

KALORİFER TESİSATINDA HİDROLİK DENGESİZLİĞİN RADYATÖR DEBİLERİ VE ISI AKTARIMLARINA ETKİSİ

Serhan KÜÇÜKA
Erdem MUSAOĞLU

ÖZET

Sıcaksulu ısıtma sistemlerinde ısıtıcılardan istenilen su debisinin geçmesi için dağıtım hattı üzerindeki radyatörlerin gidiş-dönüş basınç farklarının radyatör vanalarının ön ayarları yapılarak dengelenmesi öngörülmüştür. Ancak, pek çok uygulamada dolaşım pompası hesaplanandan yüksek debide seçilmekte ve sistemde basınç dengelenmesi yapılmamış bile olsa, uzak noktada kalan ısıtıcılardan geçen debinin hesap değerlerine yaklaşması sağlanmaktadır. Buna karşılık, pompaya yakın ısıtıcılardan yüksek debi geçmekte ve bu ısıtıcılarda öngörülenden fazla ısı çekilmektedir. Sonuç olarak, dengeleme yapılmaması ile, binanın ısı tüketimi ve dolaşım pompasının enerji tüketimi artmakta ve mekanlarda öngörülen konfor şartları sağlanamamaktadır. Tipik bir kolon hattında, ön dengeleme yapılmaması durumunda su dolaşımının standart duruma göre değişimi ve bu durumun ısıtma kapasitesine etkisi incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Sıcak sulu bir ısıtma sisteminin projelendirilmesinde geleneksel olarak önce ısıtılacak mahallerin ayrı ayrı ısı kaybı hesabı yapılarak bir zam katsayısı ile çarpılır. Bilahare, hesaplanan ısı yüklerine bağlı olarak ve geçerli kabul edilen hız limitleri içinde kalacak şekilde dağıtım ve toplama kolonları çapları boyutlandırılır ve kritik devre basınç düşümü hesaplanır. Son olarak ta, basınç düşümü ve debiyeye uygun olarak dolaşım pompası seçilir. Farklı mahallerdeki radyatörler üzerinden olan su dolaşımının projesine uygun olarak gerçekleştirilebilmesi için, sıcak su dağıtım ve toplama hatlarının hidrolik olarak dengelenmesi gerekir. Bu amaçla, farklı kolonların kolon dengeleme vanaları ile dengelenmesinin yanı sıra, her kolon üzerindeki radyatör vanalarının veya basınç bileziklerinin ön ayarının yapılması gerekmektedir. Basınç dengelemesi yapılmamış olan merkezi bir sıcak sulu ısıtma sisteminde, dağıtım merkezine yakın olan radyatörlerden olan dolaşım miktarı artarken, uzak radyatörlerden geçen su miktarı hesaplanan değerlerin altına düşmektedir. Buna karşın özellikle yüksek bina sınıfına girmeyen orta yükseklikli 5-6 katlı binalardaki konut ısıtma uygulamalarında hidrolik dengelemeye gereken önem verilmemekte, bu durum dairelerin dengesiz olarak ısınmasına neden olmaktadır. Bazı uygulamalarda, sistemde kullanılan termostatik radyatör vanalarının gerekli dengelemeyi kendiliğinden yapacağı varsayılır. Oysa radyatörlerdeki yüksek basınç farklarının dengelenmesinin sadece termostatik vanalara bırakılması hidrolik dengelemenin gerçekleşmesi için kendi başına yeterli değildir. Radyatör kapasitesine bağlı olarak gerekli ön ayarlama işleminin yapılmaması halinde, tüm termostatik vanalar en açık duruma yakın durumda çalışacak ve kolon giriş hattına uzakta kalan kullanıcılar yeterli debiyi temin edemeyeceklerdir.

Önceki yıllarda sunulan farklı bildirilerde, kaloriferli ısıtma sistemlerinde kontrol vanasının otoritesinin nasıl seçileceği ve balanslama için kullanılması gereken usuller gösterilmiş ve kolon denge vanaları, debi kontrol vanaları ve basınç kontrol vanalarının kullanım esaslarından bahsedilmiştir[1, 2, 3]. Petitjean[1] radyatörlerdeki fark basıncının stabilizasyonu için alınması gereken önlemlere değinmiş ve hidronik dengelemenin, gerek mevcut, gerekse yeni tesis edilecek sistemlerde uygulanması gerektiğini vurgulamıştır.

Akyurt [2] kolon üzerindeki basınç ve debi kontrol vanalarının ön ayar değerinin hesaplanmasını ve bu vanaların farklı uygulama şekillerinin sistemin davranışına etkisini göstermiştir. Gürel tarafından sunulan bildiride [3], kontrol vanası otoritesinin hesaplanması üzerinde durulmuş, ayrıca dengeleme yapılmaması durumunda kolon üzerindeki radyatörlerde debi ve ısı yük dağılımında olabilecek sapmalar merteye olarak ifade edilmiş, ancak hesap detayı verilmemiştir. Her üç bildiride de kontrol vanalarının uygulanma şekilleri hakkında öneriler sunulmuş ve termostatik kontrol vanalarının sistemin dengelenmesi için kendi başına yeterli olmayacağı ve/veya ön ayarları yapılarak kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada ise, örnek olarak incelenen bir kolon hattı üzerinde basınç dengelemesi yapılmaması durumunda dağıtım debisinde oluşan farklılıklar ayrıntılı şekilde hesaplanmıştır. Debinin dengesiz dağılımının ısı yüküne etkisi ayrıca gösterilmiştir.

2. STANDART DURUM ISI YÜKÜ VE DEBİLERİ

Çalışmada göz önüne alınan yapı konut amaçlı kullanılan 7 katlı bir binadır. Seçilen kritik devre kolonunun standart tasarım ısı yükleri ve radyatörlerden geçmesi beklenen akışkan debileri Tablo-1 de verilmiştir. Debi değeri, sıcak sulu dağıtım kolonunda her radyatörde 20°C sıcaklık düşümü olduğu varsayılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho \times C \times \Delta T} \quad (1)$$

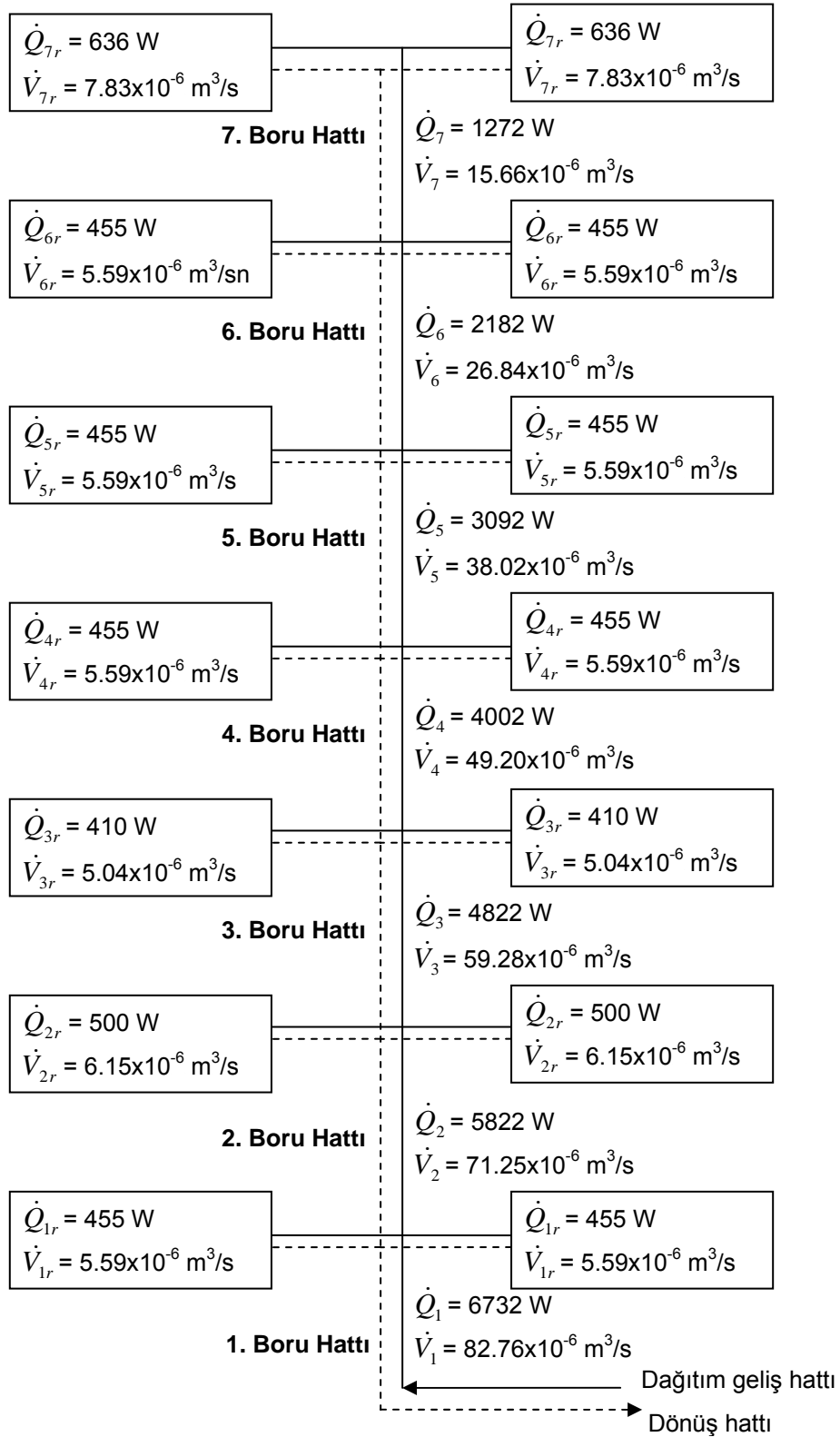
Burada \dot{Q} ısı yükü (W), ρ ısıtıcı akışkanın (su) yoğunluğu, C özgül ısı (kJ/kg-K), ΔT radyatöre gidiş dönüş sıcaklık farkı (K veya °C) ve \dot{V} akışkanın hacimsel debisi (m³/s) dir.

Tablo 1. Kritik devre kolonu radyatörleri standart durum ısı yükü ve debileri

Radyatör	Isı İhtiyacı (W)	Debi (m ³ /s)
1. Radyatör	455	5.59 x 10 ⁻⁶
2. Radyatör	500	6.15 x 10 ⁻⁶
3. Radyatör	410	5.04 x 10 ⁻⁶
4. Radyatör	455	5.59 x 10 ⁻⁶
5. Radyatör	455	5.59 x 10 ⁻⁶
6. Radyatör	455	5.59 x 10 ⁻⁶
7. Radyatör	636	7.83 x 10 ⁻⁶

Not: Tablonun oluşturulmasında ısıtma akışkanı suyun gidiş dönüş sıcaklık farkı 20°C, 80°C (90°C/70°C) sıcaklık için ortalama yoğunluğu 972 kg/m³ ve özgül ısı 4.18 kJ/kg-K alınmıştır.

Seçilen kritik devre kolonu üzerinde beklenen ısı yükü ve debi dağılımı ayrıca Şekil 1 de gösterilmiştir. Kolon üzerinde her bağlantı noktasında birbirine eş iki radyatör bulunmaktadır.



Şekil 1. Kritik devre kolonu standart durumdaki debi ve ısı yükü dağılımı

2.1. Basınç dağılımının hesaplanması

Bir boru hattı üzerindeki basınç kaybı düz boru basınç kaybı ile dirsek, vana ayrılma noktası, radyatör geçişi gibi yerel kayıplardan ileri gelen basınç kayıplarının toplamına eşittir:

$$\Delta P = \frac{\Delta P}{L} \times L + \rho \cdot \frac{V^2}{2} \times \sum K \quad (2)$$

Kalorifer tesisatları için düz borudaki birim boy basınç kaybı ($\Delta P/L$) ve yersel kayıp katsayıları ısı yüküne ve kolon çapına bağlı olarak muhtelif standartlarda verilmektedir. Yapılan hesaplamada, ilk dağıtım noktasına gelmeden önceki kolon uzunluğu 2.66 m, katlar arası kolon uzunluğu 2.66 m, radyatör bağlantı hattının uzunluğu kolondan ayrılma noktasından itibaren gidiş ve dönüş olmak üzere 3 m olarak verilmiştir. Her dağıtım noktasından sonra kolonun ısı yükü yükü ve buna bağlı olarak akışkan debisi değişmektedir. Kolon parçalarının çapları her noktadaki akış hızı 0.3 m/s den küçük olacak şekilde seçilmiştir. Göz önüne alınan binada, iki kat arasındaki her bir kolon parçasının yersel kayıp katsayısı 1.5 (1 adet ayrılma) ve kolondan ayrılan radyatör hattı üzerindeki vana, dirsek ve radyatörden ileri gelen toplam yersel kayıp katsayısı ise 14.5 kabul edilmiştir. Toplam basınç düşümünü hesaplamak için kolon üzerinde hesaplanan basınç kaybının dağıtım ve dönüş kolonu olmak üzere iki katı alınmalı ve son radyatöre giden bağlantı hattı üzerindeki basınç kaybı bu değere eklenmelidir. Isı yüküne bağlı olarak standart durum için hesaplanan kolon ısı yükleri ve basınç düşümleri Tablo-2 de verilmiştir.

Tablo 2. Kritik devre kolonu standart durum basınç düşümleri

	Isı yükü, \dot{Q} (W)	Hat uzunluğu, L (m)	İç çap, $D_{iç}$ mm (inç)	Birim boy basınç kaybı, $\Delta P/L$ (Pa/m)	Standart akış hızı, V (m/s)	Yersel kayıp kats., $\sum K$	Kolon basınç kaybı, ΔP (Pa)
1. Boru Hattı	6732	2.66	21.25 (3/4")	39	0.24	1.5	146
2. Boru Hattı	5822	2.66	21.25 (3/4")	32	0.22	1.5	120
3. Boru Hattı	4822	2.66	21.25 (3/4")	23	0.17	1.5	82
4. Boru Hattı	4002	2.66	15.75 (1/2")	69	0.26	1.5	233
5. Boru Hattı	3092	2.66	15.75 (1/2")	44	0.20	1.5	146
6. Boru Hattı	2182	2.66	12.25 (3/8")	78	0.24	1.5	249
7. Boru Hattı	1272	2.66	12.25 (3/8")	29	0.13	1.5	89
7. Radyatör ve bağlantı hattı	636	3	12.25 (3/8")	7	0.065	14.5	51

Tablo-2 de verilen kolon hattı basınç düşümleri ve 7. radyatör basınç düşümü değerleri kullanılarak, kritik devrenin basınç düşümünün

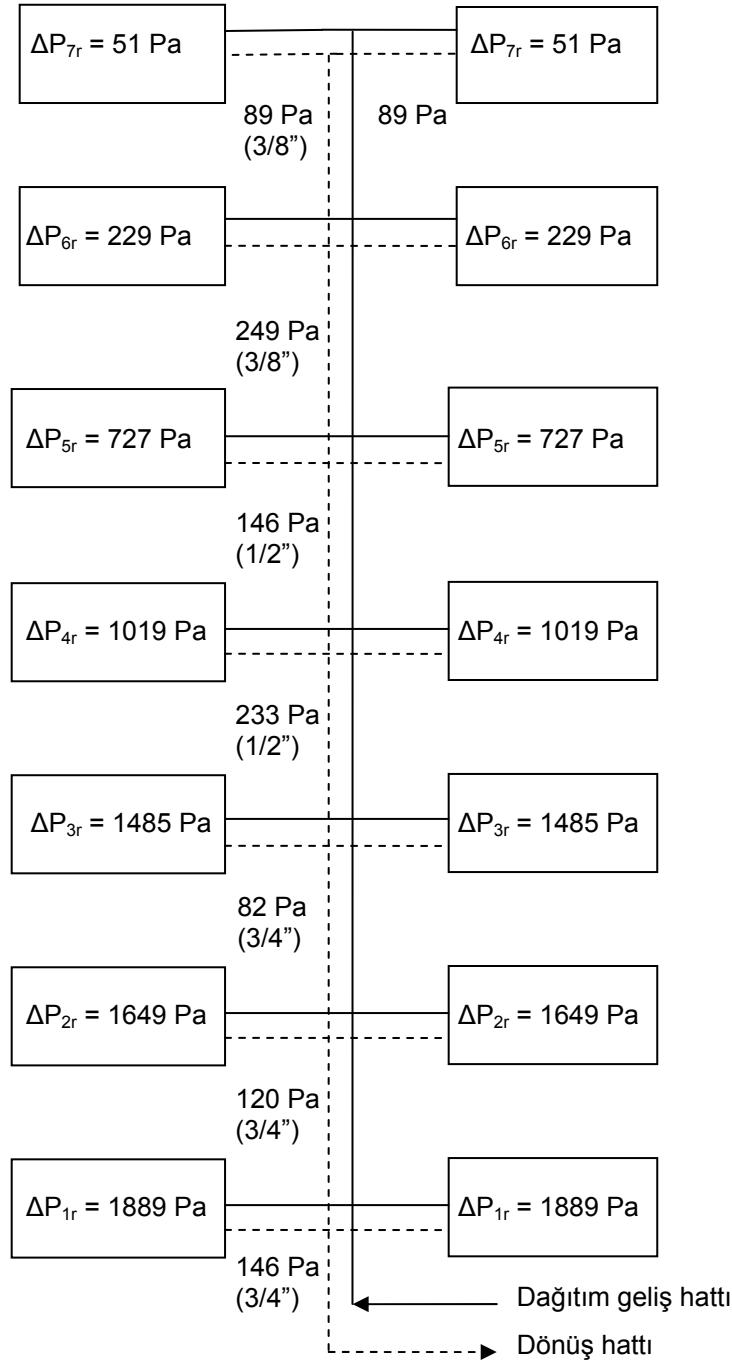
$$\Delta P_{kolon} = 2(146 + 120 + 82 + 233 + 146 + 249 + 89) + 51 = 2181 \text{ Pa}$$

olduğu hesaplanır.

Her bir radyatör hattının gidiş ve dönüş kolonlarına bağlandığı noktalar arasındaki basınç farkı, bağlantı noktalarının üzerinde kalan kolon hatları ile devreyi tamamlayan en üst radyatör hattının basınç düşümlerinin toplamına eşittir. Yani üstten ikinci radyatör hattı (6. nolu radyatör hattı) üzerindeki basınç düşümü, bu radyatör hattını yukarıdan tamamlayan 7. kolon parçası gidiş ve dönüş hattı ile 7. radyatör hattı basınçlarının toplamına eşit olmak durumundadır:

$$\Delta P_{6r} = 2 \times 89 + 51 = 229 \text{ Pa}$$

En alt (1 numaralı) radyatör hattına kadar tüm kolon hatlarındaki basınç düşümü ve gidiş ve dönüş kolonları bağlantı noktaları arasındaki basınç farkları yukarıda gösterildiği şekilde hesaplanmış ve dağıtım şeması üzerinde gösterilmiştir (Şekil-2). Bağlantı noktaları arasındaki basınç farkı kolon giriş noktasına yaklaştıkça artmaktadır. Standart debi dağılımının elde edilebilmesi için, bu basınç artışı basınç ayar vanaları üzerinde yapılacak kısma ile dengelenmelidir.



Şekil 2. Kolon ve radyatör hatları standart durum basınç düşümleri

3. HİDROLİK Dengeleme Yapılmadığı Durumun Debi Etkisi Yönünden İncelenmesi

Radyatör hatlarında dengeleme yapılmaması, kazan dairesine yakın olan radyatörlerde debi artımına, uzak olan radyatörlerde ise debi düşümüne yol açmaktadır. Bu durum istenilen konfor sıcaklığının elde edilmesini engellediği gibi, borularda akan akışkanın fazla hızlı akması nedeniyle gürültüye de yol açabilir. Isı yükü hesaplamalarından bulunan debi ve basınç kaybı standart değerler olarak kabul edilerek, **pompanın sağladığı basıncın hesaplamalardaki kritik devre basınç kaybına eşit olduğu, ancak dengeleme yapılmaması nedeni ile debilerin hesap değerlerinden farklı olduğu olduğu durumdaki** debi ve ısı yükü dağılımı araştırılmıştır.

Kolonun toplam basınç düşümü standart değerlerden hareketle yukarıda hesaplanmıştı. Gerçek durum debi dağılımlarını incelemek için, tablolardan ısı yüküne bağlı olarak okunan hız ve basınç dağılımlarını kullanmak yetersiz kalacaktır. Bunun yerine boru hattındaki akışkanın gerçek akış hızları ve basınç düşümleri hesaplanmalıdır.

Her radyatörde 20 °C sıcaklık olduğu göz önüne alınarak, radyatörlerden geçirilmesi gereken su debisi hesaplanabilir:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho C (T_s - T_r)} = \frac{\dot{Q}}{20 \times \rho C} \quad (3)$$

Bu ifadeye, T_s radyatöre gelen su sıcaklığı ve T_r ise dönüş sıcaklığı olup, standart sistem için sırası ile 90°C ve 70 °C olmaktadır. Kolon hattı üzerindeki akış hızı hacimsel debiye bağlı olarak

$$V = \dot{V} / A = 4 \times \dot{V} / \pi \times D_{iç}^2 \quad (4)$$

ifadesi ile hesaplanır. Boru hattı ve radyatörler üzerindeki basınç düşümü ise akış hızına ve borunun özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile gösterilmektedir:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \times \rho \frac{V^2}{2} + K \times \rho \frac{V^2}{2} \quad (5)$$

Burada f sürtünme katsayısı, K ise yersel kayıp katsayısıdır. Sürtünme katsayısı ise borunun iç yüzeyi pürüzlülüğüne (e) ve Reynolds sayısına bağlı olarak

$$f = 0.25 \left[0.43 \ln \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (6)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.

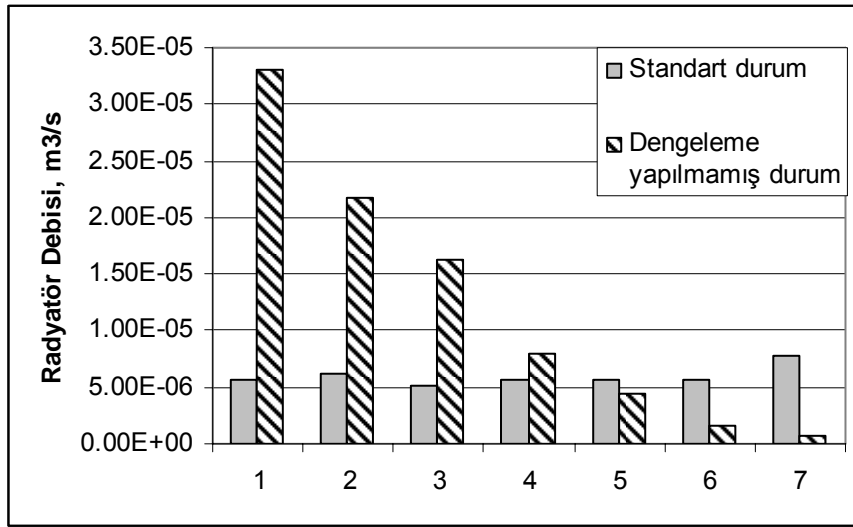
Ortalama bir değer olarak, 0.01575 mm iç çapında bir boruda (1/2"), 0.3 m/s hız ve 80°C sıcaklıkta su akışı için Reynolds sayısı 13804 ve f sürtünme katsayısı 0.034 olarak hesaplanmıştır.

Radyatör hattının geliş ve dönüş kolon hatlarına bağlandığı noktalar arasındaki basınç farkı, herhangi bir basınç dengeleyici kullanılmaması durumunda radyatör üzerinden geçen debiyi doğrudan belirler. Toplam basınç kaybının bilindiği durumda, kolon ve radyatör debilerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki işlem sırası izlenmiştir:

- En üst (7) numaralı radyatörden geçen debi için bir kabul yapılır. Debi ve hız kullanılarak radyatör hattının basınç düşümü hesaplanır.
- Her noktaya iki radyatör bağlı olduğuna göre, 7 numaralı geliş ve dönüş kolon parçalarından geçen debi 7 numaralı radyatörden geçen debinin iki katıdır. Kolon debisi ve akış hızı kullanılarak, kolon hattının basınç düşümü hesaplanır.

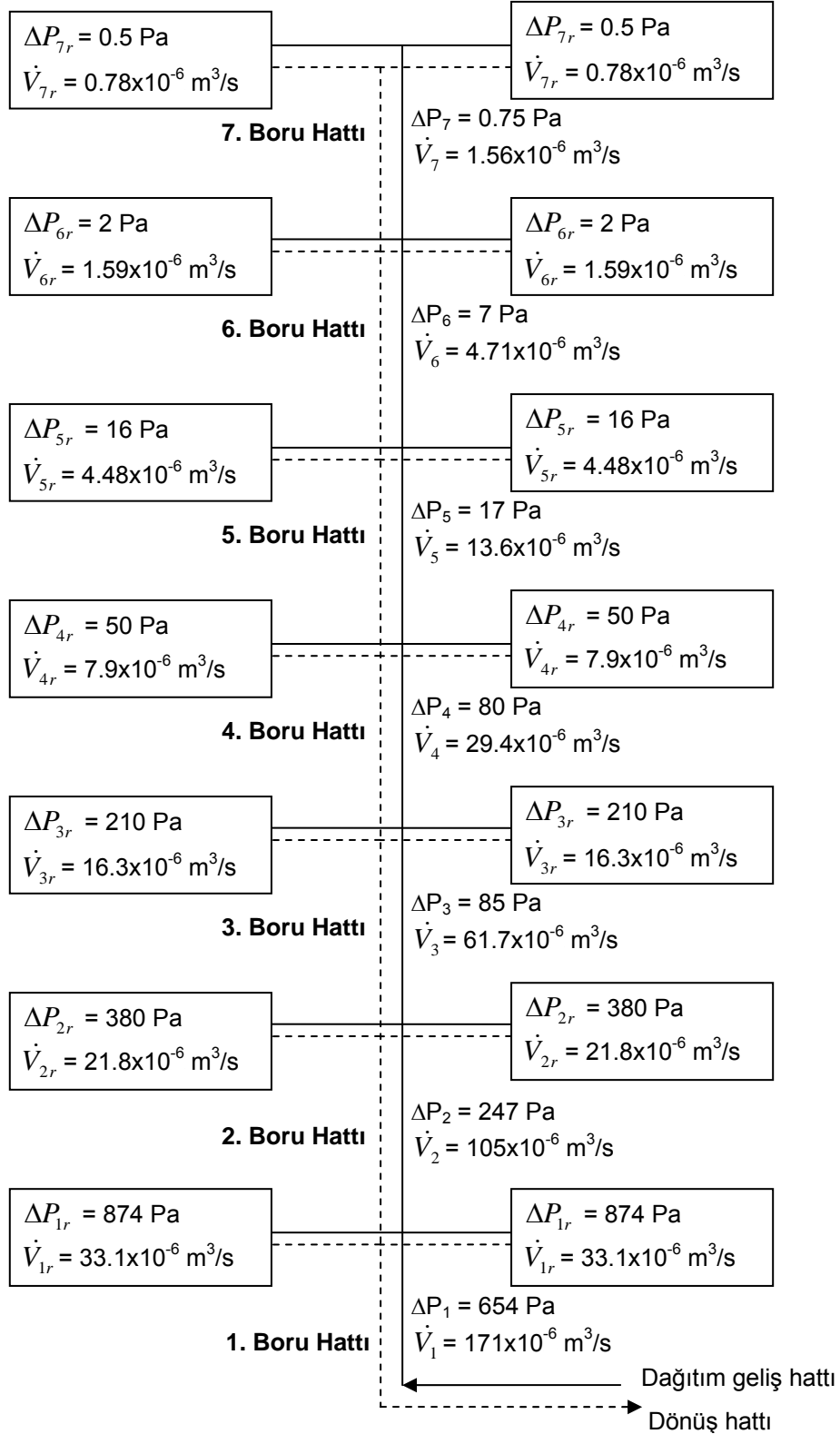
- Bir alt (6 nolu) radyatör hattı basınç düşümü, 7 numaralı radyatör hattı basınç düşümü ile geliş ve dönüş kolonları basınç düşümünün toplamıdır. Radyatör hattının direnç katsayısı bilindiğine göre, basınç düşümünü verecek akış hızı ve debisi hesaplanabilir.
- 6 numaralı kolon parçasından geçecek olan debi, 7 ve 6 numaralı radyatörlerden geçen debinin toplamına eşittir. Bu debi kullanılarak hattın basınç düşümü hesaplanır.
- Hesaplamalar bu şekilde kolon gidiş ve dönüş hatlarının başladığı noktaya kadar devam ettirilir ve kolon hattı toplam basınç düşümü ve debisi hesaplanmış olur.
- Kolon toplam basınç düşümünün standart durum için öngörülen değere eşit olduğu kabul edilerek, en üst radyatörden geçen debi değeri (başlangıçta kabul edilen değer) için yeni bir kabul yapılır ve hesaplar istenilen basınç düşümü elde edilene kadar tekrarlanır.

Yukarıdaki algoritma ve kabuller kullanılarak hesaplanan radyatör debilerinin standart durumla karşılaştırılmış hali Şekil 3 te grafik olarak gösterilmiştir. Tüm kolon hattı üzerindeki basınç düşümü ve debi dağılımının sayısal değerleri ise Şekil 4 üzerinde verilmiştir.



Şekil 3. Standart ve dengeleme yapılmamış durumlar için radyatör dolaşım debilerinin karşılaştırılması

Grafikten de görüldüğü gibi, hidrolik dengeleme yapılmaması durumunda radyatör debileri projesinde öngörülen debilerden yüksek oranlarda sapmaktadır. Çalışılan örnekte kazana yakın olan 1. radyatörde debi standart değerın yaklaşık 6 misline ulaşırken, kazana uzak olan 7. radyatörde ise öngörülen debinin %10 'u mertebesinde kalmıştır. Kolona gönderilen toplam debi ise, standart değerın yaklaşık iki katına (%206) ulaşmıştır.



Şekil 4. Basınç dengelemesinin yapılmadığı durumda kolon hattı ve radyatörlerin basınç ve debileri

4. HİDROLİK Dengeleme Yapılmadığı Durumun Isıl Dağılım Yönünden İncelenmesi

Bir sıcak sulu ısıtma sisteminde dolaşım suyunun ısınıp ortama aktaran ısıtıcı eleman radyatörlerdir. Bir radyatörün ortama aktardığı ısı miktarı, dolaşım suyu ile ortam arasındaki logaritmik sıcaklık farkının üstel bir fonksiyonudur:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \times \left(\Delta T_{lm} / \Delta T_{lm,0} \right)^n \quad (7)$$

Yapılan sayısal bir çalışmada, radyatörden geçen su debisinin nominal debinin %5 ile %200 ü arasında değiştiği durum için yukarıdaki ifadenin geçerliliğini koruduğu gösterilmiştir [4]. Bu ifadede n kuvveti, radyatörün tipine bağlıdır. Ancak DIN 4703 standartında, n kuvvetinin değeri 1.3 olarak verilmiş olup, genellikle uygulamada bu değer kullanılmaktadır:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \times \left(\Delta T_{lm} / \Delta T_{lm,0} \right)^{1.3} \quad (8)$$

Dolaşım suyu ve ortam arasındaki logaritmik sıcaklık farkı ise,

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_s - T_r}{\ln \left[\frac{T_s - T_{in}}{T_r - T_{in}} \right]} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Yukarıdaki ifadelerde

- Q_0 : Radyatörün standart durum ısı kapasitesi (W),
- Q : Logaritmik sıcaklık farkının değişimi durumundaki radyatör kapasitesi (W),
- T_s : Sıcak akışkanın radyatöre geliş sıcaklığı (°C),
- T_r : Sıcak akışkanın radyatörden dönüş sıcaklığı (°C),
- T_{in} : Isıtılacak ortamın sıcaklığını (°C),

göstermektedir.

Diğer yandan, radyatörde dolaşan akışkanın bıraktığı ısı

$$\dot{Q} = \dot{V} \times \rho \times C \times (T_s - T_r) \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir.

Radyatörün standart durum ısı kapasitesi sıcak su geliş, dönüş ve iç ortam sıcaklıkları için sırası ile 90°C/70°C/20°C alınarak hesaplanır. Kolondaki debi dağılımının standart dağılımdan farklı olması durumunda, akışkanın geliş sıcaklığı (90°C) sabit kabul edilir. Radyatör ısı yükünün hesaplanmasında iç ortam sıcaklığındaki değişimin etkisi sınırlı olup o da sabit (20°C) kabul edilebilir. Akışkan debisinin değişiminden dolayı dönüş sıcaklığının ve ısı kapasitenin değişimi aşağıdaki gibi hesaplanır:

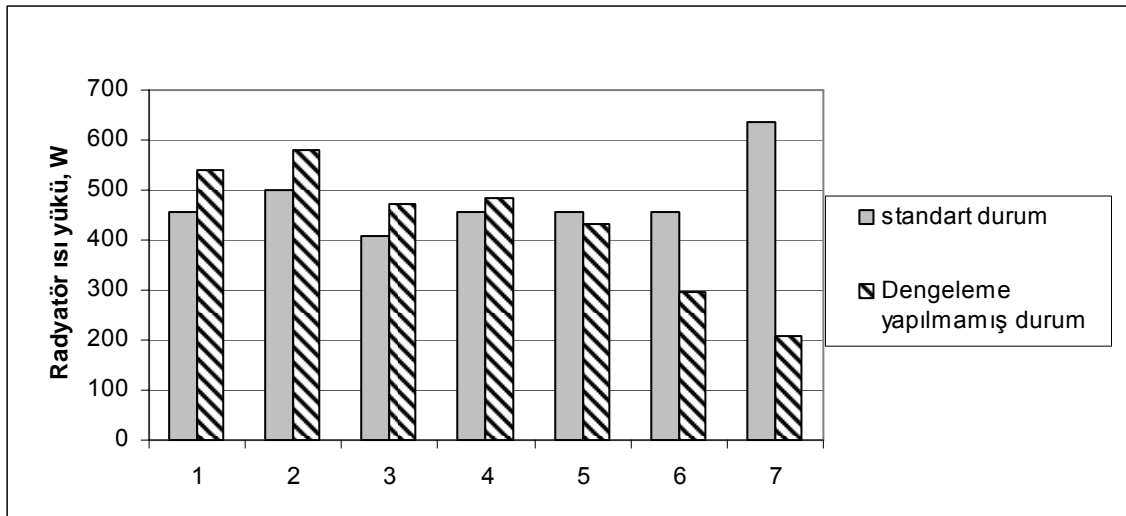
- $\Delta T_{lm,0}$ değeri bulunur (standart durum için 90°C/70°C/20°C kullanılır)
- (8) ve (10) denklemleri aynı Q değerini verdiği için birbirine eşitlenir.
- Radyatör debisinin ve diğer değişkenlerin bilindiği durumda, yukarıdaki eşitlikten deneme yanılma ile radyatör dönüş sıcaklığı (T_r) hesaplanır.
- (8) veya (10) numaralı denklemden yeni ısı yükü hesaplanır.

Radyatör debilerinin standart debilerden farklı olduğu durum için hesaplanan ısı yükleri Tablo-3 te verilmiştir.

Tablo 3. Hidrolik dengelemenin yapılmadığı durum için radyatör ısı yükleri

Radyatör	Akışkanın geri dönüş sıcaklığı (°C)	Logaritmik sıcaklık farkı (°C)	Radyatör ısı yükü (W)
1. Radyatör	86.0	68.0	542
2. Radyatör	83.45	66.7	580
3. Radyatör	82.9	66.4	473
4. Radyatör	75.0	62.2	483
5. Radyatör	66.2	57.3	434
6. Radyatör	43.8	42.8	297
7. Radyatör	25.3	25.1	207

Tablonun incelenmesi ile görüleceği gibi kazandan uzaklaştıkça radyatörlerden geri dönen akışkan sıcaklığı ve radyatör ile ortam arasındaki sıcaklık farkı azalmakta, bunun sonucu olarak ta da üst kattaki radyatörler istenilen ısıyı verememektedirler. Ancak ısı yükündeki sapmalar, debi dengesizliğe ile aynı oranda değildir. 7 numaralı radyatörde debinin yaklaşık %10'a düşmesi, ısı yükünün yaklaşık %33'e düşmesine ve 1 numaralı radyatörde, debinin standart değerinin %590'ına ulaşması, ısı yükünün yaklaşık %20 artmasına neden olmuştur. Radyatör ısı yüklerinin projesinde öngörülen yüklerle karşılaştırılmış hali Şeki -5 te ayrıca grafik olarak gösterilmiştir.



Şeki 5. Standart ve dengeleme yapılmamış durumlar için radyatör kapasitelerinin karşılaştırılması

SONUÇLAR

Sayısal sonuçların gösterdiği gibi, örnek olarak alınan kolon hattında radyatörlerin dengelenmesinin yapılmamış olması, sabit kolon giriş basıncı durumu için kolon debisinin iki mislinden fazla artmasına neden olmuştur. Bu artışla birlikte, kolon girişine yakın olan radyatörün ısı kapasitesi %20 artarken, uzak radyatördeki kapasite 1/3'üne düşmüş ve diğer yandan pompa gücü standart pompa gücünün iki katını aşmıştır. Diğer yandan, uzak radyatöre gerekli debinin sağlanabilmesi için pompa giriş basınç ve debisi daha da artırılmalıdır. Bazı uygulamalarda, pompa gücü standart değer 4 ila 10 misli olabilmektedir. Sonuç olarak, sıcaklığı ısıtma sistemlerinde ısı konforu sağlanması ve pompa gücünün en düşük değerde tutulması ancak yeterli hidrolik dengelemenin sağlanması durumunda mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] PETITJEAN R., Radyatör sistemlerinin hidronik dengelenmesi, III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar 5A, s.:97-105, 1998.
- [2] AKYURT F., Isıtma ve soğutma sistemlerinin hidronik dengelenmesi, TESKON VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, MMO yayını, s.:1-20, 2003.
- [3] GÜREL S., Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde balanslama (dengeleme) uygulamaları, TESKON IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, MMO yayını, s.:269-280, 1999.
- [4] GRETARSSON, S., VALDIMARSSON, P., JONSSON, V., Heat transfer modelling of a plate radiator for district heating applications, International Journal of Energy Research 15, 301–315, 1991.

ÖZGEÇMİŞLER

Serhan KÜÇÜKA

1960 yılı İzmir doğumludur. 1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı bölümden 1985 yılında Yüksek Lisans, 1993 yılında Doktora derecelerini aldı. 1990-1998 yılları arasında TÜPRAŞ İzmit ve İzmir rafinerilerinde borulama, depolama tanklarının imal ve yenilenmesi, pompa sistemleri, bina ısıtma sistemleri gibi muhtelif konularda proje mühendisi olarak çalıştı. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir. Çalışma konuları jeotermal ısıtma sistemleri, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri ve akış ve ısı transferi problemlerinin sayısal çözümleridir.

Erdem MUSAOĞLU

2007 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Halen bir otomotiv firmasında Makina Mühendisi olarak çalışmaktadır.