuz etki etmektedir [6].

Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Başoğul Y. vd. [7], Afyonkarahisar'da yakıt olarak kömür, fuel-oil, LPG, doğal gaz kullanılması durumunda ayrıca jeotermal kaynak için DN 50–200 arasındaki borular için kaya yünü ile yalıtım yapılması durumunda optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini vermiştir. Kullanılan değişik yakıtların enerji tasarrufuna etkisini göstermiştir.

Li Y.F. vd. [8] içinden soğuk akışkan geçen borular için optimum yalıtım kalınlığı ve enerji tasarruf miktarlarını farklı boru çapları için vermiştir.

Öztürk İ.T. vd. [9] farklı termo ekonomik yöntemlerle optimum yalıtım kalınlığını hesaplamış, yöntemlerin sonuca etkisini göstermiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; Türkiye'nin tüm derece gün bölgelerinde, içlerinden farklı sıcaklıklar ve farklı hızlarda akışkan geçen boruların, farklı yalıtım malzemeleri ile yalıtılması durumunda kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlıklarının tespit edilmediği anlaşılmıştır. Bu çalışmada ise Türkiye'nin dört derece gün bölgesi için, içlerinden 1–10 m/s hızlar arasında su geçen DN 15-DN 200 arası boruların, cam yünü ve kauçuk yalıtım malzemeleri ile yalıtılması durumunda, kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlığı, net tasarruf miktarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Yakıt olarak doğal gazın kullanıldığı düşünülmüştür. Boru içindeki geçen akışkanın sıcaklık değerleri 40–90°C arasında değişmesi durumlarına göre hesaplar tekrarlanarak her bir çap, her bir sıcaklık değeri için bölgelere göre değişimler gösterilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Boru Sisteminin Yapısı

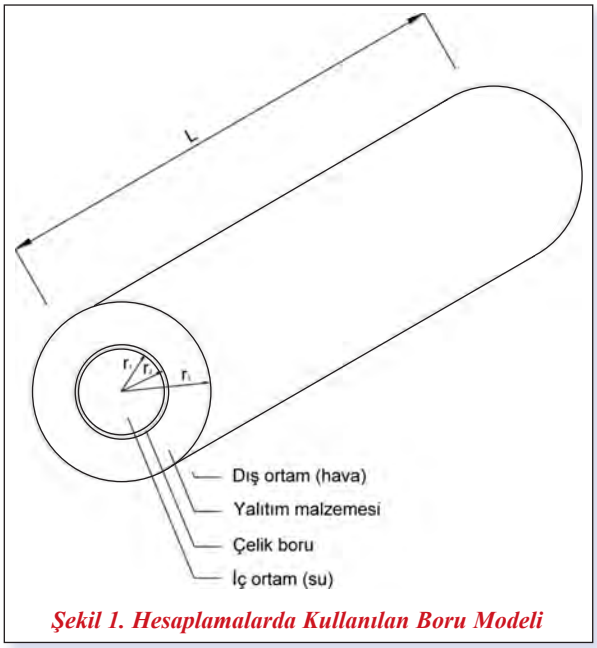
İçlerinden dış ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta akışkan geçen borular, çevrelerine ısı enerjisi verirler. Enerji kaybı, iç akışkanın hızı ve sıcaklığı, boru malzemesinin yalıtımlı olup olmaması ve dış ortam sıcaklıklarına göre değişiklik gösterir. Ayrıca borularda kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı ve bu malzemenin kalınlığı da ısı kaybını değiştirmektedir. Kalınlık arttıkça ısı kaybı azalırken, ilk yatırım maliyeti artmaktadır.

Bu çalışmada dış ortamda bulunan DN15–200 arası boruların içlerinden 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 m/s hızlarda ve içlerinde her bir hız değeri için 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 °C sıcaklıklarında su geçtiği kabulü ile cam yünü ve kauçuk yalıtım malzemeleri ile yalıtılmış boruların optimum yalıtım kalınlıkları, net tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan boru malzemesinin modeli Şekil 1'de verilmiştir. Boru malzemesi olarak çelik boru seçilmiş ve DN15-DN200 arasındaki tüm çaplar için hesaplar tekrarlanmıştır. Şekilde verilen r_1 ve r_2 değerleri Tablo 1 ile verilen çelik boruların iç, dış çap ve cidar kalınlıkları yardımıyla hesaplanmıştır. r_3 değeri ise kullanılacak yalıtım malzemesinin kalınlığına göre hesap edilmektedir. Hesaplar 1 m boru için yapılmıştır (L=1m).

Hesaplamalarda yalıtım malzemesi olarak cam yünü

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 27



Şekil 1. Hesaplamalarda Kullanılan Boru Modeli

Tablo 1. Hesaplarda Kullanılan Boru Anma Çaplarına Göre, Dış Çap, İç Çap Ve Cidar Kalınlıkları

ANMA ÇAPI		DIŞ ÇAP	İÇ ÇAP	CİDAR KALINLIĞI
(mm)		(mm)	(mm)	(mm)
1/2"	DN 15	21.3	15.7	2.8
3/4"	DN 20	26.9	21.1	2.9
1"	DN 25	33.7	26.9	3.4
1 1/4"	DN 32	42.4	35.2	3.6
1 1/2"	DN 40	48.3	40.9	3.7
2"	DN 50	60.3	52.5	3.9
2 1/2"	DN 65	73.0	62.6	5.20
3"	DN 80	88.9	77.9	5.5
4"	DN 100	114.3	102.3	6
5"	DN 125	141.0	127.8	6.6
6"	DN 150	168.3	154.1	7.1
8"	DN 200	219.1	202.74	8.18

ve kauçuk kullanılmıştır. Yalıtım malzemelerine ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 3'de hesaplamalarda kullanılan Türkiye'nin dört derece gün bölgesi için dış hava sıcaklık değerleri verilmiştir [10].

Tablo 2. Yalıtım Malzemelerine Ait Özellikler

Yalıtım	k_2 (W/mK)	Cy (TL/m^3)
Cam Yünü	0.040	1500
Kauçuk	0.037	1600

Yakıt olarak kullanılan doğal gaz için değerler Tablo 4'de sunulmuştur [11].

Tablo 3. Bölgelerin Aylık Dış Hava Sıcaklıkları [10]

Aylar	Td (°C)			
	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
Ocak	8.4	2.9	-0.3	-5.4
Şubat	9	4.4	0.1	-4.7
Mart	11.6	7.3	4.1	0.3
Nisan	15.8	12.8	10.1	7.9
Mayıs	21.2	18	14.4	12.8
Haziran	26.3	22.5	18.5	17.3
Temmuz	28.7	24.9	21.7	21.4
Ağustos	27.6	24.3	21.2	21.1
Eylül	23.5	19.9	17.2	16.5
Ekim	18.5	14.1	11.6	10.3
Kasım	13	8.5	5.6	3.1
Aralık	9.3	3.8	1.3	-2.8

Tablo 4. Kullanılan Yakıtın Alt Isıl Değeri, Fiyatı ve Yakma Sistemi Isıl Verimi [11]

Yakıt	Hu (kJ/m^3)	Fiyat (TL/m^3)	η (%)
Doğal gaz	34526	0.9136	90

2.2. Borularda Isı Kaybının Hesabı

Borudan gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki denklem ile hesap edilmektedir.

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T = A \cdot U \cdot (T_i - T_d) \quad (1)$$

Burada; A borunun toplam yüzey alanı, U boru sistemi için toplam ısı transfer katsayısı, T_i boru içindeki akışkanın ortalama sıcaklığı, T_d dış ortam sıcaklığıdır.

Birim boy borudan gerçekleşen ısı kaybı:

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{A \cdot U \cdot (T_i - T_d)}{L} \quad (2)$$

şeklinde bulunur.

Boru sistemi toplam ısıl direnci R_b, borunun iç ve dış yüzeyleri arasındaki tabakaların ısıl dirençlerinin toplamıdır.

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 28

$$R_b = \frac{1}{U} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_2} + \frac{1}{h_d A_d} \quad (3)$$

Burada k_1, k_2, sırasıyla boru ve yalıtım malzemelerinin ısı transfer katsayıları, r_1, r_2, r_3 sırasıyla boru iç, boru dış ve yalıtım dış yarıçapları, h_i, h_d sırasıyla iç ve dış yüzey taşınım ısı transfer katsayılarıdır. Boru iç yüzey alanı $A_i = 2\pi L r_1$, boru dış yüzey alanı $A_d = 2\pi L r_3$ şeklinde ifade edilir.

Boru içi taşınım katsayısı Nusselt sayısından hesaplanır. Nusselt sayısı aşağıdaki denklemle bulunabilir. Denklemdeki Nu: Nusselt sayısı, D_i: boru iç çapı, k_i: boru içinden geçen akışkanın ısı iletim katsayısı, Re: Reynolds sayısı, Pr: Prandtl sayısıdır. Akışkanın ısınması durumunda n=0.4, soğuması durumunda da n=0,3 alınır. Hesaplarda akışkan çevreye ısı enerjisi vereceği ve soğuyacağı için n=0.3 alınmıştır.

$$Nu = \frac{h_i D_i}{k_i} = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (4)$$

Dış yüzey ısı transfer katsayısı hesaplamalarda sabit olarak alınmıştır (h_d=25 W/m²K).

Birim boy borudan meydana gelen yıllık ısı kaybı ise:

$$q_{yıl} = 30 \cdot 86400 \cdot \left(\sum_{d=Ocak}^{d=Aralık} \frac{2\pi (T_i - T_d)}{\frac{1}{h_i r_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_2} + \frac{1}{h_d r_3}} \right) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır.

2.3. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığı

Boruların dıştan yalıtılması, dış yüzeyden meydana gelecek ısı kaybını önemli ölçüde azaltır. Ancak optimum yalıtım kalınlığının belirlenebilmesi için bir maliyet analizinin yapılması gerekir. Birim yüzey için kaybedilen yıllık ısı enerji maliyeti $C_{yıl}$;

$$C_{yıl} = \frac{q_{yıl} \cdot C_{yakıt}}{Hu \cdot \eta} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada $C_{yakıt}$ yakıtın birim fiyatını, Hu yakıtın alt ısıl değerini, η yakma sistemi ısıl verimini göstermektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken, ömür maliyet analizi metodu kullanılmıştır. Yıllık enerji maliyeti, şimdiki değer faktörü ve belirlenen ömür süresine göre hesaplanmıştır [12]. Şimdiki değer faktörü enflasyon ve faiz oranlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (7)$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (8)$$

Burada PWF şimdiki değer faktörü, r gerçek faiz oranı, i faiz oranı, g enflasyon oranını ve N ömür süresini göstermektedir. Yalıtım maliyeti ise;

$$C_{yalıtım} = C_y \cdot \left[\pi \cdot \left(r_3^2 - r_2^2\right)\right] \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır. Burada C_y yalıtım birim fiyatıdır.

Sonuç olarak yalıtılmış bir borunun ömür maliyet analizi metoduna göre toplam maliyeti;

$$C_{yalıtım,toplam} = C_{yıl} \cdot PWF + C_y \cdot \left[\pi \cdot \left(r_3^2 - r_2^2\right)\right] \quad (10)$$

şeklinde hesaplanır. Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam maliyetin minimum olduğu değer, yani optimum yalıtım kalınlığı tespit edilir.

2.4. Geri Ödeme Süresi

C_{toplam}, yalıtımsız borudan toplam ısı kaybı maliyeti olmak üzere, yalıtımın ömrü boyunca elde edilecek net tasarrufların bugünkü değerleri toplamı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_{yıl} = C_{toplam} - C_{yalıtım,toplam} \quad (11)$$

$C_{yıl}^1$ yalıtımsız durumdaki, $C_{yıl}^2$ yalıtımlı durumdaki birim boy için ısı kaybının yıllık enerji maliyeti olmak üzere geri ödeme süresi;

$$pp = \frac{C_{yalıtım}}{C_{yıl}^1 - C_{yıl}^2} \quad (12)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 29

3. HESAPLAR VE DEĞERLENDİRME

Boruların dış yüzeylerine uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça, borularda oluşan ısı kaybı azalmakta dolayısıyla ısı kaybını karşılamak için verilen enerji de azalmaktadır. Bunun yanında yalıtım kalınlığının artması, ilk yatırım maliyetini de arttırır. Yalıtım maliyetinin artması, toplam maliyeti etkiler. Çalışmada Türkiye'de ki dört derece gün bölgesi için, doğal gaz yakıtı ve iki farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıkları, net tasarruf miktarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Şimdiki değer faktörünün hesaplanmasında kullanılan ömür, faiz ve enflasyon değerleri Tablo 5'de özetlenmiştir.

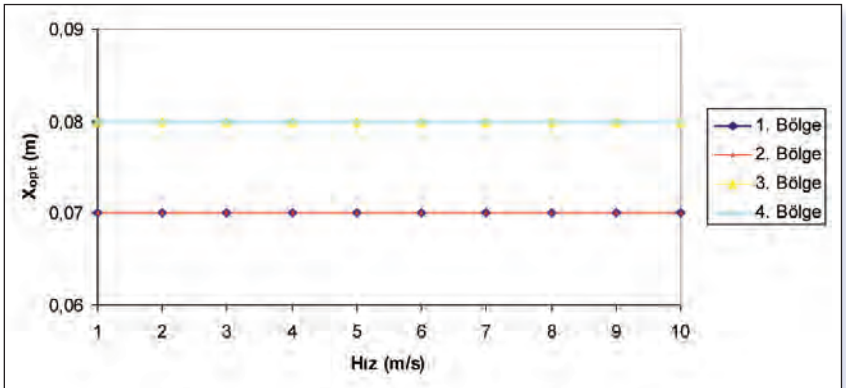
Tablo 5. Faiz, Enflasyon Oranları ve Zaman [13]

Faiz Oranı (i) %	Enflasyon Oranı (g) %	Ömür (N) yıl
14,5	11,14	10

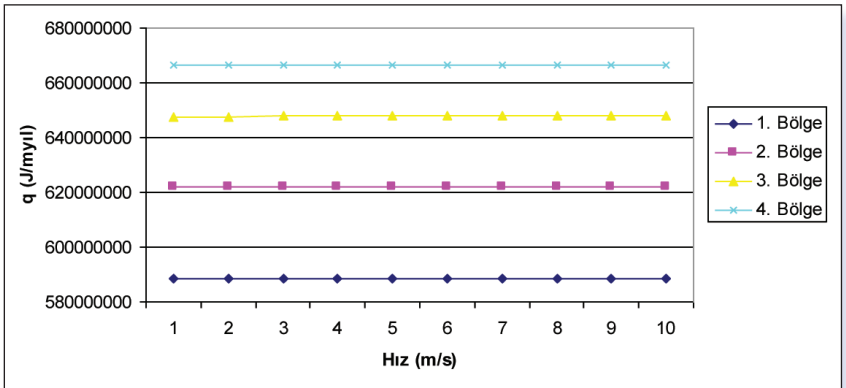
Yalıtılmış bir boru sisteminde taşınan sıcak su için toplam ısıtma maliyetlerini etkileyen iki parametre vardır. Bu parametreler yalıtım ve enerji maliyetleridir. Boru sisteminde yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı kaybı azalır. Bu yüzden birim uzunluktaki boru sisteminde taşınan suyu ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Ancak yalıtım kalınlığının gereğinden fazla arttırılması, yalıtım maliyetini arttırır. Bu durumda yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar. Toplam maliyetin minimum olduğu bu nokta, optimum yalıtım kalınlığı olarak ifade edilmektedir. Türkiye'nin dört derece gün bölgesinde cam yünü yalıtım malzemesi için yalıtım kalınlığına göre yıllık maliyetin değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi toplam maliyet belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Toplam maliyetin

Borunun içinden geçen su hızının artması boru içi taşınım katsayısını artırmaktadır. Bu durumda borudan transfer edilen ısı miktarı artmaktadır. Su hızının artmasının optimum yalıtım kalınlığına etkisi incelenmiştir.

Şekil 2'den de görüleceği gibi dört bölge için hızın değişimi optimum yalıtım kalınlığını değiştirmemektedir. Birim boy boru için yıllık kaybedilen enerji değişimi Şekil 3'de incelenmiştir. Su hızın değişimi ile ısı kaybının değişimi %0,018 olarak hesaplanmış, eğriler neredeyse yatay çıkmıştır. Bu nedenle de optimum yalıtım kalınlığı su hızı ile değişmemiştir. Bu nedenle çalışmada verilen grafikler sadece boru içinden 2 m/s su geçmesi durumu için verilmiştir.

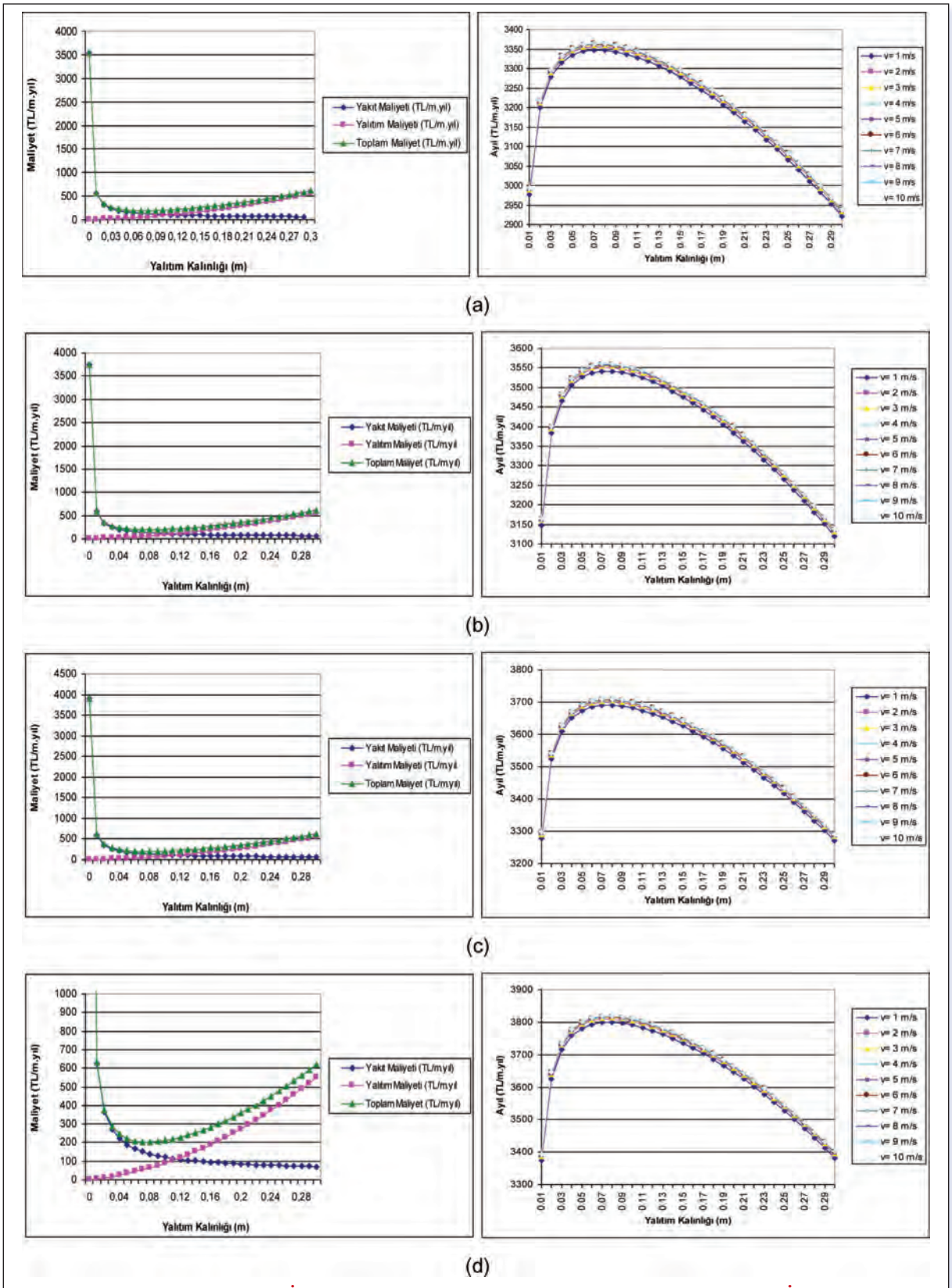


Şekil 2. İçinden 90 °C Su Geçen DN 80 Boru İçin Farklı Hızlar İçin Dört Bölgede Cam Yünü İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı



Şekil 3. Cam Yünü İle Yalıtılmış, İçinden 90 °C Su Geçen DN 80 Boru İçin Farklı Hızlar İçin Dört Bölgede Birim Boy Borudan Kaybedilen Isı Enerjisi Miktarı

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 30



Şekil 4. Cam Yünü ile Yalıtılmış, İçinden 90 °C Sıcaklıkta ve 2 m/s Hızda Su Geçen DN 80 Boru İçin Dört Bölgede Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Farklı Hızlar İçin Net Tasarruf Miktarı A) 1. Bölge, B) 2. Bölge, C) 3. Bölge, D) 4. Bölge

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:26 Page 31

minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buradaki optimum yalıtım kalınlığı DN80 boru için 1. ve 2. Bölgelerde 7 cm, 3. ve 4. bölgelerde 8 cm olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan, yalıtım maliyeti düz duvar yalıtımı uygulamalarında yalıtım kalınlığı ile doğrusal artmaktadır. Ancak bu durum Şekil 4'de görüldüğü gibi boru yalıtımındaki silindirik geometri nedeniyle doğrusal olarak artmamaktadır. Şekil 4'de yalıtım kalınlığının değişmesi durumunda farklı hızlar için net tasarruf miktarları değişimi verilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı değerinde, net tasarruf miktarı da maksimum olmaktadır.

Yalıtım malzemesi olarak cam yünü ile kauçuk malzeme seçilmiş ve hesaplamalar bu en çok kullanılan yalıtım malzemeler için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Tablo 6'da cam yünü için 40–90 ˚C sıcaklıklar arasında, DN 15-DN 200 arasında boru çapları için, Türkiye'nin dört derece gün bölgesi de optimum yalıtım kalınlıkları, net tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri verilmiştir. Beklenildiği gibi, daha soğuk bölgelerde optimum yalıtım kalınlığı daha kalın çıkarken, tasarruf miktarı da artmaktadır. Aynı çap değeri için boru içinden geçen akışkanın sıcaklığı arttıkça optimum yalıtım kalınlığı ve net tasarruf miktarı da artmaktadır.

Seçilen ikinci yalıtım malzemesi olan kauçuk için benzer çalışmalar yapılmış ve sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur. Kauçuk malzemesinin gerek birim fiyatının farklı olması, gerekse ısı iletim katsayısının cam yününe göre daha düşük olması nedeniyle, optimum yalıtım kalınlık değerleri cam yününe göre daha az olduğu durumlar tespit edilmiştir.

Şekil 5'te içinden 40–90 ˚C arasında sıcak su geçen, DN15 ile DN200 arasındaki borularda, cam yünü için optimum yalıtım kalınlık değerleri verilmiştir. Büyük borularda optimum yalıtım kalınlığı, küçük borulara göre daha kalın olmakta ve içinden geçen sıcaklığını artması ile de bu değer daha da artmaktadır. Şekil incelendiğinde, dış havanın daha da soğuk olduğu dördüncü bölgeye doğru optimum yalıtım kalınlık değerlerinin arttığı görülmektedir.

Şekil 6'da içinden 40–90 ˚C arasında sıcak su geçen, DN15 ile DN200 arasındaki borularda, cam yünü kullanılması durumunda net tasarruf miktarları verilmiştir. Net tasarruf miktarı değeri birim boy borudan ömür boyunca elde edilen net tasarruf miktarıdır. Şekilden de görüleceği üzerine içinden geçen akışkanın sıcaklığının artması ve boru çapının artması, yapılan net tasarruf miktarını artırmaktadır. Bu durum yapılan yalıtımın içinden geçen akışkanın sıcaklığının artması ile daha da önemli hale geleceğini gösterir. Ayrıca boru çapının artması ile yapılacak tasarruf miktarının artması, daha kalın boruların çok daha iyi yalıtılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Şekil 7'de içinden 40–90 ˚C arasında sıcak su geçen, DN15 ile DN200 arasındaki borularda, cam yünü için geri ödeme süreleri verilmiştir. Boru içinden geçen su sıcaklığı arttıkça geri ödeme süreleri azalmaktadır. Boru çapı artıkça geri ödeme süreleri azalmaktadır.

Bu çalışma ışığında Türkiye'nin dört derece gün bölgesindeki tüm şehirler için de pratik uygulamalar yapılabilir. Örneğin içinden 90 ˚C sıcaklıkta su geçen borularda 1. derece gün bölgesinde bulunan İzmir ili için: DN 15 boru için 5 cm, DN 20–40 arası borular için 6 cm, DN 50–80 arası borular için 7 cm, DN 100–150 arası borular için 8 cm ve DN 200 boru için 9 cm cam yünü kullanılmalıdır. 2. derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ili için: DN 15 boru için 5 cm, DN 20–32 arası borular için 6 cm, DN 40–80 arası borular için 7 cm, DN 100–150 arası borular için 8 cm ve DN 200 boru için 9 cm cam yünü kullanılmalıdır. 3. derce gün bölgesinde bulunan Ankara ili için: DN 15–32 arası borular için 6 cm, DN 40–65 arası borular için 7 cm, DN 80–125 arası borular için 8 cm, DN 150–200 arası borular için 9 cm cam yünü kullanılmalıdır. 4. derce gün bölgesinde bulunan Erzurum ili için: DN 15–25 arası borular için 6 cm, DN 32–65 arası borular için 7 cm, DN 80–125 arası borular için 8 cm, DN 150–200 arası borular için 9 cm cam yünü kullanılmalıdır. Benzer çalışmalar boru içinden 40-90 ˚C arası sıcaklıklarda su geçmesi için tekrarlanabilir.

Tablo 6. Cam Yünü Yalıtım Malzemesi İçin Farklı İç Sıcaklıklarda Optimum Yalıtım Kalınlığı, Net Tasarruf Miktarı ve Geri Ödeme Süreleri

40 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt}	$A_{yıl}$	pp
	(m)	(TL/m.yıl)	(yıl)
1. Bölge	0,03	225,62	0,0321
2. Bölge	0,04	269,00	0,0430
3. Bölge	0,04	302,59	0,0382
4. Bölge	0,04	327,14	0,0353
	DN 20		
1. Bölge	0,04	289,65	0,0435
2. Bölge	0,04	345,66	0,0365
3. Bölge	0,04	388,55	0,0325
4. Bölge	0,04	419,90	0,0300
	DN 25		
1. Bölge	0,04	367,97	0,0378
2. Bölge	0,04	438,74	0,0317
3. Bölge	0,04	492,92	0,0282
4. Bölge	0,04	532,53	0,0261
	DN 32		
1. Bölge	0,04	468,42	0,0332
2. Bölge	0,04	558,11	0,0278
3. Bölge	0,04	626,78	0,0248
4. Bölge	0,04	676,97	0,0229
	DN 40		
1. Bölge	0,04	536,60	0,0310
2. Bölge	0,04	639,13	0,0260
3. Bölge	0,04	717,64	0,0232
4. Bölge	0,05	775,47	0,0299
	DN 50		
1. Bölge	0,04	675,34	0,0280
2. Bölge	0,04	804,00	0,0235
3. Bölge	0,05	903,33	0,0288
4. Bölge	0,05	975,94	0,0266
	DN 65		
1. Bölge	0,04	821,59	0,0259
2. Bölge	0,05	978,52	0,0296
3. Bölge	0,05	1099,13	0,0264
4. Bölge	0,05	1187,28	0,0244
	DN 80		
1. Bölge	0,05	1005,46	0,0325
2. Bölge	0,05	1197,86	0,0273
3. Bölge	0,05	1345,18	0,0243
4. Bölge	0,05	1452,85	0,0225
	DN 100		
1. Bölge	0,05	1300,09	0,0298
2. Bölge	0,05	1548,20	0,0250
3. Bölge	0,05	1738,16	0,0223
4. Bölge	0,05	1877,01	0,0206
	DN 125		
1. Bölge	0,05	1609,60	0,0280
2. Bölge	0,05	1916,23	0,0235
3. Bölge	0,06	2151,14	0,0264
4. Bölge	0,06	2323,67	0,0245
	DN 150		
1. Bölge	0,05	1926,01	0,0267
2. Bölge	0,05	2292,47	0,0224
3. Bölge	0,06	2574,12	0,0251
4. Bölge	0,06	2780,30	0,0232
	DN 200		
1. Bölge	0,05	2514,11	0,0252
2. Bölge	0,06	2992,64	0,0264
3. Bölge	0,06	3360,33	0,0235
4. Bölge	0,06	3629,07	0,0217

50 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt}	$A_{yıl}$	pp
	(m)	(TL/m.yıl)	(yıl)
1. Bölge	0,04	331,63	0,0348
2. Bölge	0,04	375,51	0,0308
3. Bölge	0,04	409,12	0,0282
4. Bölge	0,04	433,67	0,0266
	DN 20		
1. Bölge	0,04	425,63	0,0296
2. Bölge	0,04	481,67	0,0262
3. Bölge	0,04	524,58	0,0240
4. Bölge	0,05	556,00	0,0326
	DN 25		
1. Bölge	0,04	539,78	0,0257
2. Bölge	0,05	610,59	0,0323
3. Bölge	0,05	665,30	0,0296
4. Bölge	0,05	705,29	0,0280
	DN 32		
1. Bölge	0,05	686,23	0,0317
2. Bölge	0,05	776,77	0,0280
3. Bölge	0,05	846,09	0,0257
4. Bölge	0,05	896,75	0,0243
	DN 40		
1. Bölge	0,05	786,08	0,0295
2. Bölge	0,05	889,56	0,0260
3. Bölge	0,05	968,79	0,0239
4. Bölge	0,05	1026,70	0,0226
	DN 50		
1. Bölge	0,05	989,25	0,0263
2. Bölge	0,05	1119,08	0,0232
3. Bölge	0,05	1218,48	0,0213
4. Bölge	0,05	1291,13	0,0201
	DN 65		
1. Bölge	0,05	1203,46	0,0241
2. Bölge	0,05	1361,06	0,0213
3. Bölge	0,06	1481,76	0,0254
4. Bölge	0,06	1570,45	0,0239
	DN 80		
1. Bölge	0,05	1472,63	0,0222
2. Bölge	0,06	1665,29	0,0253
3. Bölge	0,06	1813,50	0,0232
4. Bölge	0,06	1921,83	0,0219
	DN 100		
1. Bölge	0,06	1902,67	0,0259
2. Bölge	0,06	2152,28	0,0229
3. Bölge	0,06	2343,39	0,0210
4. Bölge	0,06	2483,06	0,0198
	DN 125		
1. Bölge	0,06	2355,43	0,0241
2. Bölge	0,06	2663,90	0,0213
3. Bölge	0,06	2900,08	0,0196
4. Bölge	0,06	3072,70	0,0185
	DN 150		
1. Bölge	0,06	2818,31	0,0229
2. Bölge	0,06	3186,95	0,0203
3. Bölge	0,06	3469,20	0,0186
4. Bölge	0,07	3676,00	0,0214
	DN 200		
1. Bölge	0,06	3678,68	0,0215
2. Bölge	0,06	4159,18	0,0190
3. Bölge	0,07	4528,38	0,0211
4. Bölge	0,07	4798,30	0,0199

60 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt}	$A_{yıl}$	pp
	(m)	(TL/m.yıl)	(yıl)
1. Bölge	0,04	438,17	0,0264
2. Bölge	0,04	482,07	0,0240
3. Bölge	0,05	515,91	0,0326
4. Bölge	0,05	540,73	0,0311
	DN 20		
1. Bölge	0,05	561,80	0,0323
2. Bölge	0,05	618,41	0,0293
3. Bölge	0,05	661,76	0,0274
4. Bölge	0,05	693,43	0,0261
	DN 25		
1. Bölge	0,05	712,63	0,0277
2. Bölge	0,05	784,11	0,0252
3. Bölge	0,05	838,85	0,0235
4. Bölge	0,05	878,85	0,0224
	DN 32		
1. Bölge	0,05	906,04	0,0240
2. Bölge	0,05	996,61	0,0218
3. Bölge	0,05	1065,95	0,0204
4. Bölge	0,05	1116,63	0,0195
	DN 40		
1. Bölge	0,05	1037,32	0,0223
2. Bölge	0,05	1140,84	0,0203
3. Bölge	0,06	1220,15	0,0251
4. Bölge	0,06	1278,43	0,0240
	DN 50		
1. Bölge	0,05	1304,46	0,0199
2. Bölge	0,06	1434,85	0,0237
3. Bölge	0,06	1534,87	0,0222
4. Bölge	0,06	1607,97	0,0212
	DN 65		
1. Bölge	0,06	1586,75	0,0237
2. Bölge	0,06	1745,31	0,0215
3. Bölge	0,06	1866,72	0,0201
4. Bölge	0,06	1955,45	0,0192
	DN 80		
1. Bölge	0,06	1941,75	0,0217
2. Bölge	0,06	2135,40	0,0197
3. Bölge	0,06	2283,67	0,0184
4. Bölge	0,06	2392,04	0,0176
	DN 100		
1. Bölge	0,06	2508,79	0,0196
2. Bölge	0,06	2758,49	0,0179
3. Bölge	0,07	2950,12	0,0206
4. Bölge	0,07	3090,41	0,0197
	DN 125		
1. Bölge	0,06	3104,52	0,0183
2. Bölge	0,07	3413,98	0,0204
3. Bölge	0,07	3651,19	0,0191
4. Bölge	0,07	3824,55	0,0182
	DN 150		
1. Bölge	0,07	3714,22	0,0212
2. Bölge	0,07	4084,45	0,0192
3. Bölge	0,07	4367,92	0,0180
4. Bölge	0,07	4575,10	0,0172
	DN 200		
1. Bölge	0,07	4848,19	0,0197
2. Bölge	0,07	5330,75	0,0179
3. Bölge	0,07	5700,23	0,0167
4. Bölge	0,08	5970,53	0,0189

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:27 Page 33

Tablo 6.'nın Devamı

70 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,05	545,29	0,0308
2. Bölge	0,05	589,65	0,0285
3. Bölge	0,05	623,62	0,0269
4. Bölge	0,05	648,45	0,0259
	DN 20		
1. Bölge	0,05	699,24	0,0259
2. Bölge	0,05	755,86	0,0240
3. Bölge	0,05	799,22	0,0227
4. Bölge	0,05	830,90	0,0218
	DN 25		
1. Bölge	0,05	886,19	0,0223
2. Bölge	0,05	957,70	0,0206
3. Bölge	0,05	1012,45	0,0195
4. Bölge	0,06	1052,62	0,0252
	DN 32		
1. Bölge	0,05	1125,93	0,0193
2. Bölge	0,06	1217,00	0,0238
3. Bölge	0,06	1286,79	0,0225
4. Bölge	0,06	1337,80	0,0216
	DN 40		
1. Bölge	0,06	1289,12	0,0238
2. Bölge	0,06	1393,30	0,0220
3. Bölge	0,06	1473,06	0,0208
4. Bölge	0,06	1531,35	0,0200
	DN 50		
1. Bölge	0,06	1621,39	0,0210
2. Bölge	0,06	1752,06	0,0194
3. Bölge	0,06	1852,11	0,0184
4. Bölge	0,06	1925,23	0,0177
	DN 65		
1. Bölge	0,06	1971,76	0,0191
2. Bölge	0,06	2130,37	0,0177
3. Bölge	0,06	2251,81	0,0167
4. Bölge	0,07	2340,92	0,0202
	DN 80		
1. Bölge	0,06	2411,98	0,0175
2. Bölge	0,07	2606,18	0,0201
3. Bölge	0,07	2755,10	0,0190
4. Bölge	0,07	2863,95	0,0183
	DN 100		
1. Bölge	0,07	3116,26	0,0195
2. Bölge	0,07	3367,04	0,0181
3. Bölge	0,07	3559,05	0,0171
4. Bölge	0,07	3699,39	0,0164
	DN 125		
1. Bölge	0,07	3856,53	0,0180
2. Bölge	0,07	4166,44	0,0167
3. Bölge	0,07	4403,72	0,0158
4. Bölge	0,08	4577,28	0,0182
	DN 150		
1. Bölge	0,07	4613,36	0,0170
2. Bölge	0,07	4983,71	0,0158
3. Bölge	0,08	5268,03	0,0178
4. Bölge	0,08	5475,90	0,0171
	DN 200		
1. Bölge	0,08	6020,62	0,0187
2. Bölge	0,08	6504,76	0,0173
3. Bölge	0,08	6875,44	0,0164
4. Bölge	0,08	7146,36	0,0158

80 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,05	653,00	0,0257
2. Bölge	0,05	697,38	0,0241
3. Bölge	0,05	731,36	0,0230
4. Bölge	0,05	756,19	0,0222
	DN 20		
1. Bölge	0,05	836,71	0,0217
2. Bölge	0,05	893,34	0,0203
3. Bölge	0,06	936,76	0,0262
4. Bölge	0,06	968,67	0,0254
	DN 25		
1. Bölge	0,06	1060,00	0,0250
2. Bölge	0,06	1131,99	0,0234
3. Bölge	0,06	1187,11	0,0223
4. Bölge	0,06	1227,39	0,0216
	DN 32		
1. Bölge	0,06	1347,15	0,0215
2. Bölge	0,06	1438,32	0,0201
3. Bölge	0,06	1508,13	0,0192
4. Bölge	0,06	1559,15	0,0186
	DN 40		
1. Bölge	0,06	1542,04	0,0199
2. Bölge	0,06	1646,24	0,0186
3. Bölge	0,06	1726,02	0,0177
4. Bölge	0,06	1784,33	0,0172
	DN 50		
1. Bölge	0,06	1938,64	0,0175
2. Bölge	0,07	2069,37	0,0208
3. Bölge	0,07	2169,87	0,0198
4. Bölge	0,07	2243,33	0,0192
	DN 65		
1. Bölge	0,07	2357,30	0,0200
2. Bölge	0,07	2516,61	0,0187
3. Bölge	0,07	2638,58	0,0179
4. Bölge	0,07	2727,73	0,0173
	DN 80		
1. Bölge	0,07	2883,95	0,0182
2. Bölge	0,07	3078,51	0,0170
3. Bölge	0,07	3227,47	0,0162
4. Bölge	0,07	3336,34	0,0157
	DN 100		
1. Bölge	0,07	3725,22	0,0163
2. Bölge	0,07	3976,06	0,0153
3. Bölge	0,08	4168,48	0,0176
4. Bölge	0,08	4309,28	0,0170
	DN 125		
1. Bölge	0,08	4609,32	0,0181
2. Bölge	0,08	4920,24	0,0169
3. Bölge	0,08	5158,29	0,0162
4. Bölge	0,08	5332,28	0,0156
	DN 150		
1. Bölge	0,08	5514,23	0,0170
2. Bölge	0,08	5885,78	0,0159
3. Bölge	0,08	6170,27	0,0152
4. Bölge	0,08	6378,19	0,0147
	DN 200		
1. Bölge	0,08	7196,41	0,0157
2. Bölge	0,08	7680,69	0,0147
3. Bölge	0,09	8051,74	0,0163
4. Bölge	0,09	8323,36	0,0158

90 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,05	760,73	0,0221
2. Bölge	0,05	805,12	0,0209
3. Bölge	0,06	839,13	0,0274
4. Bölge	0,06	864,15	0,0266
	DN 20		
1. Bölge	0,06	974,51	0,0252
2. Bölge	0,06	1031,54	0,0238
3. Bölge	0,06	1075,21	0,0229
4. Bölge	0,06	1107,13	0,0222
	DN 25		
1. Bölge	0,06	1234,76	0,0215
2. Bölge	0,06	1306,76	0,0203
3. Bölge	0,06	1361,89	0,0195
4. Bölge	0,06	1402,18	0,0189
	DN 32		
1. Bölge	0,06	1568,49	0,0185
2. Bölge	0,06	1659,68	0,0174
3. Bölge	0,06	1729,51	0,0167
4. Bölge	0,07	1780,64	0,0208
	DN 40		
1. Bölge	0,06	1795,00	0,0171
2. Bölge	0,07	1899,38	0,0205
3. Bölge	0,07	1979,53	0,0197
4. Bölge	0,07	2038,11	0,0191
	DN 50		
1. Bölge	0,07	2256,78	0,0190
2. Bölge	0,07	2388,07	0,0180
3. Bölge	0,07	2488,59	0,0173
4. Bölge	0,07	2562,05	0,0168
	DN 65		
1. Bölge	0,07	2744,09	0,0172
2. Bölge	0,07	2903,44	0,0162
3. Bölge	0,07	3025,44	0,0156
4. Bölge	0,07	3114,61	0,0151
	DN 80		
1. Bölge	0,07	3356,33	0,0156
2. Bölge	0,07	3550,92	0,0148
3. Bölge	0,08	3700,32	0,0172
4. Bölge	0,08	3809,55	0,0167
	DN 100		
1. Bölge	0,08	4335,16	0,0169
2. Bölge	0,08	4586,82	0,0160
3. Bölge	0,08	4779,50	0,0153
4. Bölge	0,08	4920,33	0,0149
	DN 125		
1. Bölge	0,08	5364,30	0,0155
2. Bölge	0,08	5675,28	0,0147
3. Bölge	0,08	5913,39	0,0141
4. Bölge	0,08	6087,42	0,0137
	DN 150		
1. Bölge	0,08	6416,48	0,0146
2. Bölge	0,08	6788,13	0,0138
3. Bölge	0,09	7073,29	0,0155
4. Bölge	0,09	7281,74	0,0150
	DN 200		
1. Bölge	0,09	8373,47	0,0157
2. Bölge	0,09	8858,97	0,0148
3. Bölge	0,09	9230,70	0,0142
4. Bölge	0,09	9502,38	0,0138

Tablo 7. Kauçuk Yalıtım Malzemesi İçin Farklı İç Sıcaklıklarda Optimum Yalıtım Kalınlığı, Net Tasarruf Miktarı ve Geri Ödeme Süreleri

40 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,03	227,23	0,0340
2. Bölge	0,03	270,78	0,0286
3. Bölge	0,04	304,24	0,0405
4. Bölge	0,04	328,98	0,0375
	DN 20		
1. Bölge	0,03	291,42	0,0294
2. Bölge	0,04	347,26	0,0387
3. Bölge	0,04	390,44	0,0345
4. Bölge	0,04	422,00	0,0319
	DN 25		
1. Bölge	0,04	369,38	0,0401
2. Bölge	0,04	440,58	0,0336
3. Bölge	0,04	495,09	0,0299
4. Bölge	0,04	534,93	0,0277
	DN 32		
1. Bölge	0,04	470,05	0,0352
2. Bölge	0,04	560,24	0,0296
3. Bölge	0,04	629,29	0,0263
4. Bölge	0,04	679,75	0,0244
	DN 40		
1. Bölge	0,04	538,38	0,0330
2. Bölge	0,04	641,45	0,0277
3. Bölge	0,04	720,36	0,0246
4. Bölge	0,04	778,03	0,0228
	DN 50		
1. Bölge	0,04	677,41	0,0298
2. Bölge	0,04	806,69	0,0250
3. Bölge	0,04	905,67	0,0223
4. Bölge	0,05	978,38	0,0283
	DN 65		
1. Bölge	0,04	823,96	0,0276
2. Bölge	0,04	980,87	0,0232
3. Bölge	0,05	1101,57	0,0281
4. Bölge	0,05	1190,06	0,0260
	DN 80		
1. Bölge	0,04	1008,11	0,0257
2. Bölge	0,05	1200,15	0,0291
3. Bölge	0,05	1347,99	0,0259
4. Bölge	0,05	1456,05	0,0240
	DN 100		
1. Bölge	0,04	1302,22	0,0238
2. Bölge	0,05	1550,95	0,0266
3. Bölge	0,05	1741,56	0,0237
4. Bölge	0,05	1880,87	0,0220
	DN 125		
1. Bölge	0,05	1611,87	0,0298
2. Bölge	0,05	1919,48	0,0250
3. Bölge	0,05	2155,01	0,0223
4. Bölge	0,05	2327,15	0,0206
	DN 150		
1. Bölge	0,05	1928,63	0,0284
2. Bölge	0,05	2296,21	0,0239
3. Bölge	0,05	2577,66	0,0213
4. Bölge	0,06	2783,57	0,0247
	DN 200		
1. Bölge	0,05	2517,37	0,0269
2. Bölge	0,05	2996,43	0,0226
3. Bölge	0,06	3363,71	0,0250
4. Bölge	0,06	3633,12	0,0232

50 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,04	333,51	0,0370
2. Bölge	0,04	377,73	0,0326
3. Bölge	0,04	411,59	0,0299
4. Bölge	0,04	436,34	0,0282
	DN 20		
1. Bölge	0,04	427,78	0,0314
2. Bölge	0,04	484,20	0,0278
3. Bölge	0,04	527,40	0,0255
4. Bölge	0,04	558,97	0,0241
	DN 25		
1. Bölge	0,04	542,23	0,0273
2. Bölge	0,04	613,46	0,0242
3. Bölge	0,04	668,00	0,0222
4. Bölge	0,05	707,89	0,0297
	DN 32		
1. Bölge	0,04	689,00	0,0240
2. Bölge	0,04	779,22	0,0213
3. Bölge	0,05	848,83	0,0274
4. Bölge	0,05	899,74	0,0258
	DN 40		
1. Bölge	0,04	788,60	0,0225
2. Bölge	0,05	892,18	0,0277
3. Bölge	0,05	971,77	0,0254
4. Bölge	0,05	1029,94	0,0240
	DN 50		
1. Bölge	0,05	991,74	0,0280
2. Bölge	0,05	1122,11	0,0247
3. Bölge	0,05	1221,92	0,0227
4. Bölge	0,05	1294,87	0,0214
	DN 65		
1. Bölge	0,05	1206,31	0,0256
2. Bölge	0,05	1364,52	0,0227
3. Bölge	0,05	1485,65	0,0208
4. Bölge	0,05	1574,18	0,0196
	DN 80		
1. Bölge	0,05	1475,90	0,0237
2. Bölge	0,05	1669,10	0,0209
3. Bölge	0,05	1817,02	0,0192
4. Bölge	0,06	1925,32	0,0233
	DN 100		
1. Bölge	0,05	1906,49	0,0217
2. Bölge	0,05	2155,56	0,0192
3. Bölge	0,06	2347,17	0,0224
4. Bölge	0,06	2487,26	0,0211
	DN 125		
1. Bölge	0,05	2358,84	0,0204
2. Bölge	0,06	2667,68	0,0227
3. Bölge	0,06	2904,52	0,0209
4. Bölge	0,06	3077,61	0,0197
	DN 150		
1. Bölge	0,06	2821,67	0,0244
2. Bölge	0,06	3191,29	0,0216
3. Bölge	0,06	3474,30	0,0198
4. Bölge	0,06	3681,14	0,0187
	DN 200		
1. Bölge	0,06	3682,85	0,0229
2. Bölge	0,06	4164,56	0,0202
3. Bölge	0,06	4533,38	0,0186
4. Bölge	0,06	4802,94	0,0175

60 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,04	440,87	0,0280
2. Bölge	0,04	485,11	0,0254
3. Bölge	0,04	518,98	0,0237
4. Bölge	0,04	543,74	0,0227
	DN 20		
1. Bölge	0,04	564,76	0,0238
2. Bölge	0,04	621,20	0,0217
3. Bölge	0,05	664,67	0,0291
4. Bölge	0,05	696,54	0,0277
	DN 25		
1. Bölge	0,05	715,26	0,0294
2. Bölge	0,05	787,13	0,0267
3. Bölge	0,05	842,16	0,0250
4. Bölge	0,05	882,38	0,0238
	DN 32		
1. Bölge	0,05	909,07	0,0255
2. Bölge	0,05	1000,07	0,0232
3. Bölge	0,05	1069,75	0,0217
4. Bölge	0,05	1120,68	0,0207
	DN 40		
1. Bölge	0,05	1040,61	0,0237
2. Bölge	0,05	1144,60	0,0216
3. Bölge	0,05	1224,22	0,0202
4. Bölge	0,05	1282,41	0,0193
	DN 50		
1. Bölge	0,05	1308,26	0,0212
2. Bölge	0,05	1438,67	0,0193
3. Bölge	0,05	1538,52	0,0180
4. Bölge	0,06	1611,81	0,0225
	DN 65		
1. Bölge	0,05	1590,46	0,0194
2. Bölge	0,06	1748,95	0,0229
3. Bölge	0,06	1870,77	0,0214
4. Bölge	0,06	1959,81	0,0205
	DN 80		
1. Bölge	0,06	1945,31	0,0231
2. Bölge	0,06	2139,58	0,0210
3. Bölge	0,06	2288,32	0,0196
4. Bölge	0,06	2397,04	0,0187
	DN 100		
1. Bölge	0,06	2513,06	0,0209
2. Bölge	0,06	2763,50	0,0190
3. Bölge	0,06	2955,25	0,0178
4. Bölge	0,06	3095,39	0,0170
	DN 125		
1. Bölge	0,06	3109,52	0,0195
2. Bölge	0,06	3418,97	0,0177
3. Bölge	0,06	3655,91	0,0166
4. Bölge	0,07	3829,61	0,0194
	DN 150		
1. Bölge	0,06	3719,31	0,0185
2. Bölge	0,06	4089,08	0,0168
3. Bölge	0,07	4373,22	0,0192
4. Bölge	0,07	4580,89	0,0183
	DN 200		
1. Bölge	0,07	4852,83	0,0210
2. Bölge	0,07	5336,47	0,0191
3. Bölge	0,07	5706,77	0,0178
4. Bölge	0,07	5977,40	0,0170

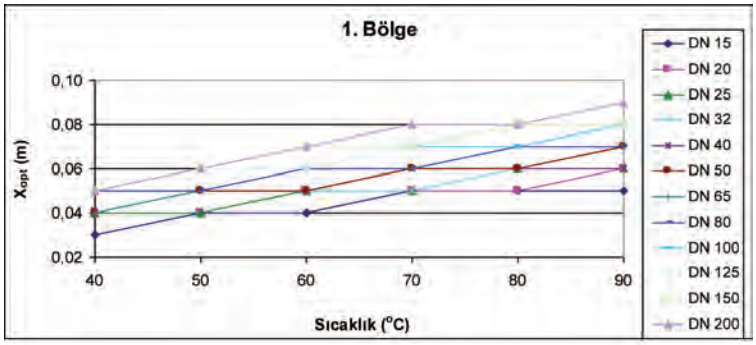
25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:27 Page 35

Tablo 7'nin Devamı

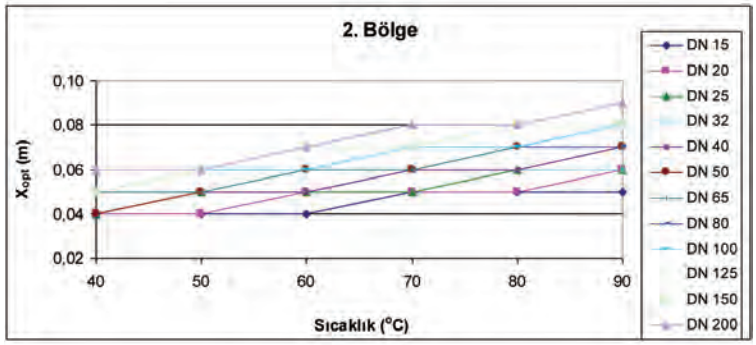
70 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,04	548,28	0,0225
2. Bölge	0,05	592,72	0,0302
3. Bölge	0,05	626,93	0,0286
4. Bölge	0,05	651,93	0,0275
	DN 20		
1. Bölge	0,05	702,38	0,0275
2. Bölge	0,05	759,34	0,0255
3. Bölge	0,05	802,96	0,0241
4. Bölge	0,05	834,84	0,0232
	DN 25		
1. Bölge	0,05	889,75	0,0236
2. Bölge	0,05	961,65	0,0219
3. Bölge	0,05	1016,69	0,0207
4. Bölge	0,05	1056,92	0,0199
	DN 32		
1. Bölge	0,05	1130,02	0,0206
2. Bölge	0,05	1221,05	0,0190
3. Bölge	0,05	1290,75	0,0180
4. Bölge	0,06	1341,83	0,0230
	DN 40		
1. Bölge	0,05	1293,08	0,0191
2. Bölge	0,05	1397,10	0,0177
3. Bölge	0,06	1477,18	0,0221
4. Bölge	0,06	1535,72	0,0213
	DN 50		
1. Bölge	0,06	1625,28	0,0223
2. Bölge	0,06	1756,44	0,0207
3. Bölge	0,06	1856,86	0,0195
4. Bölge	0,06	1930,25	0,0188
	DN 65		
1. Bölge	0,06	1976,18	0,0203
2. Bölge	0,06	2135,34	0,0188
3. Bölge	0,06	2257,20	0,0178
4. Bölge	0,06	2346,26	0,0171
	DN 80		
1. Bölge	0,06	2417,04	0,0186
2. Bölge	0,06	2611,38	0,0172
3. Bölge	0,06	2760,17	0,0163
4. Bölge	0,06	2868,92	0,0157
	DN 100		
1. Bölge	0,06	3121,21	0,0168
2. Bölge	0,07	3372,09	0,0192
3. Bölge	0,07	3564,62	0,0182
4. Bölge	0,07	3705,32	0,0175
	DN 125		
1. Bölge	0,07	3861,66	0,0192
2. Bölge	0,07	4172,34	0,0178
3. Bölge	0,07	4410,22	0,0168
4. Bölge	0,07	4584,07	0,0162
	DN 150		
1. Bölge	0,07	4619,23	0,0182
2. Bölge	0,07	4990,47	0,0168
3. Bölge	0,07	5274,71	0,0159
4. Bölge	0,07	5482,45	0,0153
	DN 200		
1. Bölge	0,07	6027,46	0,0169
2. Bölge	0,07	6511,27	0,0156
3. Bölge	0,08	6881,96	0,0175
4. Bölge	0,08	7153,42	0,0168

80 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,05	656,51	0,0273
2. Bölge	0,05	701,19	0,0256
3. Bölge	0,05	735,40	0,0244
4. Bölge	0,05	760,41	0,0236
	DN 20		
1. Bölge	0,05	840,68	0,0230
2. Bölge	0,05	897,66	0,0215
3. Bölge	0,05	941,28	0,0205
4. Bölge	0,05	973,17	0,0199
	DN 25		
1. Bölge	0,05	1064,29	0,0198
2. Bölge	0,05	1136,20	0,0185
3. Bölge	0,06	1191,28	0,0237
4. Bölge	0,06	1231,76	0,0229
	DN 32		
1. Bölge	0,06	1351,21	0,0229
2. Bölge	0,06	1442,79	0,0214
3. Bölge	0,06	1512,90	0,0204
4. Bölge	0,06	1564,14	0,0197
	DN 40		
1. Bölge	0,06	1546,45	0,0211
2. Bölge	0,06	1651,07	0,0198
3. Bölge	0,06	1731,18	0,0189
4. Bölge	0,06	1789,73	0,0183
	DN 50		
1. Bölge	0,06	1943,71	0,0187
2. Bölge	0,06	2074,90	0,0175
3. Bölge	0,06	2175,34	0,0167
4. Bölge	0,06	2248,75	0,0161
	DN 65		
1. Bölge	0,06	2362,62	0,0170
2. Bölge	0,06	2521,82	0,0159
3. Bölge	0,07	2643,85	0,0190
4. Bölge	0,07	2733,28	0,0184
	DN 80		
1. Bölge	0,07	2888,98	0,0194
2. Bölge	0,07	3084,09	0,0181
3. Bölge	0,07	3233,49	0,0173
4. Bölge	0,07	3342,67	0,0167
	DN 100		
1. Bölge	0,07	3731,22	0,0174
2. Bölge	0,07	3982,73	0,0163
3. Bölge	0,07	4175,30	0,0155
4. Bölge	0,07	4316,05	0,0150
	DN 125		
1. Bölge	0,07	4616,10	0,0161
2. Bölge	0,07	4926,86	0,0151
3. Bölge	0,07	5164,80	0,0144
4. Bölge	0,08	5339,00	0,0166
	DN 150		
1. Bölge	0,07	5520,77	0,0152
2. Bölge	0,08	5892,40	0,0169
3. Bölge	0,08	6177,50	0,0162
4. Bölge	0,08	6385,86	0,0156
	DN 200		
1. Bölge	0,08	7203,57	0,0167
2. Bölge	0,08	7688,82	0,0156
3. Bölge	0,08	8060,36	0,0149
4. Bölge	0,08	8331,90	0,0144

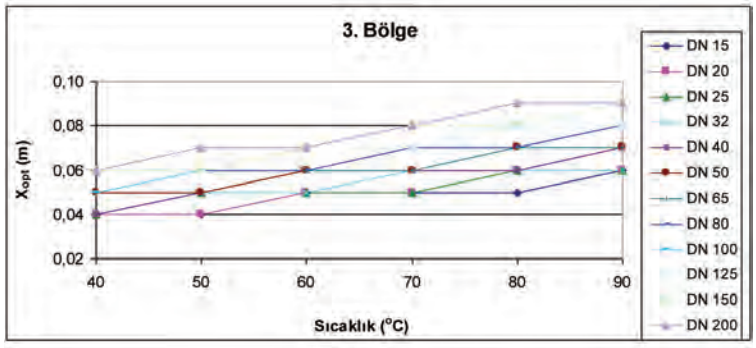
90 °C			
Bölge	DN 15		
	x_{opt} (m)	$A_{yıl}$ (TL/m.yıl)	pp (yıl)
1. Bölge	0,05	764,98	0,0234
2. Bölge	0,05	809,68	0,0221
3. Bölge	0,05	843,90	0,0212
4. Bölge	0,05	868,91	0,0206
	DN 20		
1. Bölge	0,05	979,00	0,0197
2. Bölge	0,05	1035,99	0,0187
3. Bölge	0,06	1079,66	0,0243
4. Bölge	0,06	1111,75	0,0236
	DN 25		
1. Bölge	0,06	1239,17	0,0228
2. Bölge	0,06	1311,52	0,0215
3. Bölge	0,06	1366,92	0,0207
4. Bölge	0,06	1407,41	0,0201
	DN 32		
1. Bölge	0,06	1573,52	0,0196
2. Bölge	0,06	1665,11	0,0185
3. Bölge	0,06	1735,24	0,0178
4. Bölge	0,06	1786,49	0,0173
	DN 40		
1. Bölge	0,06	1800,45	0,0181
2. Bölge	0,06	1905,09	0,0171
3. Bölge	0,06	1985,22	0,0165
4. Bölge	0,06	2043,78	0,0160
	DN 50		
1. Bölge	0,06	2262,20	0,0160
2. Bölge	0,07	2393,46	0,0192
3. Bölge	0,07	2494,32	0,0184
4. Bölge	0,07	2568,04	0,0179
	DN 65		
1. Bölge	0,07	2749,69	0,0183
2. Bölge	0,07	2909,53	0,0173
3. Bölge	0,07	3031,92	0,0166
4. Bölge	0,07	3121,37	0,0161
	DN 80		
1. Bölge	0,07	3362,72	0,0166
2. Bölge	0,07	3557,88	0,0157
3. Bölge	0,07	3707,30	0,0151
4. Bölge	0,07	3816,51	0,0146
	DN 100		
1. Bölge	0,07	4341,92	0,0149
2. Bölge	0,07	4593,49	0,0141
3. Bölge	0,08	4786,41	0,0163
4. Bölge	0,08	4927,58	0,0159
	DN 125		
1. Bölge	0,08	5371,09	0,0165
2. Bölge	0,08	5682,78	0,0156
3. Bölge	0,08	5921,43	0,0150
4. Bölge	0,08	6095,85	0,0146
	DN 150		
1. Bölge	0,08	6424,24	0,0155
2. Bölge	0,08	6796,68	0,0147
3. Bölge	0,08	7081,84	0,0141
4. Bölge	0,08	7290,26	0,0137
	DN 200		
1. Bölge	0,08	8382,00	0,0143
2. Bölge	0,08	8867,37	0,0136
3. Bölge	0,09	9239,17	0,0151
4. Bölge	0,09	9511,35	0,0147



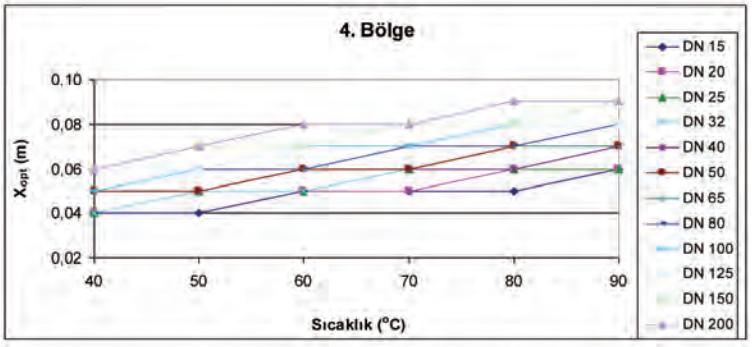
(a)



(b)



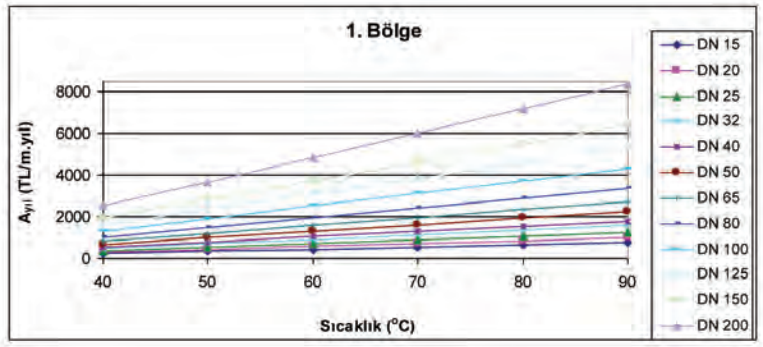
(c)



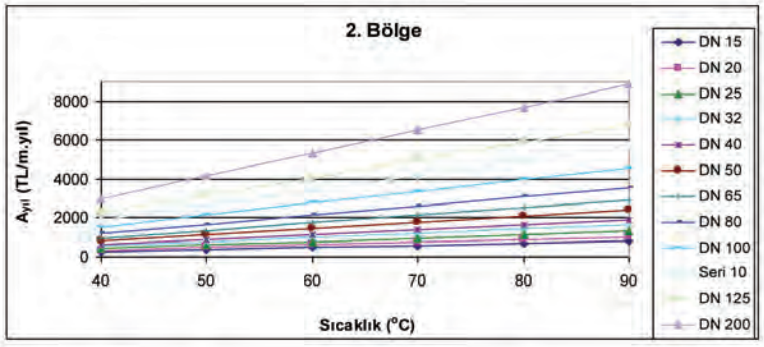
(d)

Şekil 5. Cam Yünü ile Yalıtılmış Borular İçin, Farklı Akışkan Sıcaklıklarında Optimum Yalıtım Kalınlığı a) 1. Bölge, b) 2. Bölge, c) 3. Bölge, d) 4. Bölge

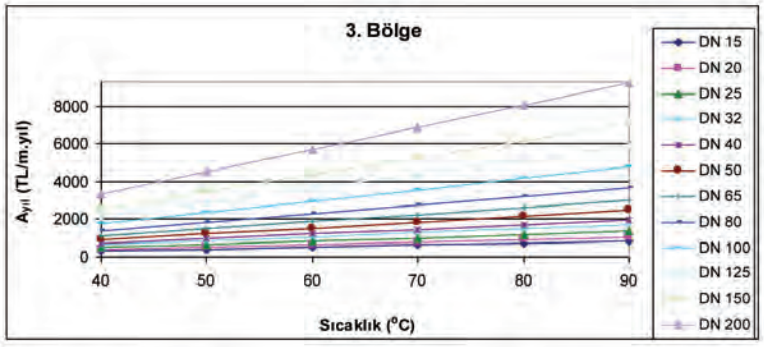
25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:27 Page 37



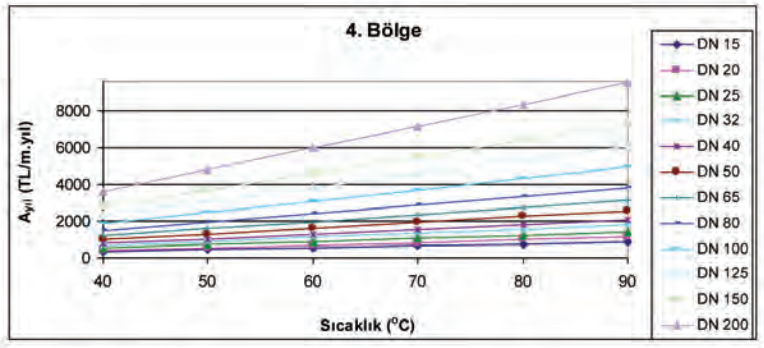
(a)



(b)



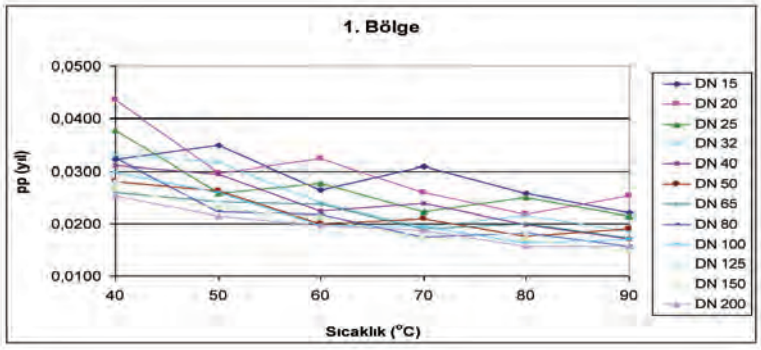
(c)



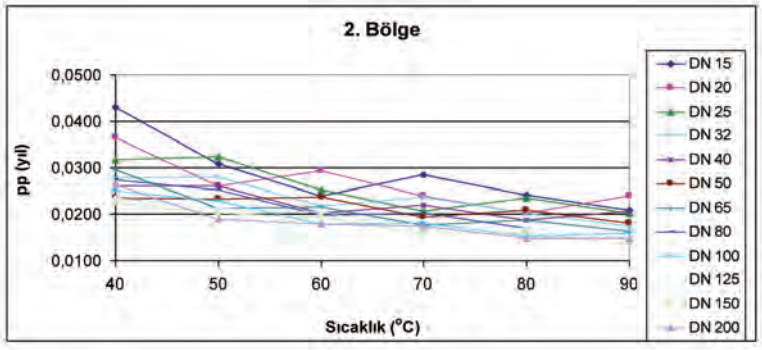
(d)

Şekil 6. Cam Yünü ile Yalıtılmış Borular İçin, Farklı Akışkan Sıcaklıklarında Net Tasarruf Miktarı
a) 1. Bölge, b) 2. Bölge, c) 3. Bölge, d) 4. Bölge

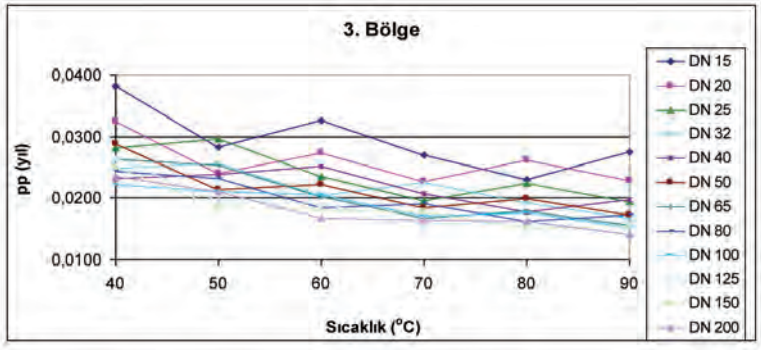
25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:27 Page 38



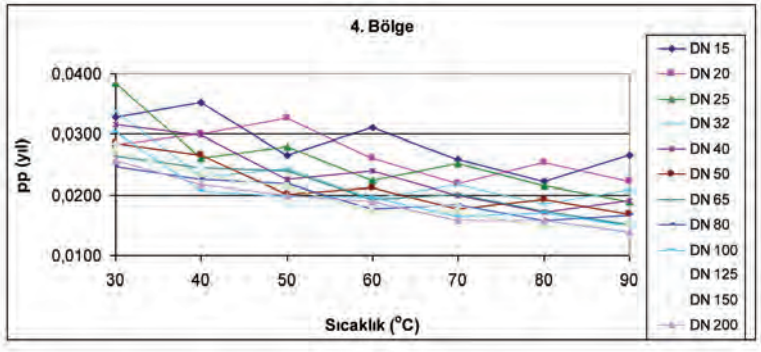
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Cam Yünü ile Yalıtılmış Borular İçin, Farklı Akışkan Sıcaklıklarında Geri Ödeme Süresi
a) 1. Bölge, b) 2. Bölge, c) 3. Bölge, d) 4. Bölge

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:27 Page 39

Tablo 7 yardımıyla cam yünü için yapılan çalışmalar kauçuk yalıtım malzemesi için de yapılabilir. Örnek olarak boru içinden 90 ˚C sıcaklıkta su geçtiği kabul edilirse, 1. derece gün bölgesinde bulunan İzmir ili için: DN 15-20 arası borular için 5 cm, DN 25–50 arası borular için 6 cm, DN 65–100 arası borular için 7 cm, DN 125–200 arası borular için 8 cm kauçuk kullanılmalıdır. 2. derece gün bölgesinde bulunan İstanbul ili için: DN 15-20 arası borular için 5 cm, DN 25–40 arası borular için 6 cm, DN 50–100 arası borular için 7 cm, DN 125–200 arası borular için 8 cm kauçuk kullanılmalıdır. 3. derce gün bölgesinde bulunan Ankara ili için: DN 15 boru için 5 cm, DN 20–40 arası borular için 6 cm, DN 50–80 arası borular için 7 cm, DN 100–150 arası borular için 8 cm ve DN 200 boru için 9 cm kauçuk kullanılmalıdır. 4. derce gün bölgesinde bulunan Erzurum ili için: DN 15 boru için 5 cm, DN 25–40 arası borular için 6 cm, DN 50–80 arası borular için 7 cm, DN 100–150 arası borular için 8 cm, DN 200 boru için 9 cm kauçuk yalıtım kullanılmalıdır. Yine benzer çalışmalar boru içinden 40-90 ˚C arası sıcaklıklarda su geçmesi için tekrarlanabilir.

Bu durum içinden geçen akışkanın sıcaklığının ve farklı derece gün değerlerinin optimum yalıtım kalınlığı üzerine ne kadar etkili olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Isıtma tesisatlarında ısıtma boru hatlarının termal performansını modelleme; boru sisteminin enerji tasarrufu, enerji talepleri, çevre konforu ve kontrolü gibi sorunları tasarlama ve analiz etmedeki teknikleri bulmak için çok önemlidir. Sıcak su dağıtım hatlarındaki yalıtım, boru ve tabakaları gibi yapı elemanlarından ısı kayıplarını en aza indirmek amacıyla yapılır. Bu çalışmada, Türkiye'nin dört derece gün bölgesinde cam yünü ve kauçuk yalıtım malzemelerinin DN15–200 arası borularda uygulanması durumunda, borunun içinden 40–90 ˚C arası sıcak su geçtiği kabulü ile uygulanması gereken optimum yalıtım kalınlıkları, net tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Borulardan çevreye olan ısı kayıplarının doğal gaz yakıtı yakılarak karşılandığı kabul edilmiştir. Doğal gaza göre daha pahalı yakıt seçilmesi durumunda optimum kalınlıklar, net tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri değişecektir.

Çalışmada Türkiye'nin dört derece gün bölgesi için optimum yalıtım kalınlıkların bölgeye, iç akışkan sıcaklığına ve boru çapına göre değiştiği, cam yünü ve kauçuk için 3 cm ile 9 cm arasında değiştiği, net tasarruf miktarı cam yünü için 225-9502 TL/m.yıl arasında, kauçuk için 227-9511 TL/m.yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Büyük çaplı boruların ısı transfer yüzey alanı fazla olduğu için küçük çaplı borulara göre yapılan yalıtım ile daha çok enerji tasarrufu yapılabilmektedir.

Birinci derece gün bölgesinden dördüncü derece gün bölgesine doğru, optimum yalıtım kalınlığı ve net tasarruf miktarlarında artış olurken, geri ödeme sürelerinde ise azalma olmuştur.

Çalışmada kullanıcılar için kısa zamanda boru çaplarına uygun optimum yalıtım kalınlığını belirleyebilecek tablolar hazırlanmıştır. Bu sayede ekonomi ve zamandan da kazanç sağlanabilir. Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'de boru yalıtımı konusunda çalışan insanlar için bölgesel boru hatlarında yalıtım malzemelerinin daha iyi tasarım, analiz ve seçim için etkili bir rehber olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Keçebaş A., "Bölgesel Isıtma Sistemlerinde Boru Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2012, 9, 1-14.

[2] Kürekci N.A., Bardakçı A.T., Çubuk H., Emanet Ö., "Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı", TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2012, 131, 5-21.

[3] Oğulata, R.G., "Sectoral Energy Consumption in Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2002, 6, 471-480.

[4] Kaygusuz, K., Kaygusuz, A., "Energy and Sustainable Development Part II: Enviromental

25-Alpay Kurekci:Sablon 29.08.2013 14:27 Page 40

İmpacts of Energy Use", Energy Sources, 2004, 26, 1071-1082.

[5] Özdemir M., Parmaksızoğlu İ.C., "Mekanik Tesisatta Ekonomik Yalıtım Kalınlığı", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2006, 91, 39-45.

[6] Yavuz C., Atik K., "Sıcak Sulu Isıtma Sistemlerinde Boru Çaplarının Termoekonomik Optimizasyonu" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2011, 8(4), 53-64,

[7] Başoğlu Y., Keçebaş A., "Economic and Environmental Impacts of Insulation in District Heating Pipelines", Energy, 2011, 36, 6156-6164.

[8] Li Y.F., Chow W.K., "Optimum Insulation Thickness for Thermal and Freezing Protection", Applied Energy, 2005, 80, 23-33.

[9] Öztürk İ.T., Karabay H. Bilgen E., "Thermo-economic Optimization of Hot Water Piping Systems: a Comparison Study", Energy, 2006, 31, 2094-2107.

[10] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, 1998.

[11] Yakıtların Fiyat Kıyas Listesi, Ocak 2013, www.igdas.com.tr.

[12] Hasan, A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost", Applied Energy, 1999, 63, 115-124.

[13] Faiz ve Enflasyon Oranları, www.tuik.gov.tr