

Konvektör Kalınlık ve Yüksekliğinin Panel Radyatör Isıl Performansına Etkisinin
Nümerik ve Deneyisel Olarak Araştırılması

Umut Uçak

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2024

Numerical and Experimental Investigation of the Effect of Convectector Thickness and
Height on Panel Radiator Thermal Performance

Umut Uçak

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

Haziran 2024

Konvektör Kalınlık ve Yüksekliğinin Panel Radyatör Isıl Performansına Etkisinin Nümerik
ve Deneysel Olarak Araştırılması

Umut Uçak

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji-Termodinamik Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

Haziran 2024

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Umut Uçak'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Konvektör Kalınlık ve Yüksekliğinin Panel Radyatör Isıl Performansına Etkisinin Nümerik ve Deneysel Olarak Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

İkinci Danışman :-

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

Üye: Prof. Dr. Haydar ARAS

Üye : Prof. Dr. Hasan YAMIK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP danışmanlığında hazırlamış olduğum “Konvektör Kalınlık ve Yüksekliğinin Panel Radyatör Isıl Performansına Etkisinin Nümerik ve Deneysel Olarak Araştırılması” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 03/06/2024

Umut UÇAK

ÖZET

Panel radyatörler, yüksek verimlilik, düşük maliyet, kolay kurulum ve bakım gibi avantajları nedeniyle binalar, ofisler ve diğer yapılar için yaygın olarak tercih edilen ısıtma elemanlarıdır. Ancak, 2020 yılında başlayan küresel pandemi ve ardından gelen ekonomik kriz, yakıt, elektrik ve doğalgaz fiyatlarını önemli ölçüde artırarak, panel üretiminde kullanılan sac metal maliyetlerini ve nakliye ücretlerini zirveye çıkarmıştır. Panel radyatör üreticileri, arz ve talep dengesini korumak için çeşitli önlemler almak zorunda kalmıştır. Bu çalışmada, 7 farklı modelin ısıl performansı ANSYS Fluent 2020 R1 yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Tüm radyatörler, 1000 mm uzunluğunda ve 600 mm yüksekliğinde PKKP tipi (Panel-Konvektör-Konvektör-Panel) olup, farklı konvektör şekilleri, kalınlıkları ve uzunluklarına sahiptir. Bu modeller, panel radyatörün ısıl performansına önemli ölçüde katkıda bulunan ve ağırlık açısından panel sacından sonra ikinci sırada yer alan konvektörlerin boyutlarının ve sac kalınlığının azaltılmasıyla elde edilmiştir. Ayrıca, sadece konvektör kalınlığı azaltılarak elde edilen iki PKKP tipi model (Panel-Konvektör-Konvektör-Panel) için deneysel çalışmalar yapılmış ve analiz sonuçlarının tutarlılığı doğrulanmıştır. Bu modeller, 1000 mm uzunluğunda ve 600 mm yüksekliğinde olup; 1-Model a (kesme tasarım konvektör şekli → konvektör kalınlığı 0,32 mm, boyu 560 mm) ve 2-Model N (kesme tasarım konvektör şekli → konvektör kalınlığı 0,28 mm, boyu 560 mm) şeklindedir. Elde edilen analiz ve deneysel test sonuçları, konvektör sacı kalınlığı ve yüksekliğinin azaltılmasının ısıl performansta bir düşüşe yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca, bu çalışma, konvektör yüzey alanının ne kadar büyükse, panel radyatörün ısıl performansına o kadar olumlu katkıda bulunduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Panel radyatör, Isı transferi, Konvektör, Doğal taşınım, HAD

SUMMARY

Panel radiators are commonly preferred heating elements in buildings, offices, and other structures due to their advantages such as high efficiency, low cost, easy installation, and maintenance. However, the global pandemic that began in 2020 and the subsequent economic crisis significantly increased the prices of fuel, electricity, and natural gas, causing the costs of sheet metal used in panel production and transportation fees to peak. Panel radiator manufacturers have had to take various measures to maintain the balance of supply and demand. In this study, the thermal performance of 7 different models was investigated using ANSYS Fluent 2020 R₁ software. All radiators are of the PCCP type (Panel-Convactor-Convactor-Panel), with a length of 1000 mm and a height of 600 mm, but they have different convactor shapes, thicknesses, and lengths. These models were obtained by reducing the dimensions of the convectors, which significantly contribute to the thermal performance of the panel radiator and are second only to the panel sheet in terms of weight, and by reducing the thickness of the sheet. Additionally, experimental studies were conducted for two models of the PCCP type (Panel-Convactor-Convactor-Panel), which were obtained by only reducing the convactor thickness. These models, with a length of 1000 mm and a height of 600 mm, are 1-Model a (cut design convactor shape → convactor thickness 0.32 mm, height 560 mm) and 2-Model N (cut design convactor shape → convactor thickness 0.28 mm, height 560 mm). The consistency of the analysis results was confirmed through these experimental studies. The obtained analysis and experimental test results revealed that reducing the convactor sheet thickness and height led to a decrease in thermal performance. Furthermore, this study showed that the larger the convactor surface area, the more positively it contributes to the thermal performance of the panel radiator.

Keywords: Panel radiator, Heat transfer, Convactor, Natural convection, CFD

TEŞEKKÜR

Günümüzde tüm ülkeler için enerji konusu gittikçe artan ve önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Günümüz dünyasının her tarafında enerji ihtiyacı fazlasıyla hissedilmektedir ve bu ihtiyaçlar maalesef fazlasıyla tüketildiği için hem ülkede enerji açığı oluşmakta hem de kişisel bütçelerden kurumsal bütçelere ve buradan ülke ekonomisine büyük zararlar yansımaktadır. Bundan dolayıdır ki, enerji verimliliğine doğrudan katkı sağlayacak ısıtma cihazlarının verimliliğinin artırılması konusunda yapılan çalışmalar büyük bir öneme sahiptir.

Günümüzde oldukça önemli olduğunu düşündüğüm bu alanda çalışmamı gerçekleştirmeme vesile olan, süreç boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım için bana izin veren ve desteklerini üzerimden çekmeyen Türk DemirDöküm Fabrikaları A.Ş.'ye, yöneticilerimden Burak GÜVEN'e ve Turan AMCAOĞLU'na çalışma arkadaşım Batuhan Anıl KAYI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve çalışmalarımda bana her zaman destek veren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. RADYATÖR VE ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Radyatör Seçiminde Karşılaştırma Kriterleri	3
2.2. Panel Radyatör.....	6
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM	24
4.1. Deneysel Çalışma	25
4.2. Matematik Modelleme.....	30
4.3. Nümerik Yaklaşım.....	35
4.4. Mesh'den Bağımsızlık Çalışması.....	41
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Panel radyatör kesiti genel görünüm.....	6
2.2. Panel radyatör içindeki su ve dışındaki hava sirkülasyonu	7
2.3. Panel radyatör ısı yayılım mekanizması	7
2.4. Panel radyatör panel presi ve rulo açıcıya bağlanan sac rulosu	8
2.5. Panel sacı punta kaynak işlemi	9
2.6. Konvektör ile panel sacını punta kaynak ile birleştirme işlemi	10
2.7. Boyuna ve enine kaynak işlemi.....	11
2.8. T- bağlantı borusu ve askı sacı kaynak işlemi	12
2.9. 13 bar su sızdırmazlık basınç testi.....	13
2.10. Panel radyatör toz boya ve kataforez boya uygulaması	14
2.11. DemirDöküm Panel Radyatör Üretim Prosesi.....	15
2.12. Panel radyatörlerin ana parçaları	16
4.1. Deneysel ve nümerik çalışmada referans alınan modelin ölçüleri	24
4.2. Deneysel testin yapıldığı oda kesiti.....	25
4.3. EN 442'ye uygun hazırlanmış deneysel test düzeneği görseli.....	27
4.4. Ağırlık metodu test düzeneği şeması.....	28
4.5. Klimatik kabin dış görseli.....	28
4.6. Test numunesi ve boyutları.....	35
4.7. PKKP 600 /1000 mm test numunesinin su giriş çıkış bağlantısı.....	37
4.8. Panel ve konvektör sacının punta kaynak ile bağlantı şekli.....	38
4.9. Oda içerisine konulmuş radyatörün nümerik analiz sınır koşulları	39
4.10. Mesh yapısı.....	42
4.11. Mesh' den bağımsızlık sonuçları.....	42
5.1. Puntalı ve puntasız (%100 temas) ısı analiz karşılaştırması.....	43
5.2. Çoklu nokta kaynaklama konum noktaları.....	44
5.3. Analiz sonucunda elde edilen panel radyatör üzerindeki sıcaklık dağılımı.....	45
5.4. Oda içerisindeki hava hız, sıcaklık ve basınç dağılımı	46
5.5. Mevcut model a ve 0,28 mm kalınlığa indirilen model N' in konvektör tasarımları.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6. Mevcut model a ve model N için TSE deneysel test raporu.....	48
5.7. Nümerik analiz için model a ve farklı konvektör tipleri için yaratılan modeller.....	50
5.8. Radyatör konvektör sacı a üstten görünüm, b önden görünüm.....	51
5.9. 6 farklı konvektör modelin ısı dağılım sonuçları.....	53
5.10. Konvektörler arasında konvektör kalınlığının etkisinin karşılaştırılması.....	54
5.11. Konvektör kalınlığı aynı, farklı konvektör tasarımlarının ısı transfer üzerindeki etkisinin karşılaştırması.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Radyatör tiplerine göre ısı transfer oranları.....	17
2.2. Panel radyatör tipleri.....	18
4.1. Konvektör sac kalınlık ve konvektör yüzey alan araştırma aralıkları.....	36
4.2. Suyun, çeliğin ve hava ’nın termal özellikleri	37
4.3. Hücre Sayısına Göre y^+ Değerleri ve Mesh Özellikleri.....	41
5.1. Puntalı ve puntasız (%100 temas) ısı analiz karşılaştırma sonucu.....	45
5.2. Mevcut model a ve model N’ in sayısal çözüm ile ısı transfer karşılaştırması.....	47
5.3. Mevcut model a ve model N arasındaki deneysel ısı transfer karşılaştırması.....	48
5.4. Mevcut model a ve model N’ in deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırması.....	49
5.5. Modeller arasındaki konvektör kalınlığı, yüksekliği ve yüzey alanındaki..... değişiklikler.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
c	Özgül ısı (J/kg.K)
q_m	Su debisi (kg/s)
g	Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
h	Entalpi (Joule)
Gr	Grashof sayısı
τ	Toplama süresi (s)
D_i	Su giriş kanalı çapı (m)
k	Isıl iletkenlik (W/m.K)
Q_{me}	Isıl güç (W)
L	Uzunluk (m)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
Re	Reynolds sayısı
P	Basınç (kPa)
Φ	Isı transferi (W)
R	İdeal gaz sabiti
Ra	Rayleigh sayısı
Q_{rad}	Işıma ile ısı transferi (W)
μ	Dinamik vizkozite (Pa. s)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$ veya K)
T_{∞}	Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$ veya K)
u, v, w	Hız bileşenleri (m/s)
V	Hız (m/s)
R	Çap (mm)
Pr	Prandtl sayısı
ν	Kinematik vizkozite (mm^2/s)
β	Termal genleşme katsayısı (K^{-1})

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltmalar****Açıklama**

PKKP	Panel-Konvektör-Konvektör-Panel
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
ÇNK	Çok Nokta Punta Kaynak
TS	Türk Standart
EN	Avrupa Standartı
DIN	Alman Standartı
RAL	Teslimat Koşulları Ulusal Komitesi
SST	Shear Stress Transport

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde enerji kaynakları ve enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle enerji konusunda büyük oranda dışarıya bağımlı ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Bu ülkelerden biri olan Türkiye, enerji ihtiyacının %70'ini ithal etmekte olup, enerji kaynakları açısından büyük oranda dışarıya bağımlı bir ülke konumundadır. Konut ve işyeri ısıtması, ülkemizde enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Türkiye’de harcanan toplam enerjinin yaklaşık %26'sı konut ısıtılması için kullanılmakta ve bir konutta harcanan enerjinin yaklaşık %82'si ısıtma için harcanmaktadır (Kibar, 2017). Bu nedenle, gerçekleştirilecek bazı küçük optimizasyon çalışmalarıyla toplamda çok büyük enerji kazançları elde edilebilmesi mümkündür.

Türkiye’de işyeri ve konut ısıtmasında kullanılan veya kullanılabilecek birçok alternatif ısıtma yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en çok tercih edilenlerden biri de estetik görünümleri, yüksek ısı güçleri, kolay montaj imkânı sağlamaları, yerden montaja imkân vermeleri ve maliyet / ömür oranlarının yüksek olması gibi avantajları sayesinde panel radyatörlerdir (Kibar ve Veziroğlu, 2013). Panel radyatörler, estetik açıdan çeşitli tasarım seçenekleri sunarken, yüksek verimlilikleri ve düşük işletme maliyetleri ile öne çıkmaktadırlar.

Panel tip radyatörler, suyun ısıtıldığı cihazdan (kazan, kombi vb.) radyatör bağlantı noktasına kadar devam eden ısıtma sisteminin önemli bir unsuru olarak görev yapmaktadır (Daşdemir, 2015). Paneller, endüstriyel presler yardımıyla girintili olarak şekillendirilmiş iki sac levhanın, otomatik tezgâhlarda punta kaynak ile bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Girintilerin arasında oluşan kanallarda sıcak su dolaşır. Sıcak su panel yüzeylerini ısıtır. Panellere, girintilerden oluşan panel sacından daha ince bir sac plaka kaynatılır. Bu plakaya ‘konvektör’ adı verilir. Konvektör saclarının arasından geçerek yukarıya doğru yükselen hava sıcak panel yüzeylerine temas ederek ısınır ve ortam havasına karışır (Makine Mühendisleri Odası, 2022). Bu bağlamda, Panel radyatörlerin verimliliğini optimize etmek için, konvektör ısı transfer yüzey alanının düzenlenmesi, sac malzeme kalınlığının ayarlanması ve konvektör tasarımının iyileştirilmesi gibi çeşitli mühendislik yaklaşımları uygulanabilir. Bu tür optimizasyon çalışmaları, enerji tüketimini ve kullanılan sac tüketimini

azaltarak hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta hem de ısıtma sistemlerinin toplam işletme maliyetlerini düşürmektedir. Dolayısıyla, panel radyatörlerin performansını artırmaya yönelik yapılan araştırmalar ve geliştirme çalışmaları, enerji tasarrufunu artırma hedefi doğrultusunda kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada, panel radyatörlerin ısı performansında etkili rol oynadığı bilinen ve radyatör ürününün ağırlık açısından panel sacından sonra ikinci sırada yer alan konvektörlerin boylarının kısaltılması ve sac kalınlığının inceltilmesinin panel ısı performansı üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Mevcut panel radyatör ürününün yanı sıra, bu modelde kullanılan konvektör sacına alternatif olarak tasarlanan altı konvektör ile oluşturulan altı farklı modelin daha ısı performansı nümerik olarak analiz edilmiştir, böylece toplamda yedi model incelenmiştir. Nümerik analizler, her bir modelin termal davranışını kapsamlı bir şekilde değerlendirerek, konvektör boyutlarının değişmesinin ısı performansına olan etkilerini ortaya koymuştur. Bu analizler, panel radyatörlerin ısı performanslarının optimize edilmesi ve daha verimli hale getirilmesi için gerekli mühendislik verilerini sağlamaktadır. Ek olarak, sadece kalınlıkları azaltılan iki ayrı model için de deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bu nümerik analizlerin güvenilirliği doğrulanmıştır. Deneysel çalışmalar, laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen testlerle, teorik analizlerin gerçek dünya uygulamalarındaki geçerliliğini test etmiştir. Bu doğrulamalar, nümerik analizlerin sonuçlarının pratikte de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu deneysel çalışmalar, panel radyatörlerin ısı performansının iyileştirilmesine yönelik bulgular sunmaktadır. Deney sonuçları, konvektör kalınlığının optimizasyonunun, enerji tasarrufu ve ısıtma maliyetlerini düşürmede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu tür çalışmalar, enerji verimliliği stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında bilimsel ve mühendislik temelli yaklaşımların önemini vurgulamaktadır.

2. RADYATÖR VE ÖZELLİKLERİ

Radyatör, merkezi ısıtma sistemlerinde hacim ısıtıcısı olarak en çok kullanılan cihazlardır. Bu cihazlarda gerçekte toplam ısı geçişinin yaklaşık %70 ile %80 kadarı taşınım (konveksiyonla), %30 ile %20 kadarı ışınlama olmasıyla olmasına rağmen, geçmişten gelen hatalı olarak verilen radyatör adı günümüzde de kullanılmaktadır. Radyatörleri döküm, çelik, elektrikli yağlı, alüminyum ve panel olmak üzere beş grupta incelemek mümkündür (Isısan Çalışmaları, 1997).

2.1. Radyatör Seçiminde Karşılaştırma Kriterleri

Türkiye'de üretilen farklı radyatör çeşitlerini ve aynı çeşitlerin farklı tiplerini seçerken dikkate alınması gereken birtakım hususlar vardır. Radyatörlerin çeşitli özellikleri ve bu özelliklerin önemi üzerine bir değerlendirme yapıldığında, işgal ettikleri hacim ve montaj alanı ilk olarak dikkate alınması gereken unsurlardır. Isıtıcıların kapladığı alan, özellikle sınırlı alanlara sahip binalarda çok önemlidir. Bu nedenle, radyatörlerin ince yapısı, özellikle pencere altı gibi girinti olmayan, düz yerlerde büyük önem taşır. Ağırlık ise radyatör ısını muhafaza etme ve montaj kolaylığı açısından önemlidir. Su miktarı, radyatörün ısıyı muhafaza etmesini doğrudan etkiler; aynı zamanda cihazın ısınması ve soğuması sürecinde daha yavaş tepki vermesine neden olur. En ağır radyatörler döküm radyatörler olup en fazla su hacmine sahip olanlar ise dilimli çelik radyatörlerdir. Bu özellikler, döküm ve çelik radyatörlerin zayıf yönlerini ortaya koyar, panel ve alüminyum radyatörler ise daha hızlı ısı tepki verirler (Daşdemir, 2015).

Su miktarının az olması, sıcaklığın daha kolay ayarlanabilmesini sağlarken, genleşme tankı kapasitesini de etkiler. Kapalı sistemdeki su hacminin büyük bir kısmı radyatörlerde bulunur ve bu nedenle, büyük hacimli radyatörler kullanılan sistemlerde, genleşme tankının da daha büyük olması gerekmektedir (DemirDöküm, 2020 b).

Radyatörün kullanım ömrü, kullanılan malzeme türüne bağlıdır; Döküm radyatörler, en dayanıklı radyatör türlerinden biridir, korozyona ve aşınmaya karşı oldukça dirençlidirler. Bu özellikleri sayesinde uzun yıllar boyunca sorunsuz bir şekilde çalışabilirler. Panel

radyatörler çelik korozyona karşı döküm kadar dirençli değildir, bu da ömürlerini kısaltabilir. Çünkü kireçlenme radyatör ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biridir. Görsel açıdan, panel radyatörler genellikle daha çok tercih edilmektedir. Risk açısından, keskin kenarları ve çıkıntılı yapıları nedeniyle en yüksek yaralanma potansiyeline sahip olanlar dilimli çelik radyatörlerdir. Düz yüzeyli radyatörler, yüzeylerinde toz birikimini minimuma indirir. Düz ve pürüzsüz yüzeyler, toz ve kirin birikmesini önler, böylece hava kalitesi korunur. Bu tür radyatörler, temizliği kolaylaştırır. Düz yüzeyler, bezle veya temizlik aparatlarıyla kolayca temizlenebilir, bu da bakım sürecini hızlandırır ve hijyenik bir ortam sağlar. Basınca dayanıklılık yönünden, alüminyumun hafif ve dayanıklı yapısı, bu tür radyatörlerin yüksek basınçlara karşı dirençli olmasını sağlar. Bu, alüminyum radyatörlerin yüksek performanslı ve uzun ömürlü olmasını destekler. Basınç dayanımı diğer radyatörlere göre daha yüksektir. Gerekli ısıtma yüzeyi miktarı, bir radyatörün verimliliğinin en önemli göstergesidir. Bir radyatör, aynı ısıyı daha küçük bir yüzeyle sağlayabiliyorsa, tasarımı daha iyidir. En küçük ısıtma yüzeyi, kolonlu ve perkolon döküm radyatörlerin ince tiplerinde görülmektedir ve bu tiplerde ısıma oranı en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Alüminyum radyatörler, aynı ısı gücü için döküm radyatörlere göre yaklaşık iki kat daha fazla yüzey gerektirmektedir (Makine Mühendisleri Odası, 2022).

Elektrikli yağlı radyatörler, genellikle kişisel veya küçük alan ısıtması için ideal olup, büyük ve geniş alanlar için uygun olmayabilir. Bu nedenle, kullanım amacına ve ortam koşullarına göre seçim yapmak önemlidir. Radyatörlerin değerlendirilmesinde en önemli unsur maliyettir; ancak m^2 fiyatı aldatıcı olabilir. Reel ürün maliyeti, ısı verim maliyeti denilen, radyatörün birim ısı gücü fiyatıdır (Isısan / Buderus, 1999).

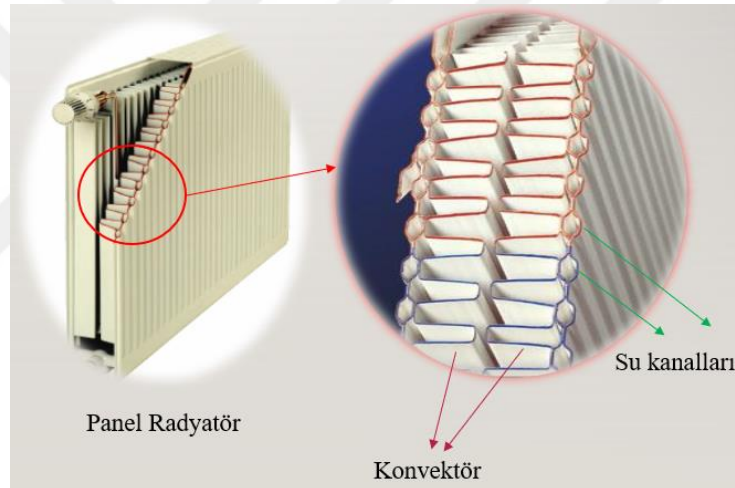
Isıtma yüzey verimi, kullanılan bileşenlere ve imalat yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Döküm radyatörler, paslanmaya dirençli oldukları için dayanıklıdır, ancak maliyetleri yüksektir. En maliyetli radyatörler arasında alüminyum radyatörler yer almaktadır. Geçmişte radyatörler genellikle dökme demirden üretilip boyanırken, şu anda panel radyatörler daha sık tercih edilmektedir. Öncelikle, yüksek verimlilikleri sayesinde ısıyı geniş yüzey alanları ile daha verimli bir şekilde yayarak odaların hızlı ve eşit bir şekilde ısınmasını sağlarlar. Estetik görünümleri, modern ve şık tasarımları ile iç mekanlara uyum sağlar ve ince, düz yapıları duvarlara daha yakın monte edilebilmelerine olanak tanır. Bu radyatörlerin montajı ve bakımı diğer radyatör tiplerine göre daha kolay olup, genellikle

standart bağlantı noktalarına sahip olmaları kurulum sürecini basitleştirmektedir. Enerji tasarrufu sağlama konusunda da etkili olan panel radyatörler, yüksek ısı verimliliği sayesinde daha az enerji kullanarak istenen sıcaklığa ulaşabilirler. Ayrıca, uygun maliyetli ve uzun ömürlü olmaları, onları ekonomik bir ısıtma çözümü yapmaktadır. Farklı boyut ve kapasitelerde mevcut olmaları ise farklı mekanların ısıtma ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmaktadır. Bu nedenlerle, panel radyatörler hem konutlarda hem de ticari binalarda yaygın olarak tercih edilmektedir (Karakoç, 2001).



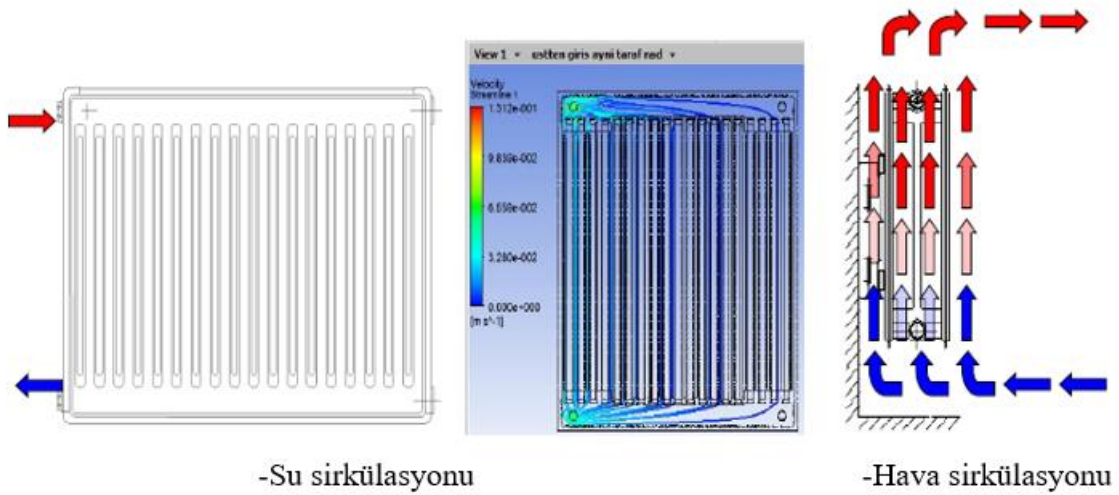
2.2. Panel Radyatör

Panel radyatörler, sıcak su sistemlerinde kullanılan bulunduğu kapalı mekânı doğal taşınım ve ışıma yolu ile ısıtmaya yarayan bir ısıtma elemanıdır. Panel radyatörler, aynı zamanda düz radyatörler olarak da bilinirler. Bu radyatörler, merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılarak mekanları ısıtmak amacıyla tasarlanmış cihazlardır. Genellikle ince, düz ve dikdörtgen yapıda olan bu radyatörler, içlerinden geçen sıcak su veya buhar sayesinde ısı yayarlar. TS EN 442'ye uygun olarak EN10130 soğuk haddelenmiş düşük karbonlu, kalınlığı en az 1,11 mm pastan ve yağdan arındırılmış, yüksek tonajlı preslerde şekillendirilen, çelik rulo saclardan imal edilirler. Bu radyatörler, genellikle çelik sacdan üretilen ve su kanallarını içeren panellerden oluşmaktadırlar (DemirDöküm, 2020 a).



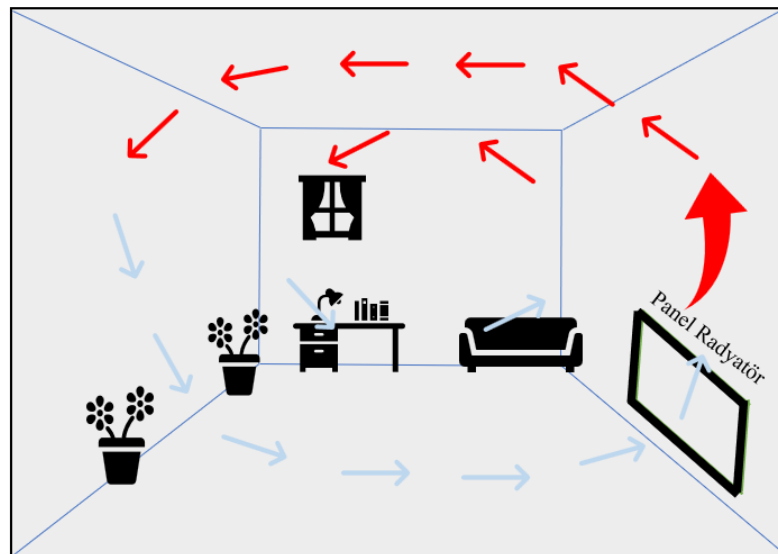
Şekil 2.1.Panel radyatör kesiti genel görünüm (DemirDöküm, 2014)

Radyatörün ısıl gücünü artırmak için Şekil 2.1 'deki görüldüğü gibi panel sacındaki su kanallarına yine panel sacında olduğu gibi EN10130 soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelikten imal edilmiş ve yüksek tonajlı preslerde şekillendirilmiş konvektör denilen kanatçıklar punta kaynak ile kaynaklanır. Bu konvektör sacları, ısı transfer yüzey alanını artırarak daha etkili ısı alışverişini sağlar. Konvektörlerde kullanılan sacların et kalınlığı genellikle 0,25 – 0,50 mm arasında değişmektedir (DemirDöküm, 2020 a).



Şekil 2.2.Panel radyatör içindeki su ve dışındaki hava sirkülasyonu
(DemirDöküm, 2014)

Sıcak su, Şekil 2.2’de görüleceği üzere panel içindeki kanallarda dolaşırken çelik yüzeylere ısı transfer eder. Çelik yüzeyler, ısınan suyun enerjisini oda içine yayarken panel radyatörler hem konveksiyon (hava hareketiyle ısı yayılımı) hem de ışıma (doğrudan ısı yayılımı) yoluyla ısıtma sağlamaktadır. Konveksiyon yoluyla, odadaki hava radyatörün etrafında dolaşarak ısınır ve bu ısınan hava odaya yayılır. Işıma yoluyla ise, radyatör yüzeyinden doğrudan ısı yayılımı gerçekleşir (Incropera ve DeWitt, 1996). Bu panellerden yayılan ısı, çevresindeki havayı ısıtmaktadır.



Şekil 2.3. Panel radyatör ısı yayılım mekanizması (DemirDöküm, 2014)

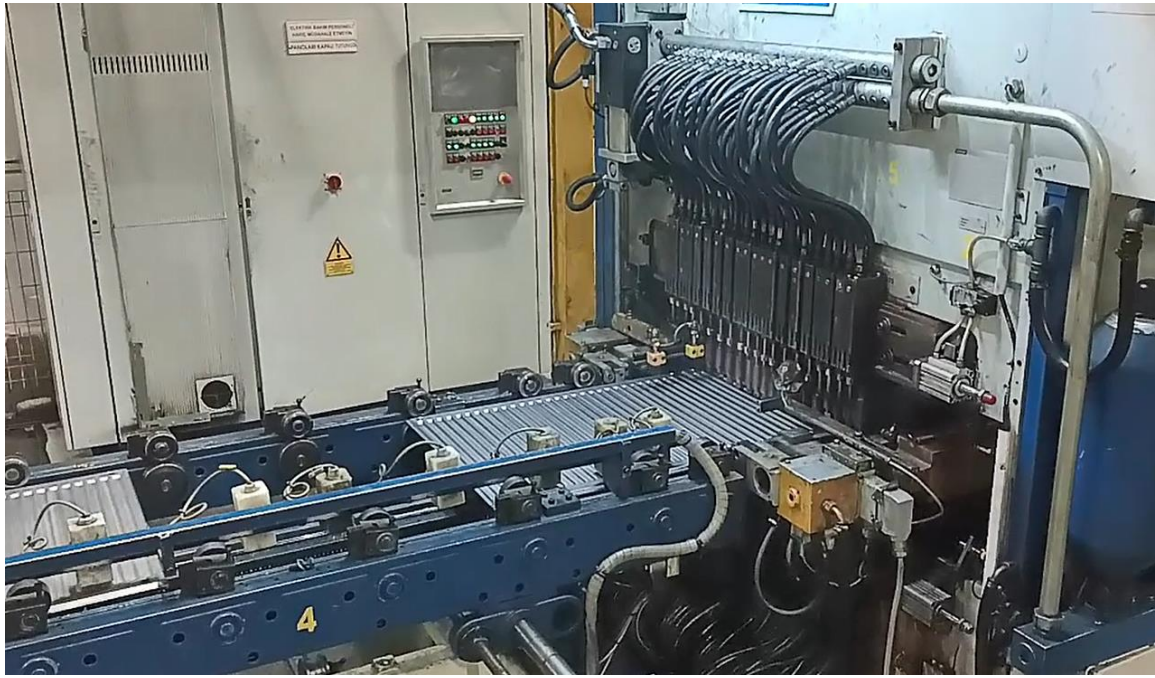
Isınan hava, hacminin artıp yoğunluğunun azalmasıyla yükselir. Yükselen sıcak hava, odanın yukarı kısmına doğru hareket ederken, soğuk hava radyatörün alt kısmına doğru iner ve tekrar ısınır. Bu doğal hava dolaşımı, odanın genelinde sıcaklık dağılımını sağlar ve sürekli bir ısı döngüsü oluşturur (Incropera ve DeWitt, 1996). Bu döngü Şekil 2.3'te verildiği üzere panel radyatörün odayı ısıtma için kullandığı ısıtma mekanizmasını oluşturmaktadır.

Panel radyatörler, çelik tedarikçilerinden alınan 15-20 tonluk rulo sacların kullanılmasıyla üretilir. Üretim süreci, Şekil 2.4'te verildiği gibi rulo sacların rulo açıcılara yerleştirilmesiyle başlar. Pres hattında, 10 ile 1000 ton arasında basma kapasitene sahip hidrolik ve mekanik presler , buna ek olarak otomatik kontrollü elektronik rulo besleyiciler ve sürücüler de kullanılmaktadır. Bu preslerde 100 mm'lik bir besleme ile 70 strok/dakika maksimum çalışma kabiliyetine sahiptir. Yıllık kapasitesi 500 bin metredir. Knuckle joint (Mafsallı bağlantı) aktarma sistemine sahip olup yük uygulama kapasitesi 8000 kN'dur. Bu tahrik sisteminin karakteristik hareketi, kalıp ve metal arasında pratik olarak darbesiz temas sağlar ve üretilecek malzemenin akması ve oluşması için yeterli zaman sağlar. Panel radyatör presleri, radyatör üretiminde kullanılan özel makineler olup , en gelişmiş hidrolik sistemler ve elektronik kontrollerle donatılmıştır. Bu presler, çeşitli boyut ve şekillerdeki radyatör, panel ve konvektör saclarının üretimi için geliştirilmişlerdir. Bu presler, farklı boyutlarda ve şekillerde radyatör panellerinin üretimini destekler. İç ve dış panel yüzeyleri 300, 400, 500, 600, 700/750 ve 900 mm'lerde 6 ayrı yükseklik ve 25 farklı uzunlukta, tek bir pres darbesiyle birden fazla adımı gerçekleştirebilen ardışık kalıplarla üretilmektedir (DemirDöküm, 2014).



Şekil 2.4.Panel radyatör panel presi ve rulo açıcıya bağlanan sac rulosu (DemirDöküm, 2014)

Preslerde basılan panel yaprakları, pres konveyöründen geçtikten sonra operatör tarafından üst üste dizilerek biriktirilir ve forkliftler yardımıyla kaynak hattına götürülür. İki panel yaprağı birbirine birleştirilerek bir adet panel sacı elde edilir. Bu panel sacı, üzerinde sıcak suyun geçeceği su kanallarını barındırırken, kaynak öncesi döner dolaplarda ters düz edilen panel yaprakları arasına, panel sacı içine giriş yapacak suyun daha eşit dağılması için metal bir parça konulmaktadır. Bu parça su ringi (delikli yüzük parça) olarak adlandırılmaktadır (DemirDöküm, 2014).



Şekil 2.5.Panel sacı punta kaynak işlemi (DemirDöküm, 2014)

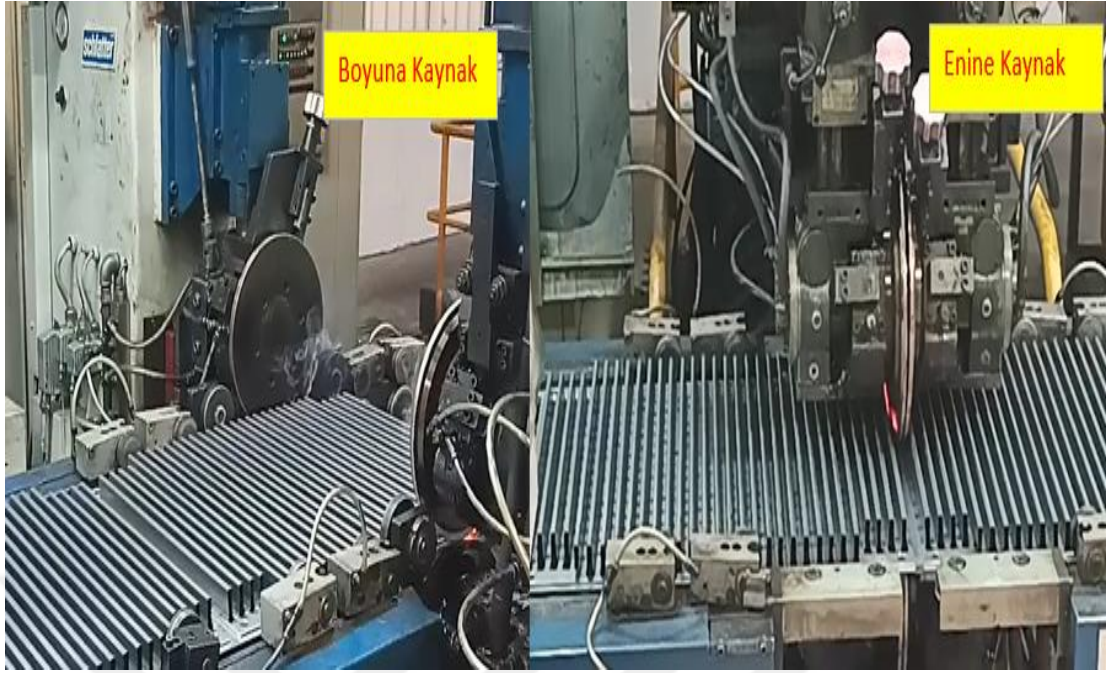
Panel sacını oluşturmak için preslerden çıkan panel yaprakları üst üste getirildikten sonra çoklu nokta punta kaynağı ile Şekil 2.5'teki gibi birleştirilir. Bu işlem, paneller arasındaki sıcak suyun dolaşacağı kanalların oluşmasını sağlar. Punta kaynağı, panel sac parçalarını birleştirmek için kullanılan bir direnç kaynağı yöntemidir. Sac parçalar, iki elektrot arasında sıkıştırılır ve bu noktada uygulanan elektrik akımı sayesinde ısı oluşmaktadır. Oluşan ısı, metal sacın erimesine ve böylece sac parçaların birleşmesini sağlar. Isı sadece birleşme noktasında yoğunlaştığı için sac levhalarda minimum deformasyon meydana gelir. Punta kaynağı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, uygulanan basınçtır. Elektrotlar arasındaki temasın kalitesini ve dolayısıyla kaynak kalitesini belirler. İkincisi, elektrik akımının uygulanma süresidir. Kaynak bölgesinde yeterli ısı oluşması için kritik öneme sahiptir. Üçüncüsü ,

elektrik akımının büyüklüğü olup ısı miktarını ve dolayısıyla kaynağın kalitesini belirler. Sonuncusu ise, elektrotların uç çapıdır. Temas alanını ve dolayısıyla kaynak noktasının büyüklüğünü etkilemektedir. (DemirDöküm, 2014).



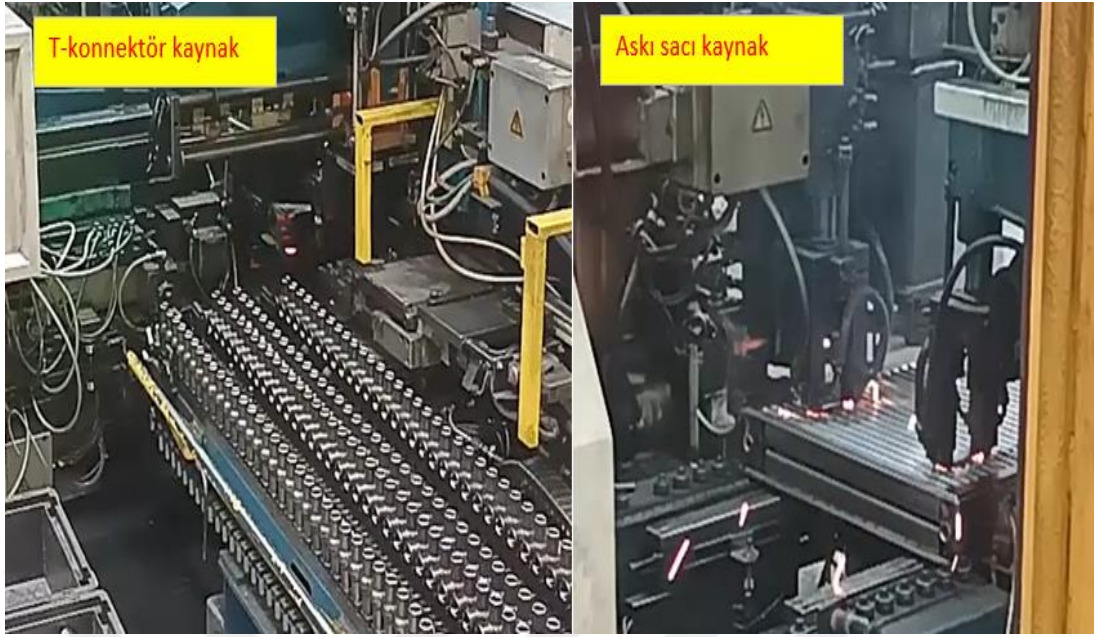
Şekil 2.6.Konvektör ile panel sacını punta kaynak ile birleştirme işlemi
(DemirDöküm, 2014)

Yüksek tonajlı preslerde istenen ebatlarda kesilip şekillendirilen konvektör sacları, operatör vasıtasıyla panel sacının üzerine yerleştirildikten sonra çok nokta punta kaynak işlemi ile su kanallarına temas edecek biçimde Şekil 2.6'daki gibi birleştirilir. Konvektörün yüksekliğine göre punta kaynak nokta sayısı değişkenlik gösterir. 600 mm yüksekliğe sahip bir panel radyatörde 560 mm yüksekliğe sahip konvektör sacı bulunmaktadır. Bu yükseklik için atılan punta nokta sayısı 14'tür. Herbir punta kaynak noktası arasındaki mesafe 40 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. 560 mm'den yüksek olan konvektör sacları için punta nokta sayısı 14'den fazla olacaktır. Bu, daha uzun sacların güvenli ve sağlam bir şekilde panel sacına tutturulması için daha fazla kaynak noktası gerektiği anlamına gelmektedir (DemirDöküm, 2014).



Şekil 2.7. Boyuna ve enine kaynak işlemi (DemirDöküm, 2014)

Üründe %100 sızdırmazlığı sağlamak adına, punta kaynağı ile birleştirilen panel ve konvektör sacları boyuna ve enine kaynak ünitesinde kenarları sızdırmazlık sağlayacak biçimde Şekil 2.7'deki gibi birleştirilmektedir. Daha sonra, dikiş kaynağı kullanılarak kenarların sızdırmazlık sağlanması için kaynak yapılır. Akım ve basınç, disk biçimindeki elektrotlar aracılığıyla parçalara iletilir. Kaynak işlemi sırasında, bindirme, ezme, kıvrık gibi çeşitli dikiş teknikleri uygulanabilir. Bu teknikler, farklı kaynak ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Alın dikişleri, folyolar ile yapılır ve bu da sızdırmazlık sağlama sürecini destekler. Alın dikişleri, iki metal parçasının kenarlarının birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak yöntemidir. Bu tür dikişler genellikle iki parçanın kısa kenarlarını birleştirmek için kullanılır. Dairesel kaynak makineleri, 400 mm'den 900 mm'ye kadar ayarlanabilmektedir. Bu, makinelerin farklı panel boyutlarına uyum sağlayabilmesini ve çeşitli ebatlarda panellerin boyuna dikişlerini yapabilmesini sağlar. İki adet dairesele kaynak makinesi, tek bir şasiye montelenmiştir. Bu tasarım, makinelerin birlikte çalışmasını ve panellerin etkili bir şekilde kaynaklanmasını sağlamaktadır (DemirDöküm, 2014).



Şekil 2.8. T- bağlantı borusu ve askı sacı kaynak işlemi (DemirDöküm, 2014)

İki paneli birleştirmek için T şeklindeki bağlantı boruları takılır ve direnç kaynağı ile sızdırmazlık sağlanarak iki panel Şekil 2.8’de verildiği gibi birleştirilir. Ayrıca radyatörün duvara montajının yapılabilmesi için gerekli olan askı sacları da burada kaynaklanmaktadır (Copa, 2019).

Panel radyatör kaynak hattından sonra sızdırmazlık testine tabi tutulur. Üretim hattından çıkan tüm radyatörler, %100 kontrol edilerek üretici tarafından deklare edilen işletme basıncının 1.3 katı su basınç testine Şekil 2.9’daki gibi tabii tutulurlar. Su basıncı testinden sonra üründe herhangi bir çatlama, patlama, su kaçağı ve kalıcı şekilde değiştirme görülmemesi gerekmektedir (TS EN 442-2, 2015).



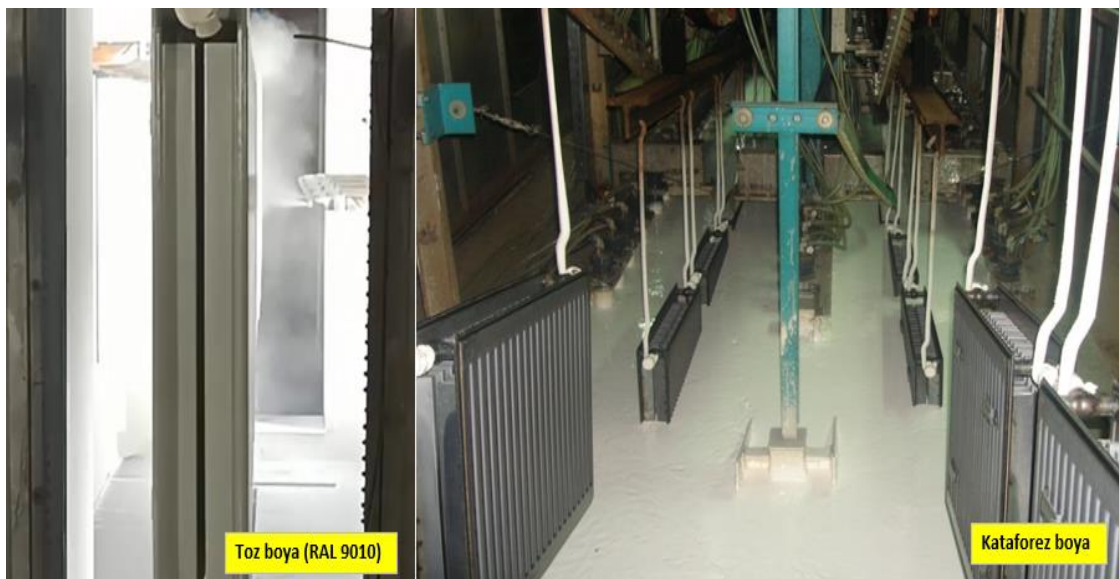
Şekil 2.9. 13 bar su sızdırmazlık basınç testi (DemirDöküm, 2014)

Panel radyatörler korozyona ve diğer dış etkenlere karşı dayanıklıdır. Dekoratif bir görüntüye sahip olmalarının yanı sıra, düzgün bir yüzeye de sahiptirler. Panel radyatörler çok aşamalı bir ön işlem sürecinden geçmektedir. Bir radyatör panelinin yüzeyi, yağ alma, nano teknolojik zirkonyum kaplama ve pasivasyon işleminin ardından su bazlı bir epoksi polyester astarı ile temizlenir. Radyatörlerin iç kısımlarının spreyl yağ alma işlemi ile temizlenemeyen yerlerini daha iyi temizlemek için daldırma tipi yağ alma banyosu kullanılır. Dış yüzeyde mekanik ve kimyasal temizlik sağlamak için farklı kimyasallar içeren basınçlı sıcak su, küçük nozullarla püskürtülür. Durulama bölümleri, banyo kimyasallarının bir sonraki banyoya taşınmasını engeller. DemirDöküm marka panel radyatörlerde Şekil 2.10'da görülebileceği üzere radyatörlere hem toz boya hemde kataforez boya uygulanır, toz boya uygulanmadan önce kataforez boya işlemi gerçekleştirilir (DemirDöküm, 2014).

Kataforez boya, elektroforez veya elektroforetik kaplama olarak da bilinir. Bu boya işlemi, metal yüzeylerin korunması ve estetik görünümünün sağlanması için yaygın olarak kullanılır. Metal parça temizlenir, yağdan arındırılır ve yüzeyi pasivize edilir. Metal parça, boya çözeltisi ile doldurulmuş bir tankın içine yerleştirilir. Elektroforez işlemi sırasında parçanın negatif yükü, boya partiküllerini çözeltiden çekmeye ve parçanın yüzeyine yapışmasına neden olur. Parça, boya partiküllerinin yüzeye yapışmasını sağlamak için belirli

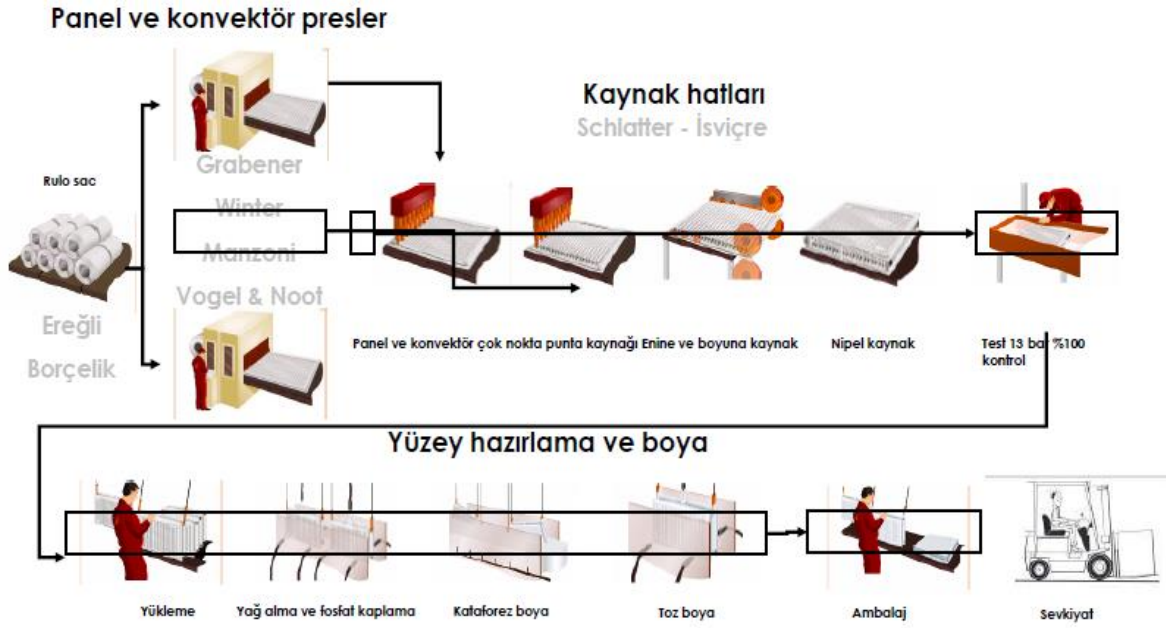
bir sıcaklıkta kurutulur. Son olarak, parça yüksek sıcaklıkta pişirilir veya kürleme işlemi uygulanarak boya filmi sertleştirilir ve dayanıklı hale getirilir (Özçanak, 2008).

Kataforez boya, panel radyatörlerde kullanıldığında, uzun ömürlü bir koruma sağlar ve çeşitli atmosferik koşullara karşı direnç gösterir (DemirDöküm, 2014). Ayrıca, homojen bir kaplama sağladığı için estetik bir görünüm sunar ve boya tabakasının kalınlığı kontrol altında tutularak ürünün performansını etkilemez (Özçanak, 2008). Bu özellikleriyle panel radyatörlerde yaygın olarak tercih edilen bir kaplama çeşididir. Daha sonra, tüm ön ve arka yüzeylere bir epoksi polyester toz boya elektrostatik olarak uygulanır. Proses DIN 55900 standardına uygundur. Bu standart, boya ve vernik ürünlerinin farklı özelliklerini ve test yöntemlerini ayrıntılı olarak kapsar, üreticilerin yüksek kaliteli ve tutarlı ürünler sunmalarına yardımcı olurken, tüketicilerin de beklentilerini karşılar. Ayrıca, boya ve verniklerin uluslararası ticaretinde de referans olarak kullanılır (DIN, 2018). Standart renk olarak genellikle RAL 9010 kodlu saf beyaz kullanılır; ancak özel talepler doğrultusunda farklı renkler de uygulanabilir. RAL 9010, genellikle Ulusal Tedarik Şartları ve Kalite Güvencesi Komitesi tarafından belirlenen bir renk kodu sistemidir. Bu sistem, standart renkleri tanımlamak için kullanılır ve özellikle boya, vernik ve endüstriyel kaplamalar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır (RAL, 2024). Toz akışı, radyatörlerin boyutlarına göre tam otomatik kontrol ünitesi ile ayarlanır. Kürleme süresi 180 °C' de 10 - 15 dakikadır. Uygulanan toz boyanın katman kalınlığı 40 – 50 mikron (μm) olmalıdır (DemirDöküm, 2014).



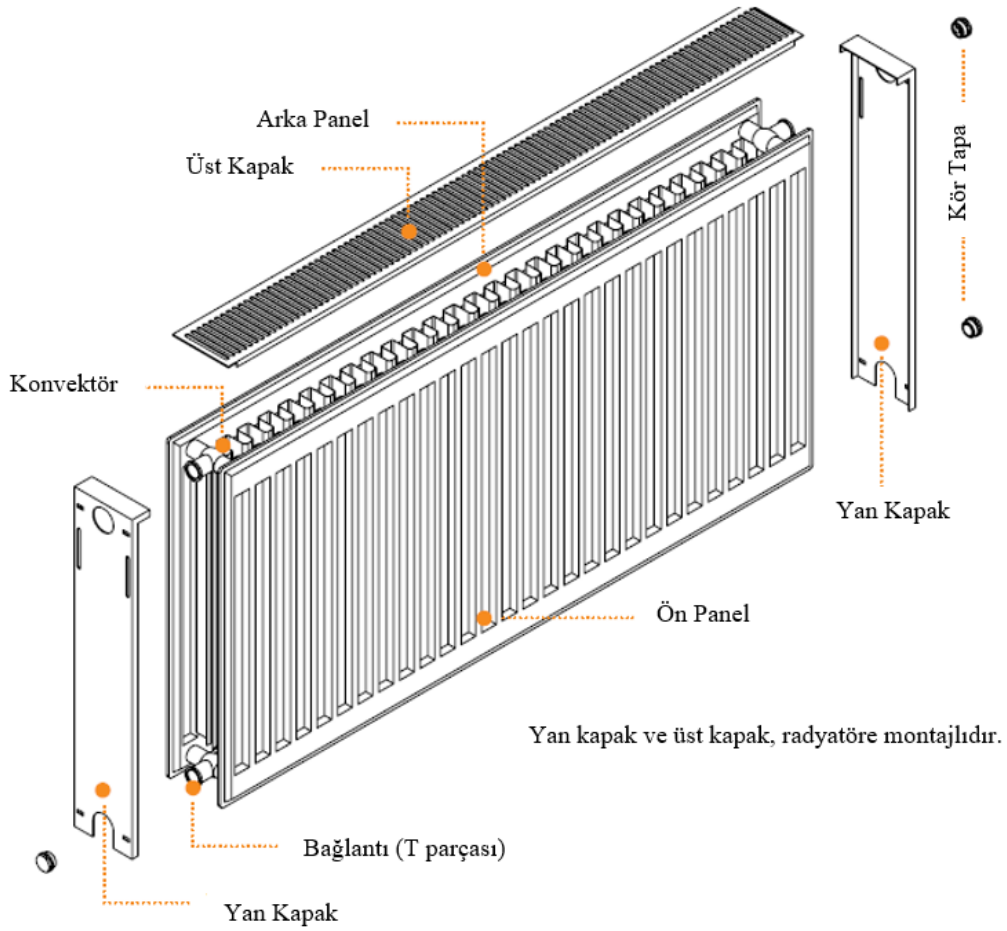
Şekil 2.10. Panel radyatör toz boya ve kataforez boya uygulaması
(DemirDöküm, 2014)

Özetle, panel radyatör üretim prosesi Şekil 2.11' de görüldüğü gibi genel hatlarıyla şematize edilmiştir. Şekil 2.11'de verilen bu proses, Türk DemirDöküm Fabrikaları A. Ş. 'ye ait panel radyatör üretim tesislerinde uygulanmaktadır. Bozüyük Tesisleri'nde bulunan panel radyatör fabrikası, üretim tekniği, üretim prosesi ve ürün kalitesi açısından EN 442 panel radyatör genel standardına göre üretim yapan tesislerden biridir.



Şekil 2.11. Panel radyatör üretim prosesi (DemirDöküm, 2014)

Panel radyatörün ana parçaları incelendiğinde, Şekil 2.12' de detaylı olarak gösterilen unsurlar öne çıkmaktadır. Panel yapraklarının birleştirilmesiyle oluşan panel sacları, su kanallarını barındırarak panel radyatörün temel özelliğini oluşturur. Isı transfer yüzeyini arttıran konvektörler ya da kanatçıklar, hava ile panel radyatör arasındaki arka ve ön panel sacları arasında yer alır ve bu saclara kaynaklanır. İki panel sacı arasında su transferi ise, T bağlantı parçası vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu bağlantıların ürüne kaynağının yapılabilmesi gerekmektedir, bundan dolayı kaynak makinesi için boşluklar konvektör sacları üzerinde bırakılır. Bu yapısal tasarım, kesme tasarım konvektör olarak adlandırılır. Sağ ve sol yan kapaklar ise panel üst kapağı monte edildikten sonra panel üzerine yerleştirilir. Ürünün duvara montajı ise arka panel sacına kaynatılan askı sacı ile yanında verilen L konsol ve aksesuarlarla sağlanır (Kalde, 2014).



Şekil 2.12. Panel radyatörlerin ana parçaları (Kalde, 2014).

Panel radyatörler, kullanım yeri ve istenilen özelliklere göre farklı boyut ve tasarımlarda üretilir. Radyatörler, panel ve konvektör sayılarına göre kategorize edilir ve bu kategoriler belirli kısaltmalarla Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi ifade edilir. Bir panel bir konvektör ise (PK) ya da 11 tip, iki panel tek konvektörlü ise (PKP) ya da 21 tip, çift panel çift konvektör ise (PKKP) ya da 22 tip, üç panel üç konvektörlü ise (DKEK) ya da 33 tip ile kategorize edilir. İlk rakam panel radyatörde bulunan panel sayısını ikinci rakam ise panel radyatörde bulunan konvektör sayısını ifade eder. Hatve, iki su kanalı arasındaki mesafedir. Ürünün su hacmini belirler. Islak yüzey alanının ısı verim üzerinde etkisi vardır (Copa, 2019). Bu çalışmada, 33 hatve 22 tip 600 mm yükseklik ve 1000 mm uzunluğundaki radyatörler esas alınarak nümerik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 2.1.Panel radyatör tipleri (DemirDöküm, 2014)

Panel Radyatör Tipleri			Yükseklik (mm)	Uzunluk (mm)
Tıp 11 - (PK)	Tek panel Tek konvektör üst ve yan kapaklar		300-400-500-600 700/750-900	400-3000
Tıp 21 - (PKP)	Çift panel Tek konvektör üst ve yan kapaklar			
Tıp 22 - (PKKP)	Çift panel Çift konvektör üst ve yan kapaklar			
Tıp 33- (DKEK)	Üç panel Üç konvektör üst ve yan kapaklar			

Panel radyatörler, kapalı mekân ısıtmasında önemli bir rol oynayan etkili bir ısıtma çözümüdür. Panel Radyatörler su sirkülasyon kanallarıyla ve yüksek konvektörlerin kombinasyonu şeklinde panellere kaynaklanmışlardır. Bütün panel radyatörler, ısıyıyla ısı transferine ve taşınımıyla ısı transferine izin verir (Aydar ve Ekmekçi, 2012).

Isıma (radyasyon) ile ısı transferi daha az olmasına karşın, radyatörler olarak adlandırılırsalar da ısı transferinin çoğu taşınımıyla gerçekleşir. Bir radyatörün etrafındaki hava akışı için sabit akışlı enerji denklemi, radyatörden iletilen ısı transfer hızının akışkanın, yani havanın akış hızına, havanın özgül ısı kapasitesine ve radyatör boyunca havanın sıcaklığındaki değişimine bağlı olduğunu belirtir. Bu, radyatörlerin ısıyı büyük ölçüde taşınım yoluyla yaydığını göstermektedir (Kibar, 2017).

Isı transferinin geri kalanı ise termal ısımadan kaynaklanır. Isıma, mutlak sıcaklığın 4. kuvveti ve ürün yüzeyinin yayma gücüne bağlıdır. Aynı sıcaklıkta, aynı dalga boyunda ve aynı gözlem koşulları altında, bir malzemenin yüzeyinden yayılan enerjinin, Emissivitesi 1 olan siyah bir gövdeden yayılan enerjiye oranı olarak tanımlanır. Emissivite, malzemenin yüzey özelliklerine bağlı olarak değişir ve bu, radyatörün termal ısımayla ne kadar ısı yaydığını belirler. Termal ısımayla yayılan enerji, yüzeyin yayma gücüne ve sıcaklığına göre farklılık gösterir, bu da radyatörlerin tasarımında önemli bir faktördür (Aydar vd., 2014).

Taşınm ısı transferinin oranının % 50 - % 90 arasında değiştii belirtilmektedir. Taşınmıla ısı transferi Çizelge 2.2' de gösterildiği gibi konvektör tipi bir radyatör kullanılarak artar.

Çizelge 2.2. Radyatör tiplerine göre ısı transfer oranları (Aydar vd., 2014)

Tip	Işıma (%)	Taşınm (%)
Tek panel	50	50
Çift panel	30	70
Üçlü panel	25	75
2-sütun	30	70
3-sütun	22	78
4-sütun	19	81
6-sütun	17	83
Konvektör / radyatör	15-10	85-90

Radyatörlerin ısı transferini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları radyatör ve çalışma koşullarına dayanmaktadır. Aydar vd. 'ye göre (2014);

- Radyatörlerin ısı transferi, duvardan mesafeleri arttırılarak ve zeminden yükseklikleri azaltılarak artırılabilir.
- Kanatların (konvektörlerin) panel radyatörlere tutturulması taşınm ısı transferini arttırır.
- Radyatörlerin farklı bağlantı şekilleri performansı etkiler.
- Radyatör ile duvar arasında yalıtımlı yansıtıcı malzeme kullanılması duvardan ısı kaybını % 70'e kadar engeller. Ancak bu, ısıtılmış duvar başka bir taşınm yüzeyi gibi davranacağından, radyatörden gelen ısı transferini düşürecektir.
- Radyatörde oluşan tortu oluşumu radyatörlerden gelen ısı verimi önemli ölçüde azaltacağı iyi bilinmektedir.
- Metalik boya kullanımı radyatör ısısının ısıma özelliğini %10'a kadar azaltabilir.

Bu çalışma çerçevesinde, gerçekleştirilecek konvektör sacının optimizasyon çalışmaları için aynı zamanda üretilebilirlik ve fonksiyonellik unsurları da dikkate alınarak birtakım değerlendirmeler yapılacaktır. Konvektör sacının inceltilmesi ve boyunun kısaltılması, üretilebilirlik açısından çeşitli zorluklar ortaya çıkarabilir. Örneğin, sacın inceltmesi, saca şekil verme operasyonlarını zorlaştırabilir ve presleme esnasında yırtılmaların sıklığını artırabilir. Ayrıca, inceltilen sac daha fazla gürültü üretebilir ve parçadaki radius ve sıvama ölçülerinin korunmasında zorluklar yaratabilir. Bunun yanı sıra üretilen daha ince konvektör sacları daha keskin bir yapıya ulaşır ve kaynak hattı için taşınırken daha fazla İSG önlemleri alınması gerekebilir. Konvektör boyunun kısaltılması ise punta kaynak sayısının azalması demektir bundan dolayı zaman içinde panel sacından kopma ve ayrılma riskini artırabilir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde panel radyatörlere ilişkin yapılan literatür araştırması sunulmaktadır.

Aydar vd. (2014) panel radyatörlerin ısı üretiminin HAD ile araştırılması ve alternatif tasarımların etkilerini incelemiştir. Suyun dikey kanallarda düzgün dağılabilmesi için panel kısmında modifikasyonlar gerçekleştirmiştir. Boyut ve dolayısıyla maliyeti azaltmak için, uygun kanat uzunluğu belirlemiştir. Üçgen profil kanat kullanılması durumunda, konveksiyon ile ısı transfer performansındaki % 9.95'lik azalma karşılığında, kanat boyutu ve dolayısıyla maliyet % 1.79 azalmıştır. Üçgen profilli kanat verimlerinden elde edilen sonuçlar, parabolik profilli kanat verimlerinden daha yüksek çıkmıştır. Kanat uzunluğunun 37 mm'den (test edilen radyatörün kanat uzunluğu) 36 mm'ye düşürmek, ısı transferinde % 0.1'lik artışa neden olmuştur. Isı transferindeki % 0.1'lik artış karşılığında, kanat boyutu ve dolayısıyla maliyet % 2.1 azalmıştır.

Çalışır vd. (2017) farklı bağlantı durumları için panel-konvektör-konvektör-panel (PKKP-22 Tip) radyatörler üzerinde ısı transfer miktarları irdelemiş ve laboratuvar ölçümleri ve HAD analizi kullanarak giriş / çıkış sıcaklıkları incelemiştir. Deneysel çalışmalar klimatize bir odada gerçekleştirilmiştir. Aynı koşullar bir HAD programıyla da analiz edilmiştir. HAD sonuçları deneysel ölçümlerle doğrulanmış ve sonuçların birebir örtüştüğü görülmüştür. Tüm giriş / çıkış sıcaklık aralıkları için en yüksek ısı transferi, üst-alt ve karşılıklı bağlantı pozisyonları için elde edilmiştir. Radyatörün üst kapağının radyatörün ısı transferi üzerinde olumsuz etkisi olduğu gibi, deneysel ve sayısal olarak da kanıtlanmıştır. Bu çalışmanın bulgularında, daha yüksek ısı transferi ve radyatörlerin optimum kullanımı ile yeni bir radyatörün tasarımı için önemli olduğu sonuçları elde edilmiştir.

Beck vd. (2004) birçok binada ısıtma için kullanılan panel radyatörlerin ısı transferinde, ısıtma ile ısı transferinin ne denli önemli olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada, bir çift radyatörün iç yüzeyleri arasına yerleştirilen bir ya da iki yüksek emissivite (yayıcı levha) tabakasının kullanılması ile ısı transferinin arttırılmasını amaçlamaktadır. Isı transfer

yüzey alanını arttırmak için kullanılan mevcut radyatörlerdeki konvektörlerin aksine, konvektörlerin, radyatörün imalat masraflarını arttırdığına ve tozlanmaya müsait bir durum ortaya koyduğu için ısı transferini olumsuz etkilediğini belirtmiştir.

Embaye vd. (2015) merkezi ısıtma sistemlerinde mevcut panel radyatörler, termostat kontrol cihazı ile sabit akış stratejisinde çalıştığını ve bu çalışma şeklinin enerji tüketimi açısından verimli olmadığını belirtmiştir; bu nedenle, panel radyatörün ısı transferini arttırmak için alternatif bir çalışma senaryosu gerekli olduğunu vurgulayarak, bu araştırmada hedef panel yüzey sıcaklığı korunurken, darbeli akış girişinin panel radyatörlerin enerji tüketimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Nümerik analiz sonuçları, aynı radyatörün yüzey sıcaklığı 50 °C'de korunurken, darbeli akışın kullanıldığı, panel radyatörlerin enerji tüketimini, sabit akışlı çalışma koşuluna kıyasla % 20'ye kadar azaltabildiğini göstermiştir. Bu tür sonuçlar, kullanıcı konforundan ödün vermeden binalardaki merkezi ısıtma sistemlerinin enerji tüketimini azaltmak için darbeli akış kullanma potansiyeline dikkat çekmektedir.

Diaz vd. (2014) radyatörlerin enerji performansını iyileştirmek için bir taş kaplama panelinin kullanımı analiz etmiştir. İmalatçıların ayrıca, radyatör kapatıldığında yayılan ısıнын tutulması sayesinde pratik bir kullanıma sahip olduklarını savunmalarına karşın, bu tip paneller normal olarak estetik amaçlar için tercih edilmektedir. Bu iddiayı doğrulamak için teorik-deneysel bir çalışma yapmıştır. Dört çift radyatörünün sıcaklıkları, HAD analizi kullanılarak simüle edilmiş, her bir çiftin biri ısıtma ve soğutma sırasında bir taş paneli ile kaplanmıştır. Bu sıcaklıklar, radyatörlerin ve taş kaplamalı panellerin yüzeyine yerleştirilen kızıl ötesi termografi ve termokupllar ile ölçülen sıcaklıklarla karşılaştırılmıştır. Hem deneysel hem de teorik yöntemler, soğutma sırasında taş panel sıcaklığının, radyatörün alüminyum yüzeyinin ilgili sıcaklığından biraz daha yüksek olduğunu doğrulamaktadır. Ancak, bu farkın giderek azalmaya doğru bir eğilim gösterdiği ve soğutma başladıktan sadece 50 dakika sonra 2°C'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir.

Kibar (2017) panel radyatörler arkasına konulan ışıınım yayma katsayıları farklı değerlerde olan malzemelerin ısııl verime etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde 3 cm cam yünü üzerine yapıştırılmış ışıınım yayma katsayısı düşük değerde (< 0,1) olan alüminyum folyo ile ışıınım yayma katsayısı yüksek değerde (> 0,9) olan siyah boya ile

boyanmış alüminyum folyo yüzeyleri kullanmıştır. Radyatör sıcaklığı 45 ve 55°C olarak alınmış ve yüzey ile radyatör arasında 6 cm aralık olacak şekilde deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneylerde ısı çiftleri kullanılarak radyatör ve yansıtıcı / yutucu yüzey üzerinde farklı yükseklik ve mesafelerdeki sıcaklıkları ölçmüştür. Yapılan deneyler sonucunda, yutucu yüzey kullanıldığında yutucu (mat siyah) yüzey sıcaklığının yansıtıcı (parlak) yüzeyden yaklaşık % 15 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında yansıtıcı yüzey kullanılması durumunda ise radyatör yüzeyine yakın bölgenin sıcaklığının yutucu yüzey kullanılarak elde edilen sıcaklığa göre yaklaşık % 7 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yılmaz (2017) 'e göre yenilenebilir olmayan enerjinin ekonomik kullanımı son yıllarda daha önemli hale gelmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalardan biri ısı yalıtımıdır. Isı yalıtımı, termal enerjinin verimli kullanımını artırma sürecidir. Panel radyatör, bina duvarına bitişiktir ve dış yüzeyden panel radyatörün duvara bakan yüzeyine doğrudan ısı kaybı meydana gelmektedir. Bu araştırma, panel radyatörün dış yüzeyindeki ısı kaybını en aza indirmek için yapılmıştır. İlk olarak, panel radyatörden gelen harici ısı kaybı yalıtılmamış radyatör ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, poliüretan dış yalıtım malzemesi ile kaplanan panel radyatör için ısı kaybı hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerle yapılan hesaplamalar sonucunda, izole panel radyatörün saniyede 122,18 joule enerji sağladığı belirlenmiştir. Bu sonuç, dış yüzey yalıtımlı panel radyatörün önemli enerji verimliliği sağladığını göstermektedir..

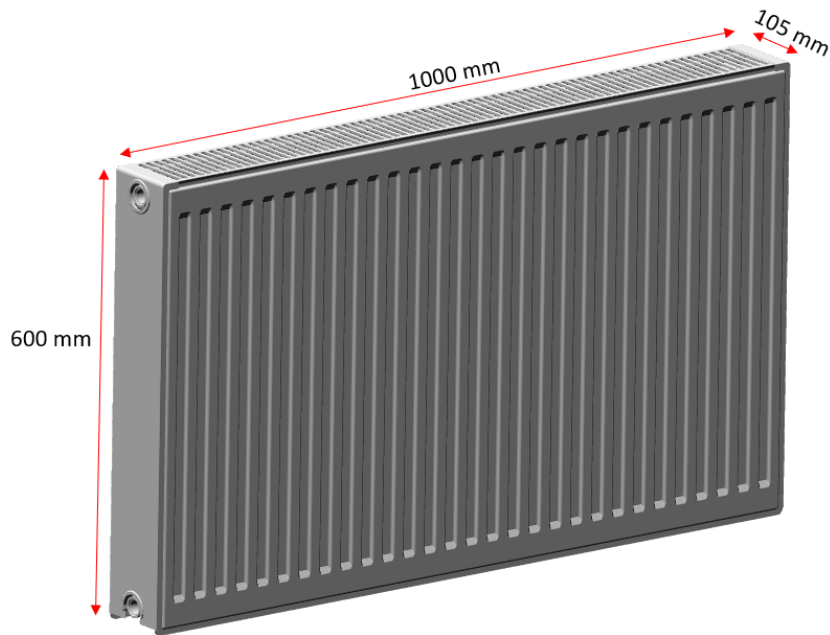
Akın (2007) TS EN 442'ye uygun olan bir çelik panel radyatörün ısı gücünü sonlu hacimler yöntemi ile sayısal olarak belirlemiştir. Üç boyutlu çözümleme, zorlanmış taşınım modeli yoluyla radyatörün tamamına uygulamıştır. Sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırmıştır. Isıl güçler, deneysel veriler ile uyumluluk göstermiştir. Ayrıca, radyatörün ısı gücünü arttırmak amacıyla konvektör tasarımında modifikasyonlar gerçekleştirmiştir. Bu bağlamda, sekiz adet konvektör tasarlamıştır. Radyatörün tekrar eden en küçük kısmını (modül) hesaplamalarda kullanmıştır. Isıl güç, modülün iç yüzeyinde sabit sıcaklıkta olması ve modülün içinde akış olması durumları için belirlemiştir. Tasarlanan 8 konvektörün ikisinde kayda değer ısı güç artırımını elde edilmiştir. Bu ikisi kaskad tasarım ve panel bölümü ve modülün konvektör bölümü arasında üç temas yüzeyi ile tasarım olduğu belirlenmiştir.

Ömeroğlu (2019) bir binanın ısıtma ihtiyacı yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılarak ısıtılan suyun mahal içerisine yerleştirilen radyatörlerde dolaştırılması ile çözümlenmekte olduğunu ve mühendislerin ısıtılacak mahaller için radyatör boyutlarını ve boru çaplarını projelendirirken radyatörlere yapılacak bağlantı şekilleri üzerine bir belirleme yapmamakta olduklarını belirtmiştir. Bu durumda sistemi oluşturan kişilerin tercihleri veya tecrübeleri ile rastgele bağlantılar uygulanmakta olduğuna vurgu yapmıştır. Bu nedenle bir mahal içerisine yerleştirilen bir radyatörün doğru olarak boyutlandırılması veya radyatöre doğru boru çapı ile suyun taşınması kadar suyun giriş ve çıkış yönünün de etkisi önemli olduğunu yaptığı çalışmada farklı boylarda modellenen panel radyatörler için 3 farklı bağlantı şeklinin etkisini hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metodu kullanarak incelemiştir. Çalışmada radyatör boyunun artması ile panel veriminin bağlantı şekillerine göre azaldığını ve bağlantı şekillerinin verim üzerindeki etkisini göstermiştir.

Geliş (2021) ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan panel radyatörlerin ikinci yasa verimliliğini etkileyen parametreleri araştırmıştır. Deneysel sistemde, 2 farklı yükseklikte ve 3 farklı genişlikte toplam 6 adet PK - 11 tipi panel radyatör kullanmıştır. Bu bağlamda, deneyler besleme suyu sıcaklığını 30 °C' den 60 °C' ye, 10 °C artışlarla ve debiyi 2,5 l/dk' dan 10 l/dk' ya, 2,5 l/dk artışlarla değiştirerek gerçekleştirmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar faktöriyel olarak analiz edilmiş ve giriş parametreleri (besleme suyu sıcaklığı, debi ve radyatör boyutları) ile çıkış parametreleri (toplam ısı transfer katsayısı ve entropi üretimi) arasında bir matematiksel model geliştirilmiştir. Böylelikle, uygulamalarda kullanılabilecek bir tasarım metodolojisinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Panel radyatöründen elde edilen toplam ısı transfer katsayısı ve entropi üretimi; radyatör boyutu, debi ve besleme sıcaklığı arttıkça artar; toplam ısı transfer katsayısının radyatör boyutu ve sıcaklık artışı ile azaldığı ve debi artışı ile arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, besleme suyu sıcaklığı ve radyatör boyutu ile toplam ısı transfer katsayısı arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiştir. Ayrıca, besleme suyu sıcaklığının toplam ısı transfer katsayısı üzerinde en önemli parametre olduğu gözlemlenmiştir. Ana sonuç, en verimli enerji kullanımının, ısıtma sistemlerinin düşük sıcaklıklarda yüksek debilerle çalıştırılmasıyla sağlandığı sonucuna varılmıştır. Özetle, bu enerji kullanımının daha verimli hale getirilmesi, maliyetlerin ve çevresel etkinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

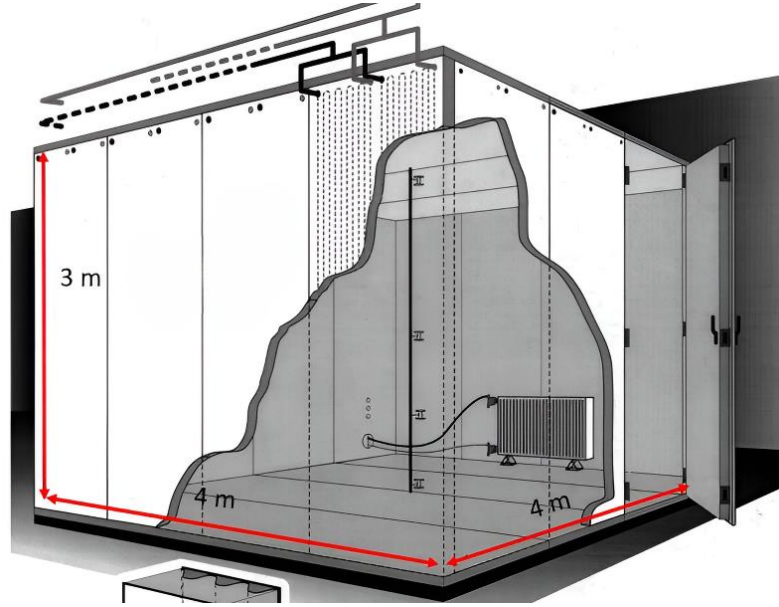
Bu araştırmada piyasada yaygın olarak tercih edilen Şekil 4.1’te verilen 600 mm yükseklik , 1000 mm uzunluk ve 105 mm genişliğe sahip 22-PKKP (Panel-Konvektör-Konvektör-Panel) tipi radyatör modeli kullanılmıştır. İlk olarak, EN 442 standartlarına göre gerçekleştirilen deneysel çalışmada, 2 modelin ısı güçleri ölçülmüştür. Bu modellerden bir tanesinin konvektör sac kalınlığı 0,32 mm iken diğer modelin 0,28 mm’dir. Konvektör kalınlığı 0,32 mm olan model, “Model a” olarak isimlendirilirken, konvektör kalınlığı 0,28 mm olan model, “Model N” olarak adlandırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, sadece konvektör sac kalınlığının panel radyatör ısı performansına etkisi incelenmiştir. Sonrasında, Model a ve Model N için EN 442 ‘de belirtilen sınır koşulları temel alınarak 3 boyutlu nümerik çalışma yürütülmüştür ve deneysel çalışmayla karşılaştırılarak nümerik çalışmada kullanılan matematik model ve mesh kalitesinin güvenilirliği doğrulanmıştır. Tutarlı sonuçların alındığı görülen sayısal model için kabul edilen sınır şartları ve analizde kullanılan mesh korunarak araştırma alanı genişletilmiştir. Model a ve Model N’den farklı olan konvektör kalınlıkları ve yükseklikleri değiştirilerek elde edilen 5 farklı model için daha nümerik çalışmalar yapılarak panel radyatör ısı performansına etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.1. Deneysel ve nümerik çalışmada referans alınan modelin ölçüleri (DemirDöküm, 2014)

4.1. Deneysel Çalışma

Yapılan deneysel çalışma, 22-PKKP (panel-konvektör-konvektör-panel) tipi radyatörlerde gerçekleştirilmiş olup, modellerin yüksekliği 600 mm , uzunluğu 1000 mm ve genişliği 105 mm olarak belirlenmiştir. Her iki modelde de kullanılan konvektör tasarımları ve yükseklikleri aynı olup konvektör yükseklikleri 560 mm'dir. İlk seçilen radyatörde konvektör sac kalınlığı 0,32 mm iken, seçilen ikinci radyatörde bu kalınlık 0,28 mm'ye düşürülmüştür. Bu iki farklı konvektör kalınlığına sahip model için, ayrı ayrı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar yapılarak radyatörlerin ısı performansları incelenmiştir. Bu deneysel çalışmaların sonuçları, panel radyatörlerin konvektör tasarımının optimize edilmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, güvenilirlik açısından yapılan deneysel çalışmalar, teorik modellerin gerçek dünya uygulamalarına olan uygunluğunu doğrulamak adına önemli bir adım oluşturmuştur. Konvektör sac kalınlığının inceltilmesinin panel radyatör ısı verimliliğine etkisini incelemek amacıyla, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Anadolu Yakası Enerji Malzeme ve Kalibrasyon Laboratuvarı Müdürlüğü'nde, her iki konvektör sac kalınlığına sahip radyatör, ısı güç testine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.2. Deneysel testin yapıldığı oda kesiti (HLK Stuttgart GmbH)

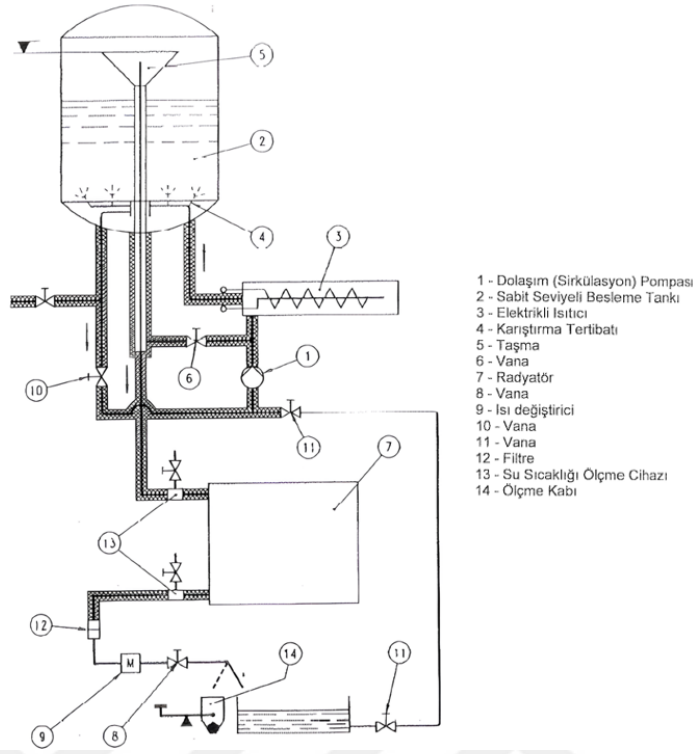
Test ürünü, Şekil 4.2’de verilen 4m x 4m x 3m boyutlarındaki özel bir test odasına yerleştirilmiştir. TS EN 442-2 Panel radyatör ürün standartlarda belirtildiği gibi panel radyatör, oda içerisine arka duvara olan mesafesi 50 mm yerden yüksekliği ise 110 mm olarak konumlandırılmıştır . Test odası, iklimatik bir kabin özelliğine sahiptir, dış ortamdan bağımsızdır ve özel ısı şartları sürdürmek için test kabini, su ile soğutulan sandviç panellerle inşa edilmiştir. Kabinin iç yüzeyi düz çelik levhalardan yapılmış ve pürüzsüzdür. Sandviç paneller su ile soğutulan bir çelik panel ile dış çelik levha bileşenlerden oluşmaktadır. Levhalar arasında ısı yalıtım tabakası bulunmaktadır. Su ile soğutulan çelik paneller birbirine kaynaklanmış 2 mm kalınlığında düz bir levha ve yaklaşık 150 mm² kesite sahip su yolları oluşturmak için dalgalı şekle sahip 1 mm kalınlığında bir levha olmak üzere iki levhadan oluşur. Yalıtım köpüğü tabakasının kalınlığı 80 mm’dir. Her bir duvarın, zeminin ve tavanın minimum toplam termal direnci 2,5 m²K/W olarak belirlenmiştir. Test edilen cihazın arkasındaki duvar, aynı sandviç panellerden yapılmış olup soğutma sisteminden ayrılmıştır (çelik paneller boştur). Test kabininin iç yüzeyleri, en az 0,9 emisyonu sahip mat bir boya ile kaplıdır. Paneller, termal köprüler olmadan, test kabininin yapısının kendini taşıyan bir yapıda olması için monte edilmiştir. Test kabininin dışıyla su ve elektrik bağlantıları sağlayan delikler, hava sızdırmazlığı sağlayan cihazlarla donatılmıştır. Oda sıcaklığı sabit olarak 20 °C olarak ayarlanmış ve panelin olduğu arka duvarda su ile sağlanan ısı aktarımı devre dışı bırakılmıştır. Test kabini yapısı, kontrolsüz hava sızıntısını önleyecek kadar sıkı bir yapıdadır.

Radyatörlerin ısı güçleri, standartta belirtilen ağırlık metoduna göre belirlenmiştir. Ağırlık metoduna uygun deneysel düzenek, Şekil 4.3.’te gösterilmiştir. Ölçümlerin, kararlı hal şartlarında alınabilmesi için referans nokta sıcaklıkları kontrol edilmiştir. Radyatörlerin giriş ve çıkışına ek sıcaklık ölçen cihazlar bağlanmış ve ölçümlerin güvenilirliği sağlanmıştır. Ev ortamındaki sıcak su merkezi ısıtma sistemi kullanılmıştır. Deney düzeneğinin genel yapısı, Şekil 4.4’te gösterilen şemada ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır. Şekil 4.5’te dış görseli verilen test odasına sadece panel radyatör yerleştirilmiş ve diğer ısı üreten cihazlar dışarıda konumlandırılmıştır, bu da testin kontrolünü ve güvenilirliğini artırmıştır.



Şekil 4.3.EN 442’ye uygun hazırlanmış deneysel test düzeneği görseli

Ölçüm noktası $\Delta T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır. Su giriş bağlantısı radyatörün üst giriş ağzından ve su dönüş bağlantısı aynı taraftaki alt çıkış ağzından olacak şekilde standarda bağlı kalınarak yapılmıştır. Isıtma cihazının ısıtma gücü, Denklem (4.1)'de gösterildiği gibi, ağırlık metodu kullanılarak belirlenmektedir. Bu yöntemde, ısıtma cihazından geçen su debisi ve suyun giriş-çıkış bağlantı noktaları arasındaki entalpi farkı ölçülerek ısıtma gücü hesaplanır. Büyük bir kısmı elektrikli ısıtıcı ile karıştırma vanasında dolaştırılan su, dolaşım pompası aracılığıyla taşma ağzına yönlendirilmiştir. Deneyde taşma ağzından gelerek, test edilen radyatörden geçtikten sonra ölçme kabına akan su kullanılmıştır. Su debisi, diğer cihazlarla ölçülebilir olup, ikinci bir debimetre ile de ölçümler alınarak test prosedürü uygulanmıştır.



Şekil 4.4. Ağırlık metodu test düzeneği şeması
 (TS EN 442-2, 2015)



Şekil 4.5. Klimatik kabin dış görünüşü

Isıl güç (Φ_{me}), su debisi (q_m) ve ölçülen " t_1 ", " t_2 " sıcaklıkları kullanılarak hesaplanır. Bu sıcaklıklar 120 kPa'lık referans su basıncında uluslararası buhar çizelgeleriyle belirlendiği gibi özgül entalpileri hesaplamak için kullanılır.

$$\Phi_{me} = q_m (h_1 - h_2) \quad (4.1)$$

Su debisi Denklem (4.2)'deki gibi ölçme kabında toplanan su (m) ve buna karşılık gelen toplama süresi (τ) kullanılarak hesaplanır (TS EN 442-2, 2015).

$$q_m = m / \tau \quad (4.2)$$

Aşırı sıcaklık Denklem (4.3)'te ifade edildiği gibi hesaplanmıştır;

$$\Delta T = (T_1 + T_2) / 2 - T_{\infty} \quad (4.3)$$

Burada T_1 ($^{\circ}\text{C}$) ve T_2 ($^{\circ}\text{C}$) sırasıyla giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır. T_{∞} ortam sıcaklığıdır. Deneyler 50°C değeri için söz konusu standartta tanımlanan aşırı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Burada EN 442 standardında geçen bazı tanımlamaları vermek gerekirse;

- Ortalama su sıcaklığı : Giriş ve çıkış su sıcaklığının aritmetik ortalamasıdır.
- Ortam sıcaklığı : Test kabininin merkezindeki dikey çizgide, yer seviyesinden 0,75 m yukarıda ölçülen hava sıcaklığıdır.
- Aşırı sıcaklık : Ortalama su sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farka eşittir. Standart aşırı sıcaklık standart koşullarda belirlenen 50°C 'lik farka eşittir.
- 75°C giriş su sıcaklığı, 65°C çıkış su sıcaklığı ve 20°C ortam sıcaklığında 50°C 'lik aşırı sıcaklık elde edilmiş olur.

4.2. Matematik Modelleme

Panel radyatörler, genellikle doğal konveksiyon yoluyla ısı transferini gerçekleştiren ısıtma sistemleridir. Radyatörler genellikle pencerelerin önüne yerleştirilir. Bu yerleşim stratejisinin amacı, infiltrasyon kaynaklı ısı kaybını azaltmaktır. Pencerenin altından giren nispeten daha soğuk hava, radyatörün dış yüzeyi ile temas ettiğinde sıcaklığı artar ve yoğunluğu azalır. Isınan hava yukarı doğru hareket ederken, yerine soğuk hava gelir ve böylece sirkülasyon sağlanır. Bu nedenle, akışkanın (genellikle hava) hareketi ve momentumu ile ilgili denklemleri çözerken, ısı transferini modellemek için genellikle "Boussinesq yaklaşımı" terimi kullanılır. Bu bağlamda kullanılan denklemler, üç boyutludur. Aynı zamanda, eşlenik ısı transferi ve laminar sıkıştırılamayan akış için çözülmüş denklemleri içerir. Bu denklemler, akışkanın hareketi ve sıcaklığındaki değişiklikleri ifade eder. Ayrıca, ısıma ile gerçekleşen ısı transferi de bu denklemler içinde hesaba katılmıştır. Özetle, bu nümerik analizlerde kullanılan denklemler, panel radyatörlerdeki hava akışını, ısı transferini ve ısıma etkileşimini açıklamak için matematiksel bir temel sağlar.

Süreklilik denklemi (Kütle korunumu):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.4)$$

Süreklilik denklemi, akışkanlar dinamiği ve termodinamik gibi fiziksel bilimlerde sıkça kullanılan temel bir denklem olup, bir akışkanın (sıvı veya gaz) belirli bir hacim içinde korunduğunu ifade eder. Denklem (4.4), kütle korunumu prensibine dayanır ve akışkanın yoğunluk, hız ve hacimsel akış hızı gibi özelliklerinin zamana ve mekâna bağlı olarak nasıl değiştiğini tanımlar (Munson vd., 2012). Genel formda süreklilik denklemi, Denklem (4.5)'teki gibi ifade edilir (Versteeg ve Malalasekera, 2007) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) \quad (4.5)$$

Bu denklemde:

- ρ : Akışkanın yoğunluğu (birim hacim başına kütle)
- t : Zaman
- v : Akışkanın hız vektörü
- $\nabla \cdot (\rho \mathbf{V})$: Kütle akısının diverjansı olarak yer almaktadır.

Süreklilik denkleminin çeşitli uygulamaları ve özel durumları vardır. Örneğin, sıkıştırılamaz bir akışkan için yoğunluk sabit ($\rho = \text{sabit}$) kabul edilirse, süreklilik denklemi, Denklem (4.6)'daki gibi daha basit bir forma indirgenir:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (4.6)$$

Bu durumda denklem, akışkanın hız vektörünün diverjansının sıfır olduğunu belirtir, yani akışkanın hacimsel akış hızı her noktada korunur. Bir boru veya kanal gibi kontrol hacmi uygulamalarında ise süreklilik denklemi, Denklem (4.7)'de gösterildiği şekilde ifade edilebilir:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4.7)$$

Burada:

- A_1 ve A_2 : Borunun kesit alanları
- V_1 ve V_2 :Akışkanın hızları

Bu denklem, akışkanın bir borunun dar bir kısmından geçerken hızının artacağını veya geniş bir kısmından geçerken hızının azalacağını gösterir. Yani, akışkanın birim zamandaki hacimsel akış hızı (debi) sabit kalır.

Navier-Stokes Denklemleri / Momentum Korunumu:

Navier-Stokes denklemleri, akışkanların hareketini tanımlayan temel denklemler arasında yer alır. Üç boyutlu ve zamana bağlı formu Denklem (4.8), (4.9) ve (4.10)'daki

gibidir (Versteeg ve Malalasekera, 2007). Bu denklemler, akışkanın momentumunun korunumu ve viskoz kuvvetlerin etkisini ifade eder. Ayrıca, Denklem (4.10)'da sıcaklık farkının etkisini gösteren bir termal kuvvette bulunmaktadır (Çengel ve Cimbala, 2014).

x yönündeki lineer momentum denklemi:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (4.8)$$

y yönündeki lineer momentum denklemi:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (4.9)$$

z yönündeki lineer momentum denklemi:

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = g\beta(T - T_\infty) + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (4.10)$$

Bu denklemlerde:

- u, v, w: x, y, z yönlerindeki hız bileşenleri,
- ρ_a : Akışkanın yoğunluğu,
- p: Basınç,
- ν Kinematik viskozite
- g: Yerçekimi ivmesi,
- β : Termal genleşme katsayısı,
- T: Akışkanın sıcaklığı,
- T_∞ : Ortam sıcaklığı olarak ifade edilir.

Konveksiyon Terimleri, sırasıyla Denklem (4.8), (4.9) ve (4.10)'daki eşitliğin sol kısmındaki ifadelerdir. Bu terimler, hız bileşenlerinin diğer bileşenler üzerindeki taşınımını ifade eder.

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}, u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}, u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}$$

Basınç Gradyanı Kuvveti ise, sırasıyla Denklem (4.8) ve (4.9)'daki eşitliğin sağ kısmındaki ilk terimlerdir. Bu terimler, basınç gradyanının akışkan üzerindeki etkisini gösterir.

$$-\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial x}, -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial y}$$

Viskozite Terimleri , sırasıyla Denklem (4.8), (4.9) ve (4.10)'daki eşitliğin sağ kısmındaki ikinci terimlerdir;

$$v \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right], v \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right], v \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right]$$

Bu terimler, viskoz kuvvetlerin akışkan hareketine etkisini gösterir. Viskoz kuvvet, akışkanlar mekaniğinde, akışkanın molekülleri arasındaki iç sürtünmeden kaynaklanan kuvvettir. Viskozite, akışkanın bu iç sürtünmeye karşı gösterdiği dirençtir. Bir akışkanın viskozitesi, onun akışa karşı gösterdiği dirençle doğrudan ilişkilidir; viskoz kuvvet ise bu direncin sonucu olarak ortaya çıkan kuvvetlerdir. Denklem (4.10)'daki eşitliğin sağ kısmındaki 3. Terim ise, sıcaklık farkının oluşturduğu termal kuvveti ifade eder ve genellikle doğal taşınım problemlerinde kullanılır.

$$g\beta(T - T_{\infty})$$

Bu denklemler, belirli başlangıç ve sınır koşulları ile birlikte çözüldüğünde, akışkanın hız, basınç ve sıcaklık dağılımları bulunabilir. Bu denklemler oldukça karmaşık ve çözümü genellikle sayısal yöntemler gerektirir.

Enerji Korunumu denklemi:

Genel formda enerji denklemi şu şekildedir (Versteeg ve Malalasekera, 2007):

$$\rho c_v \frac{DT}{Dt} = \rho c_v \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V}(\nabla T) \right] = \nabla(k \nabla T) - \nabla \mathbf{q}_{\text{rad}}'' \quad (4.11)$$

Denklem (4.11)'deki eşitliğin sol tarafındaki terim, akışkanın belirli bir hacmindeki enerji değişimini ifade eder. Bu enerji, sıcaklık değişimi ve akışkanın hareketiyle birlikte taşınan enerji olarak iki bileşenden oluşur.

$$\rho c_v \frac{DT}{Dt}$$

- ρ : Akışkanın yoğunluğu,
- c_v : Sabit hacimde özgül ısı kapasitesi,
- DT / Dt : Toplam sıcaklık değişim hızı terimidir.

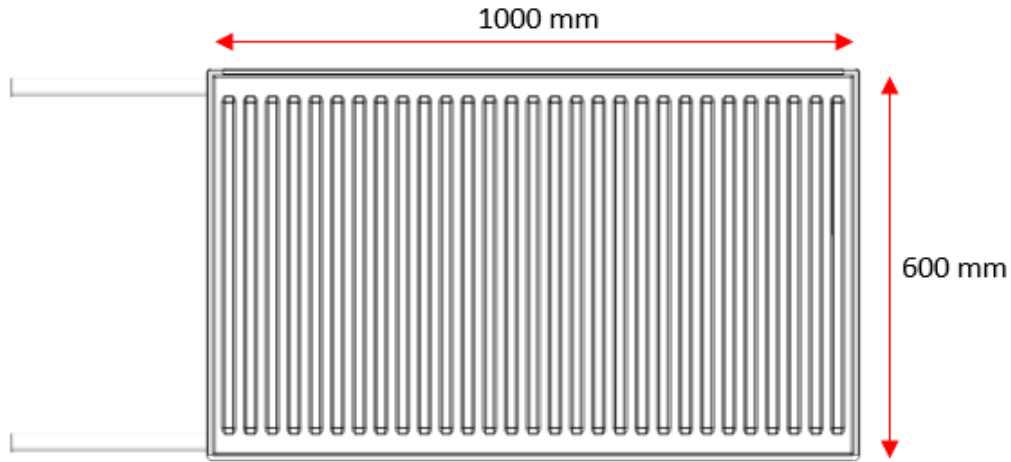
Denklem (4.11)'deki eşitliğin sağ tarafındaki terim, ısının iletim ve ışıma yoluyla yayılmasını ve dış kaynaklardan gelen enerji girişini veya çıkışını ifade eder. Bu denklem, genellikle ısı transferi problemlerinin çözümünde kullanılır ve özellikle mühendislikte ısı değiştiriciler, akışkanlar mekaniği, kimyasal reaksiyonlar gibi birçok alanda kritik öneme sahiptir (Versteeg ve Malalasekera, 2007).

$$\nabla(k \nabla T) - \nabla \mathbf{q}_{\text{rad}}''$$

- $\nabla \cdot (k \nabla T)$: Isı iletimi terimi,
- k : Isı iletim terimi ,
- ∇T : Sıcaklık gradyanı,
- $\nabla \cdot \mathbf{q}''_{\text{rad}}$: Işıma ısı transferi terimidir.

4.3. Nümerik Yaklaşım

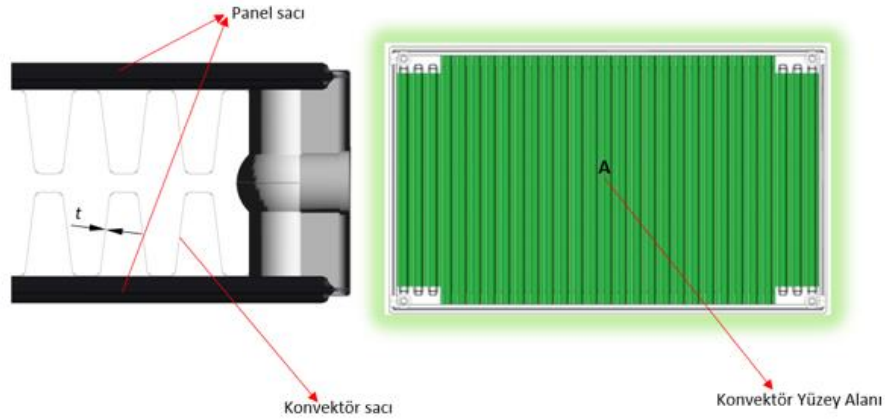
Bu çalışmada, deneysel çalışmanın yanı sıra nümerik çalışmalar da yürütülmüştür. Nümerik çalışmanın ilk aşamasında, konvektör sac kalınlığının 0,32 mm'den 0,28 mm'ye düşürülmesinin panel radyatörlerin ısı verimliliği üzerindeki etkisi, 3 boyutlu nümerik bir yaklaşım kullanarak Ansys Fluent 2020 R₁ programı ile incelenmiştir. Ansys Fluent 2020 R₁ programı, ısı transfer, akışkan mekaniği ve termal analiz konularında gelişmiş sayısal analiz yetenekleri sunmaktadır. Modellemeler ve sayısal çözümler, PKKP (panel-konvektör-konvektör-panel) tipi deneysel çalışmalarda kullanılan model esas alınarak gerçekleştirilmiştir, bu modelin boyutları Şekil 4.6'da verilmiştir. Analizlerde kullanılan radyatör modelinin yüksekliği 600 mm ,uzunluğu, 1000 mm ve genişliği 105 mm olarak belirlenmiştir. Yapılan ilk nümerik çözümün amacı, deneysel çalışmalarda elde edilen verilerle karşılaştırma yapmak ve konvektör kalınlığının etkisini görmek olduğu için konvektör tasarımı ve yüksekliği aynı kalacak şekilde, yüksekliği 560 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.6. Test numunesi ve boyutları (DemirDöküm, 2014)

Konvektör sac kalınlığı 0,32 mm olan model, “Model-a” olarak adlandırılırken, bu kalınlığın 0,32 mm'den 0,28 mm'ye düşürülmesiyle elde edilen panel radyatör modeli "Model-N" olarak adlandırılmıştır. İlk nümerik analiz sonuçları, deneysel çalışma verileriyle karşılaştırılarak, nümerik çözümün ve kabul edilen sınır koşullarının tutarlılığı doğrulanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, nümerik çalışmanın kapsamı Çizelge 4.1’de gösterildiği şekilde genişletilmiştir. Burada, Model-a'daki konvektör sacının kalınlığı ve yüksekliği değiştirilerek 5 farklı konvektör tasarımıyla 5 farklı model oluşturulmuştur. Maliyet ve zamandan tasarruf etmek amacıyla, bu modeller için sadece nümerik çözümler yürütülmüş ve sınır koşulları aynı şekilde uygulanarak her bir model için ayrı ayrı analizler yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Konvektör sac kalınlık ve konvektör yüzey alanı araştırma aralıkları

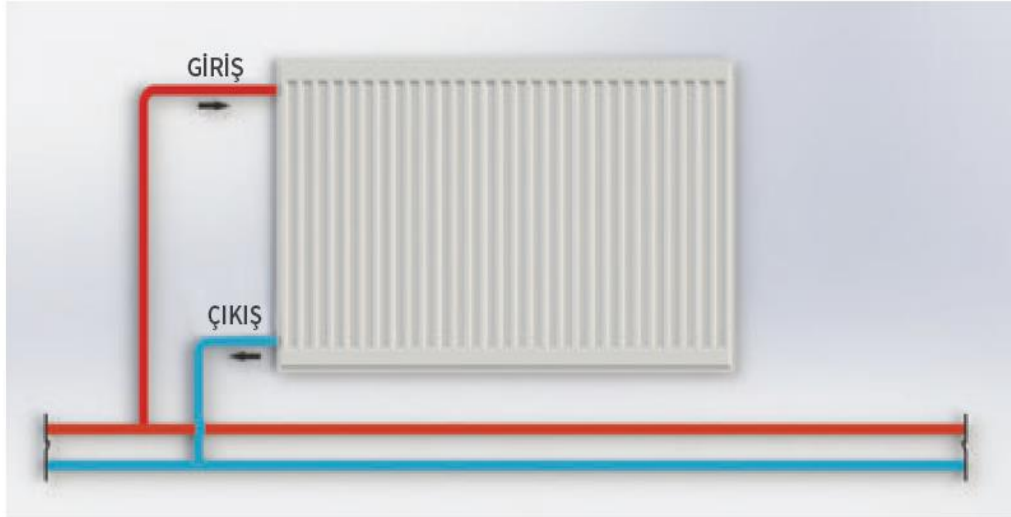


Model	Konvektör Kalınlığı (mm)	Konvektör Yüzey Alanı (m ²)
Model a	0,32	3,006
Model N	0,28	3,005
Model b (Cut design)	0,25	3,004
Model c (Cut design)	0,32	2,453
Model d	0,32	2,545
Model e	0,25	2,544
Model f (Cut design)	0,25	2,452

1

2

Nümerik çalışmalarda kullanılan sınır koşullara bakıldığında , 4m x 4m x 3m ölçülerine sahip oda içerisinde yerleştirilen 600 mm x 1000 mm boyutlarındaki panel radyatörlerin konvektör sac kalınlıklarının ve yüksekliklerinin ısı verimliliğe olan etkisi analiz edilmiştir (TS EN 442-2, 2015). Şekil 4.7’de görüldüğü üzere panel radyatöre su, sol üst taraftan girip sol alt kısmından çıkmaktadır. Oda içerisindeki hava sıcaklığı standartta belirtildiği gibi 293 K olarak kabul edilmiştir. Odanın tüm duvarları 293 K tanımlanırken, sadece panelin yerleştirildiği arka duvarın yalıtımlı olduğu varsayılmıştır. Panel radyatör için su giriş sıcaklığı 348 K, su çıkış sıcaklığını 338 K alınmış ve bu farkı yakalayabilmek için su giriş debisi 0,02 kg/s, su giriş basıncı 1.5 bar olarak belirlenmiştir. Suyun, havanın ve çeliğin termofiziksel özellikleri Çizelge 4.2’de belirtildiği gibi alınmıştır.

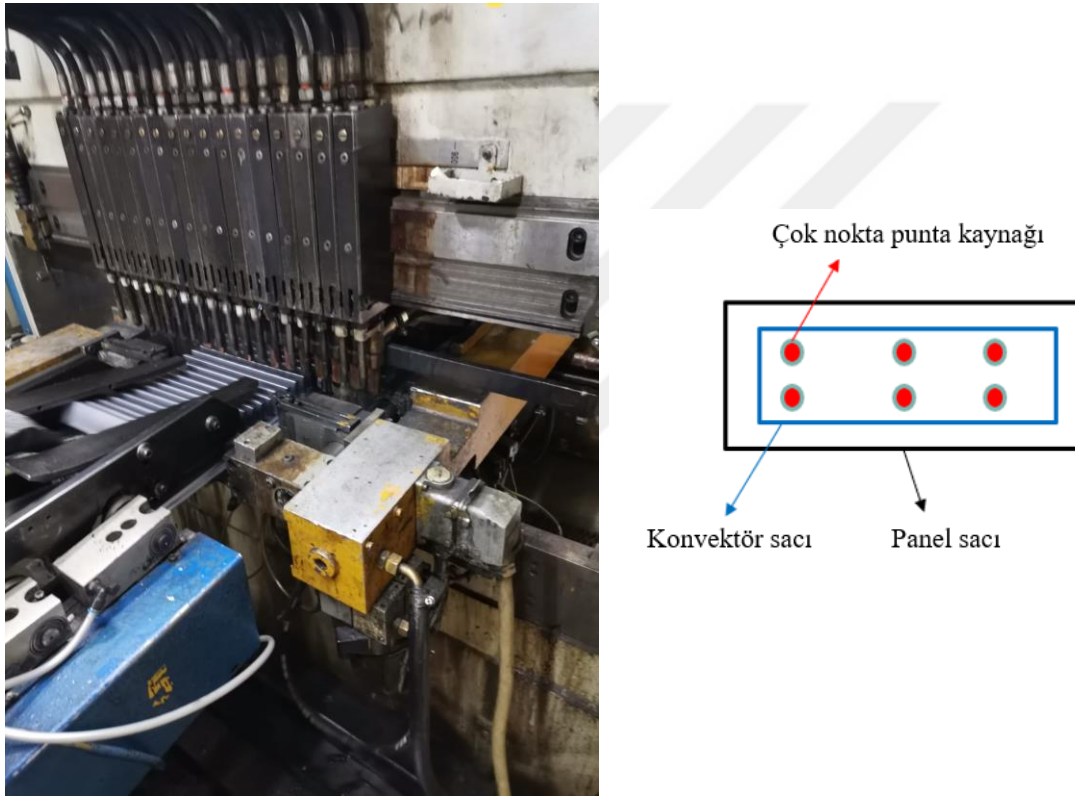


Şekil 4.7. PKKP 600 /1000 mm test numunesinin su giriş çıkış bağlantısı (Copa, 2019)

Çizelge 4.2. Suyun, çeliğin ve havanın termofiziksel özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (Kg /m ³)	Isıl İletkenlik (W/m. K)	Özgül Isı (J/Kg. K)	Dinamik Viskozite (Pa. S)
Su	974,86	0,6	4193,1	0,00033743
Çelik	7850	19,9	450	-
Hava	İdeal gaz	0,0242	1006,43	1,81x10 ⁻⁵

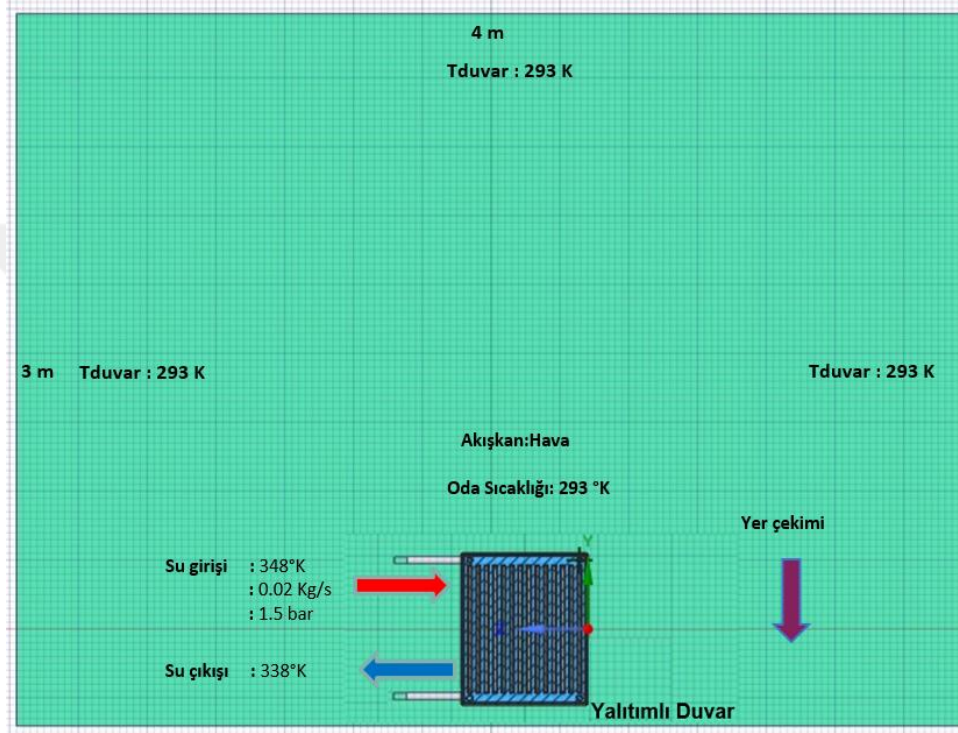
Panel radyatörün oda içersine olan konumlandırılması, standartlara uygun olarak belirlenmiş ve arka duvara olan mesafesi 50 mm, yerden yüksekliği ise 110 mm olarak düzenlenmiştir. Gerçekçi ve düşük hata payına sahip sayısal çözümler elde etmek amacıyla panel radyatörün üretim süreci göz önünde bulundurulmuştur. Preslenen panel ve konvektör saçları, Şekil 4.8’de görüldüğü gibi çok noktalı punto kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu birleştirme yöntemi, sayısal çözümlerin gerçek üretim prosesine uygunluğunu artırmak amacıyla dikkate alınmıştır.



Şekil 4.8. Panel ve konvektör sacının punta kaynak ile bağlantı şekli
(DemirDöküm, 2014)

Üretim sürecine uygunluğu sağlamak için, puntalı kaynak yönteminin modellenmesi ve sayısal çözümlerin bu gerçeklikle uyumlu olması gözetilmiştir. Konvektörlerin panellere %100 temas ettiği durumu, sayısal çözümün hata payı oranını artıracak göz önünde bulundurularak, bu durumu daha iyi anlamak ve farkı ortaya koymak amacıyla puntalı ve puntasız (%100 temas ettiği varsayılan) modeller arasında sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Puntalı modelde, mesh (ağ) üzerinden belirli noktalarda “weld” (kaynak) noktaları tanımlanmıştır. Bu, konvektörlerin panellere belirli noktalardan punta kaynak ile

bağlandığını simüle eder. Diğer modelde ise, bu noktalar “full contact” (tam temas) olarak seçilmiş, yani konvektörlerin panellere her noktada %100 temas ettiği varsayılmıştır. Deneysel çalışmadaki sınır koşulları nümerik çalışmaya da uygulanmış Şekil 4.9’da verilmiştir. Panel radyatöre su giriş çıkış bağlantı borularının yalıtımlı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.9. Oda içerisine konulmuş radyatörün nümerik analiz sınır koşulları

Bu nedenle, hesaplama alanındaki tek ısı kaynağı panel radyatörün kendisi olarak alınmıştır. Ayrıca radyatörün monte edildiği odanın duvarları negatif z yönünde $9,81 \text{ m/s}^2$ 'lik bir yer çekimi ivmesi uygulanmıştır. Oda duvarlarının ısıya yayma (emissivity) değerleri 0,9 olarak kabul edilmiştir. Radyatörden oda duvarlarına ısıma yolu ile ısı transferini dikkate almak için HAD kodunda Discrete Ordinates (DO) ısıma modeli uygulanmıştır. Problemin çözümü esnasında, akış, türbülans, enerji ve ısıma denklemleri kullanılmıştır. Yerçekimi etkisi altında steady state olarak gerçekleştirilen analizlerde havanın sıcaklıkla yoğunluk değişimi için ideal gaz şartı kabulü yapılmıştır. Çözüm metodu, Scheme için coupled, Pressure için Body Force Weighted, Density-Momentum-Energy için Second Order Upwind olarak ayarlanmıştır. Yakınsama kriteri 10^{-5} olarak belirlenmiştir.

Panel boru içindeki akışın türbülanslı olup olmadığını anlamak için verilen Reynolds sayısı Denklem (4.12) ' deki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır

$$Re = 4q_{me}/(\mu\pi D_i) \quad (4.12)$$

Burada, q_{me} (kg/s) suyun kütle akış hızıdır, μ (Pa. s) suyun dinamik viskozitesidir ve D_i (m) su giriş kanalının çapıdır. Su kanallarında türbülanslı akış varsayımını doğrulayan Re sayısı değerleri >2300 olarak elde edilmiştir. 50 °C (75/65 °C) aşırı sıcaklık için sayısal analizler yapılmıştır.

Oda için Viscous model Laminar ,radyatör için Viscous model olarak SST k-omega (2 eq) ve buna ek olarak, SST k-omega modelinin geniş bir uygulama yelpazesinde güvenilir ve doğru sonuçlar vermesini , özellikle karmaşık akış durumlarının daha iyi anlaşılmasına ve modellenmesine yardımcı olan ek özellikler kullanılmıştır. Bunlar; Low-Re correction, Compressibility effect, Curvature Correction ve production Limiter özellikleridir. SST (Shear Stress Transport) k-omega türbülans modeli, özellikle mühendislik ve akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan bir türbülans modeli olup, k-omega ve k-epsilon türbülans modellerinin avantajlarını birleştiren bir yaklaşımdır.

4.4. Meshten Bağımsızlık Çalışması

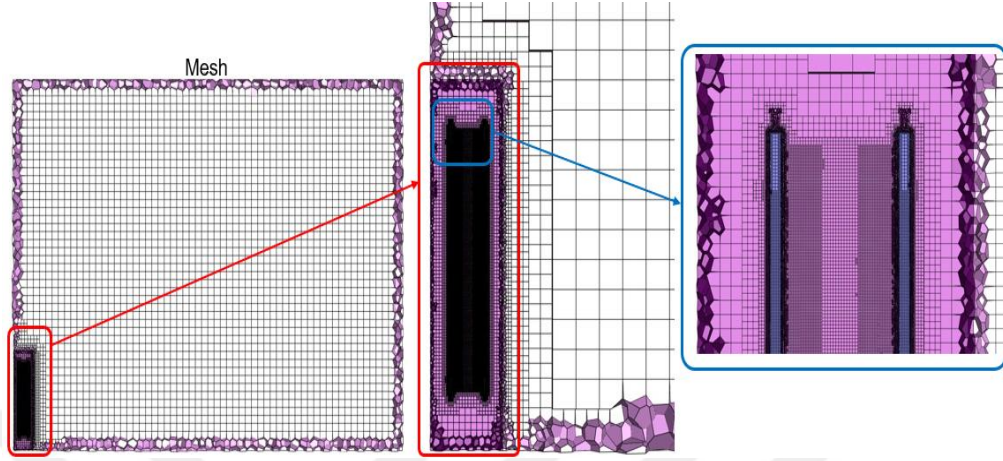
ANSYS Fluent programı içerisinde yer alan watertight geometry modulu kullanılarak gerçekleştirilen mesh oluşturma prosesinde Şekil 4.10’ da gösterilen mesh yapısı oluşturulurken polly hexcore elemanlar kullanılmıştır. Genel olarak, watertight geometry modülü ANSYS Fluent ‘in geometrik modelleme işlemlerini daha güvenilir hale getirir ve daha iyi sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. Bu modül, özellikle karmaşık ve detaylı geometrilerle çalışan HAD ve benzeri analizler için kritik öneme sahiptir. Kullanılan sınır tabaka denklemleri için Çizelge 4.3’te belirtildiği gibi y^+ değerleri 1’e yakın olacak şekilde su temas yüzeylerine katmanlar tanımlanmıştır. Isı transferi yüzey alanlarında daha sık mesh oluşturulmuş olup oda çeperlerine doğru eleman boyutu artırılmıştır.

Çizelge 4.3.Hücre Sayısına Göre y^+ Değerleri ve Mesh Özellikleri

No	Sınır tabaka			Hücre sayısı	y^+ bottom	y^+ top
	İlk dizi mevcut/ özel form(mm)	Mesh sıra sayısı	Büyüme oranı mevcut / özel form			
1	0.0000001 mm	3000	1,05	500.000	4,67	2,84
2	0.0000001 mm	3000	1,05	1.000.000	2,23	1,78
3	0.0000001 mm	3000	1,05	1.500.000	1,02	1,01
4	0.0000001 mm	3000	1,05	2.000.000	0,95	0,84

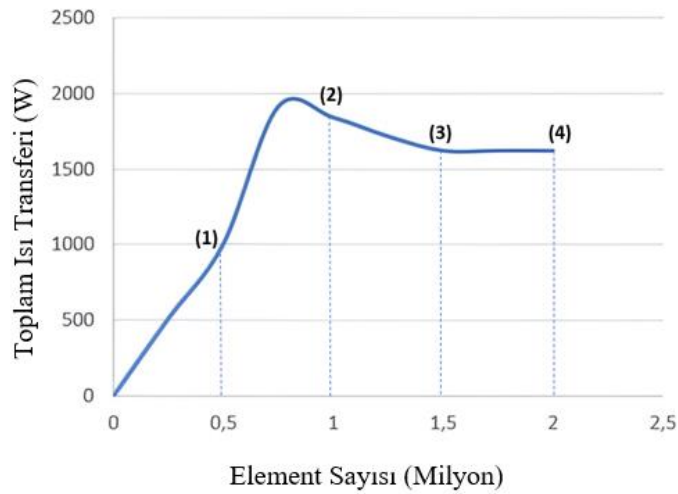
Navier-Stokes denklemleri çözülen bölümlere hexa elemanlar tanımlanmış olup sınır tabakalara yakın bölgelerde Pollyhedral elemanlar kullanılmıştır. Sınır tabaka hesaplamalarında yüksek doğruluk sağlamak için önemlidir. y^+ değeri, sınır tabakasının içinde bulunduğu akış koşullarına göre seçilir. y^+ değeri 1, tipik olarak tamamen türbülanslı akış koşullarında sınır tabakasının yer aldığını gösterir. Bu, yüzey sürtünmesi ve ısı transferi hesaplamaları için uygun bir seçimdir. Isı transferi yüzeylerinde daha sık mesh oluşturmak, bu bölgelerdeki sıcaklık ve ısı akışı değişimlerini daha hassas bir şekilde yakalamak için gereklidir. Bu bölgelerdeki daha yüksek çözünürlük, daha doğru sonuçlar elde edilmesine ve analizlerin güvenilirliğini artırmaya yardımcı olur. Navier-Stokes denklemlerinin çözüldüğü ana akış bölgelerinde kullanılan hexa elemanlar, düzgün geometrilerde ve düşük difüzyon hızlarında daha iyi performans gösterir. Sınır tabakaları yakınında polihedral elemanlar kullanmak, daha karmaşık akış yapılarını ve sınır tabakası etkilerini daha iyi

yansıtabilir. Bu bölgelerde polihedral elemanlar, detaylı akış fenomenlerini daha iyi modelleyebilir ve sayısal analizin doğruluğunu artırabilir.



Şekil 4.10. Mesh yapısı

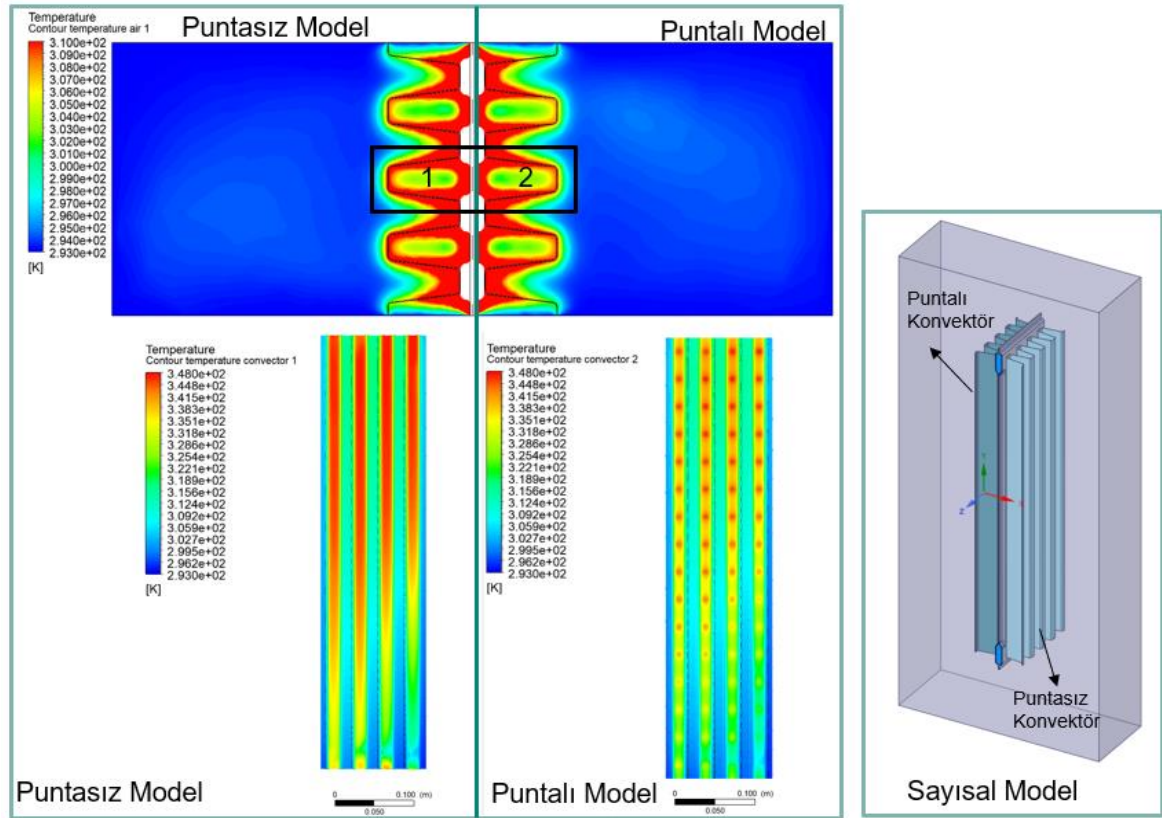
Meshten bağımsızlık çalışması için çözümler çok sayıda mesh sayılarıyla gerçekleştirilmiştir. 2 milyon hücre sayısına kadar yapılan analizlerde 1.5 milyon hücre sayılı meshten sonra ısı transferinin sabit kalmaya başladığı görülmüştür dolayısıyla nihai tüm çözümler Şekil 4.11’ de belirtilen (3) numaralı 1,5 milyon hücre sayısı ile gerçekleştirilmiştir. Bu ağ sayısı, sonraki tüm analizlerde dikkate alınmıştır. Ağ istatistiklerine göre, ağ metriğinin kalitesi ortogonal kalite olarak tanımlanmış; ortogonal kalite değerleri minimum 0.106, maksimum 1 ve ortalama 0.862 olarak belirlenmiştir. Son olarak, maksimum eğrilik (skewness) değeri 0.702 ve ortalama 0.314 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Mesh’den bağımsızlık sonuçları

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

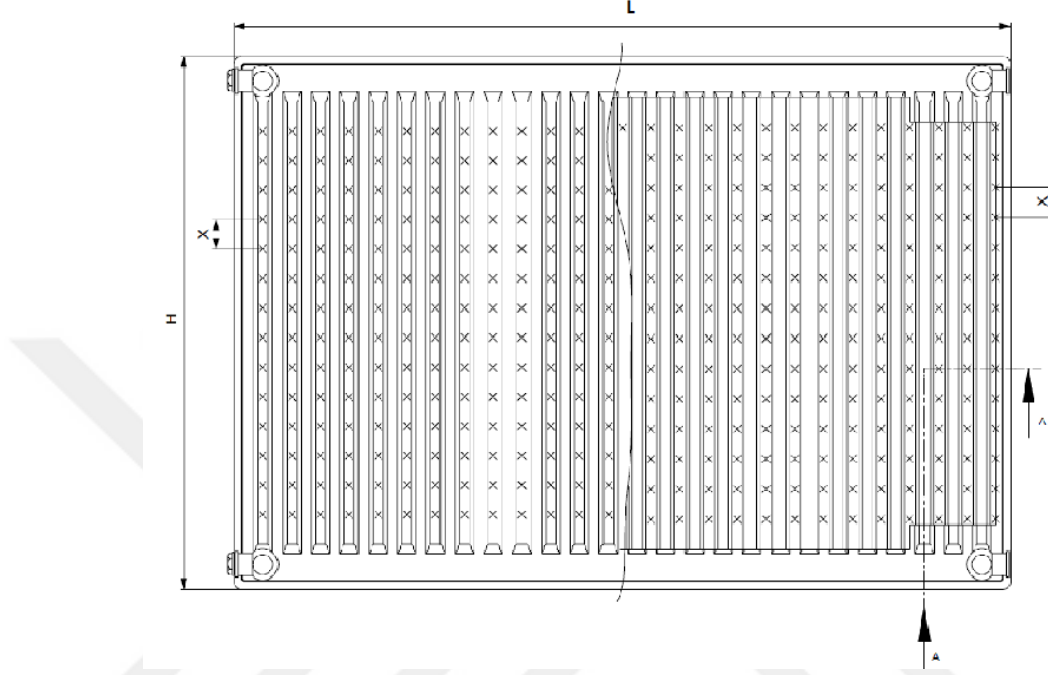
Yapılan sayısal analiz çalışmalarında, gerçeğe yakın sonuçlar almak için panel radyatör üretim prosesi göz önünde bulundurularak panel sacına konvektör sacının kaynaklanmasını sağlayan çok nokta punta kaynak (ÇNK) yöntemi incelenmiştir ve ilk etapta Şekil 5.1’de görüleceği üzere konvektör ile panel sacının %100 temas ettiği durum ile gerçekteki üretim metodunda belirli noktalardan kaynaklanma durumu göz önüne alınarak ısı verim karşılaştırma nümerik çalışması yapılmıştır.



Şekil 5.1. Puntalı ve puntasız (%100 temas) ısı analiz karşılaştırması

Sonuçlar, Çizelge 5.1'de belirtildiği gibi, puntasız (%100) temas durumunda ısı verimin artacağını göstermektedir. Bununla birlikte, üretim süreci düşünüldüğünde, konvektör ve panel sacı arasındaki ısı transferinin, puntalanan noktaların sayısı ile doğru orantılı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 5.2, konvektör ve panel sacını birleştirmek için atılan çok nokta punta kaynaklarının sayısını ve yerleşimini göstermektedir. Bu bağlamda, belirli bir modelin performansını etkileyen önemli faktörler arasında, kullanılan modelin boyutu,

uzunluğu ve kaynak sayısı bulunmaktadır. Bu değişkenlik, seçilen modelin yüksekliği ve uzunluğu ile doğru orantılı olarak değişebilir. Yapılan analizlerde bu gerçek belirlenmiş ve sayısal çözümde hata payı oranını azaltmak için puntalı model dikkate alınmıştır.



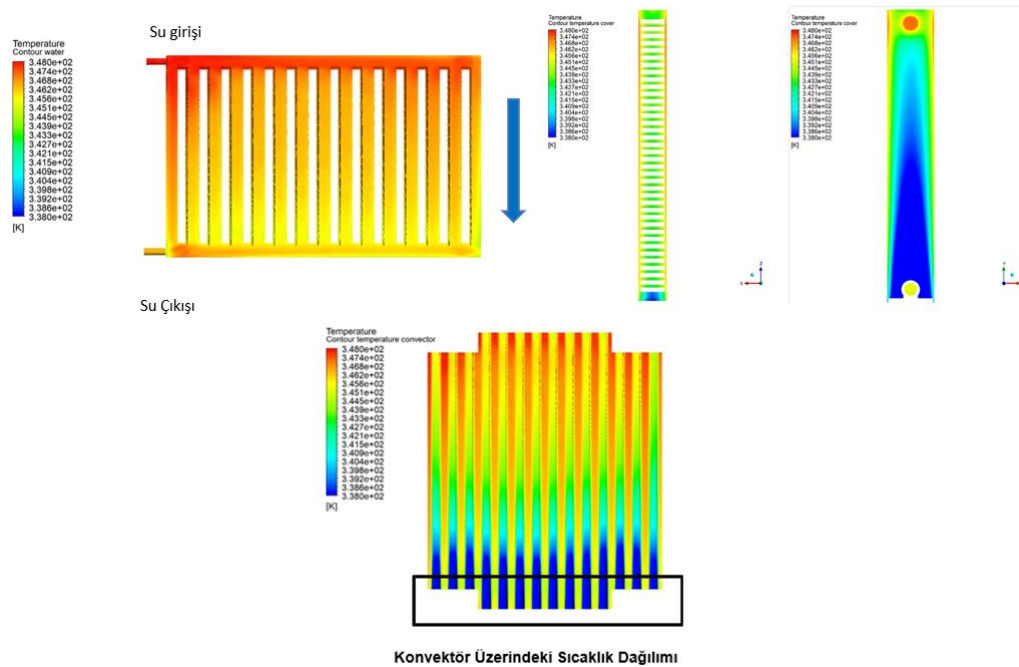
Şekil 5.2. Çoklu nokta kaynaklama konum noktaları (DemirDöküm, 2014)

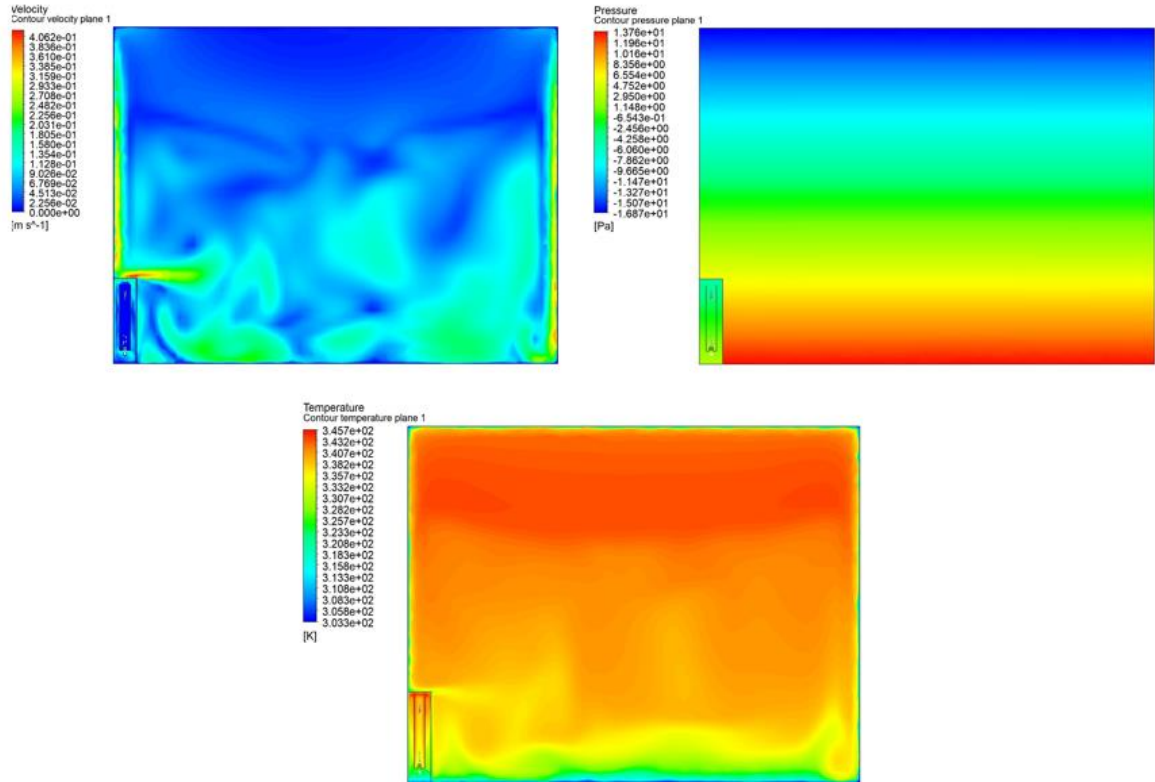
Şekil 5.1'de gösterildiği gibi basit bir model üzerinde yapılan analizler sonucunda; Puntasız model ile puntalı model arasında %22 ısı iletimi farkı tespit edilmiştir. Çizelge 5.1'de belirtildiği üzere, konvektör ile hava arasında gerçekleşen ısı transferi 1 numaralı bölgede 2 numaralı bölgeye göre %24 daha yüksektir; ısıma ile gerçekleşen ısı transferi ise %16 daha yüksektir. Modelde punta kaynak tanımlanması problemin çözümünü oldukça zorlaştıran etmenler arasında yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Puntalı ve puntasız (%100 temas) ısı analiz karşılaştırma sonucu

Model	Konvektör Isı iletimi (W)	Konvektör Işıma (W)	Toplam Isı Transferi (W)
Puntalı Model (2)	35.31	12.2	47.5
Puntasız Model (1)	43.84	14.1	58
Faktör	%24	%16	%22

Sonrasında konvektör kalınlığı azaltılan model hazırlanarak nümerik analiz verileri elde edilmiştir. İlk etapta mevcut modelin sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Su üzerindeki sıcaklık dağılımı incelendiğinde test koşulları altında sisteme su 348 K’de girip 338 K’de çıkmaktadır. Şekil 5.3'te görülebileceği üzere, panel radyatör üzerinde ok yönünde ortalama sıcaklık azalmaktadır. Konvektör üzerindeki sıcaklık dağılımı da ok yönünde azalmaktadır ve belirlenen bölgede ısı iletimi en düşük seviyededir. Kapaklarda ise, panel radyatörün alt kısmından üst kısmına doğru ısı transferi artış göstermektedir. Panel radyatör ürünün geneline bakıldığında Isı transfer oranını etkileyen kısımlar büyükten küçüğü doğru sıralandığında Panel (%52,5) > Konvektör (%27) > Kapaklar (%7,5) > Diğer parçalar (%13) şeklindedir. Panel radyatör üzerinde yapılacak ısı transferi iyileştirme çalışmalarında bu oranlar dikkate alınmalıdır.

**Şekil 5.3.** Analiz sonucunda elde edilen panel radyatör üzerindeki sıcaklık dağılımı

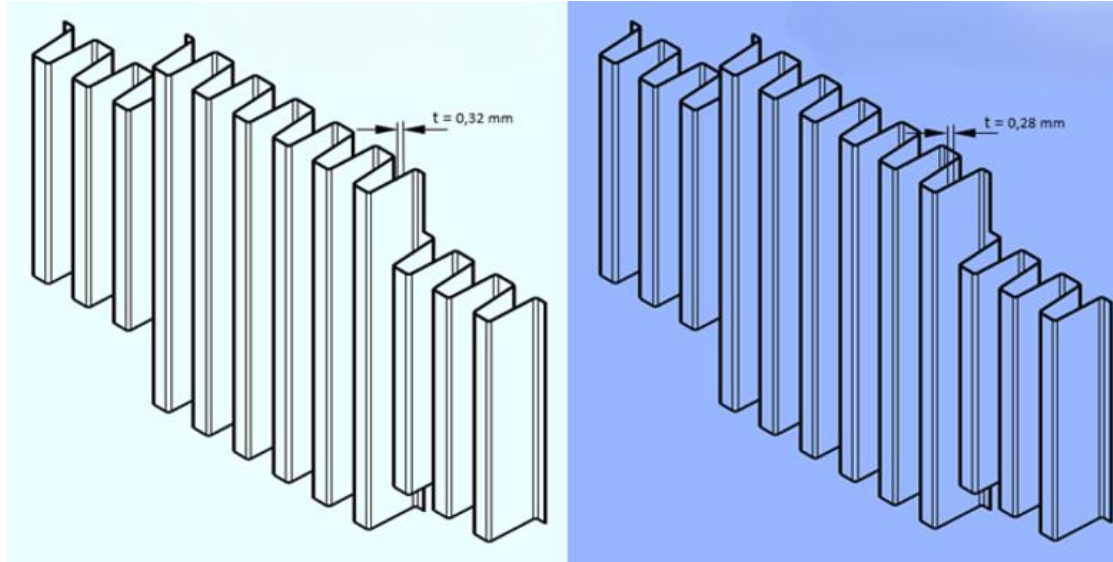


Şekil 5.4. Oda içerisindeki hava hız, sıcaklık ve basınç dağılımı

Sıcaklığı artan havanın kinetik enerjisi de artığından dolayı ısınan havanın hareket yönü odanın tavanına doğrudur. Bundan dolayı Şekil 5.4'te görülebileceği üzere odanın alt kısmından üst kısmına doğru havanın yoğunluğu ve basıncı azalmakta olup hızı artmaktadır. Panel radyatörün ısı verimliliğinde, panel sacından sonra en büyük etkiye sahip olan konvektör sacının kalınlığının değiştirilmesinin panel radyatörün ısı verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen ısı analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yüzey alanı değiştirilmeden mevcut tasarımın sadece kalınlığı değiştirilerek elde edilen Model N ile ısı verimleri karşılaştırılarak kalınlığın ısı verime etkisi deneysel nümerik açıdan incelemesi ile sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut tasarım konvektör sac kalınlığı 0,32 mm olan model a ve sac kalınlığı 0,28 mm'ye indirilerek Şekil 5.5'te gösterildiği gibi elde edilen Model N arasında ısı analiz yapılmış olup, analiz sonucunda model N' in 25,23 W toplam ısı transfer miktarının mevcut modelden daha düşük olduğu Çizelge 5.2'de belirtildiği gibi görülmüştür. Nümerik analiz çalışmalarında PKK (Panel-Konvektör-Konvektör-Panel) tip yüksekliği 600 mm ve uzunluğu 1000 mm olan radyatörle çözümler alınmıştır.

Çizelge 5.2. Mevcut model a ve model N' in sayısal çözüm ile ısı transfer karşılaştırması

Model	Su Giriş (K)	Su Çıkış (K)	Isı Transferi (W)			Isı ile Isı transferi (W)			Toplam Isı Transferi (W)
			Panel	Konvektör	Kapaklar	Panel	Konvektör	Kapaklar	
Model a	348	338.5	851,2	438,2	123,2	216,2	-18,9	10,2	1620,31
Model N	348	338.9	844,5	431,9	116,5	203,5	-11,2	9,8	1595,08
% Fark			-0,8%	-1,4%	-5,5%	-5,9%	+40,7%	-4,8%	-1,6%



Şekil 5.5. Mevcut model a ve 0,28 mm kalınlığa indirilen model N'in konvektör tasarımları

Her iki model arasındaki ısı transferleri karşılaştırıldığında, konvektör kalınlığının azalması durumunda havaya aktarılan ısı miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, konvektör kalınlığının ısı transfer verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. İncelenen modellerde, su giriş ve çıkış sıcaklık farklarına bakıldığında, 0,28 mm konvektör kalınlığına sahip mevcut modelde ΔT sıcaklık farkının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu, konvektör kalınlığının azalmasıyla ısı transfer performansının da azaldığını işaret etmektedir. Dolayısıyla, model N'deki toplam ısı transfer miktarının mevcut model a'dan %1,6 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu fark, konvektör kalınlığının ısı transfer performansı üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve daha ince konvektörlerin ısı transfer kapasitesini azalttığını göstermektedir. Bu bulgular, ısı transfer sistemlerinin tasarımında konvektör kalınlığının optimize edilmesinin önemini vurgular. Bu nedenle, ısı transfer verimliliğini maksimize etmek için konvektör kalınlığının dikkatlice seçilmesi gerekmektedir.

TSE'de gerçekleştirilen deneysel test sonucunda, konvektör kalınlığı 0,32 mm'den 0,28 mm'ye düşürülen üründe toplam ısı transferinin mevcut modele göre Çizelge 5.3'te belirtildiği gibi 41 W azaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, nümerik analiz çalışmalarının sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Şekil 5.6'da teste ait raporlar paylaşılmıştır. Ayrıca, deneysel testlerde ağırlık test metodu kullanılarak, su debisinin ve entalpi farkının konvektör kalınlığı 0,32 mm'den 0,28 mm'ye düşürüldüğünde azaldığı ortaya konulmuştur. Deneysel çalışmalarda, PKKP (Panel-konvektör-konvektör-panel) tipinde, yüksekliği 600 mm ve uzunluğu 1000 mm olan radyatörle Çizelge 5.3'teki sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 5.3. Mevcut model a ve model N arasındaki deneysel ısı transfer karşılaştırması

ΔT (50)	Model	q_m (kg/h)	Δh (kJ/kg)	Φ (W)	$\Delta\Phi$ (W)
	Model N $t = 0,28$ mm	135,58	41,8	1585,2	2,50%
	Model a $t = 0,32$ mm	139,03	41,9	1626,2	



TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
DENEY ve KALİBRASYON
MERKEZİ BAŞKANLIĞI
ANADOLU YAKASI ENERJİ, MALZEME VE
KALİBRASYON LABORATUVARI MÜDÜRLÜĞÜ
TURKISH STANDARDS INSTITUTION
HEADSHIP OF TSE TEST and CALIBRATION CENTER
ANATOLIAN SIDE ENERGY, MATERIAL AND CALIBRATION
LABORATORY DIRECTORATE
 Aydınlık Mahallesi Ulus Sk. No: 7 Tuzla / İSTANBUL
 Tel: +90 216 560 0 500 Faks: e-mail: enerjimalzeme@tse.org.tr
www.tse.org.tr




 TSE
 ANADOLU YAKASI
 AB-0001-T
 13888
 04-22

MUAYENE VE DENEY RAPORU
TEST REPORT

Deneysel Talep Eden/Firma : TÜRK DEMİR DÖKÜM FABRİKALARI ANONİM ŞİRKETİ
 (Adı, Adresi, Şehir vb.) ATATÜRK MAH. MERİÇ CAD. NO:1 /4 /4 ATAŞEHİR/İSTANBUL
 (Requesting/Customer (Name, Address, City etc.))

Deneysel Talep Tarihi / No : 14.01.2022 / 2022-8339

Numunenin Tanımı : 2022-006071 , 22-600 1m panel , DemirDöküm , DemirDöküm , panel radyatör ,
 (Cins, Marka, Sınıf, Tip, Tür, Model vb.) 20005006N5 , 33 hatve (0.32mm konvektör) , 1.00 adet
 (Sample Description (Type,Mark,Class,Model etc.))

Numunenin Tanımı : 2022-006072 , 22-600 1m panel , DemirDöküm , DemirDöküm , panel radyatör ,
 (Cins, Marka, Sınıf, Tip, Tür, Model vb.) 20005005N9 , 33 hatve (0.28mm konvektör) , 1.00 adet
 (Sample Description (Type,Mark,Class,Model etc.))

K_M	n	$\Phi = K_M \cdot \Delta T^* \text{ (W)}$		
9,5478	1,3133	$\Delta T=50 \text{ K}$	$\Delta T=60 \text{ K}$	$\Delta T=30 \text{ K}$
Bir Modelin Karakteristik Eşitliğine Göre Hesaplanan Güç		1626,2	2066,1	831,4

Model a

Model N

K_M	n	$\Phi = K_M \cdot \Delta T^* \text{ (W)}$		
9,6748	1,3034	$\Delta T=50 \text{ K}$	$\Delta T=60 \text{ K}$	$\Delta T=30 \text{ K}$
Bir Modelin Karakteristik Eşitliğine Göre Hesaplanan Güç		1585,2	2010,4	814,6

Model a

Model N

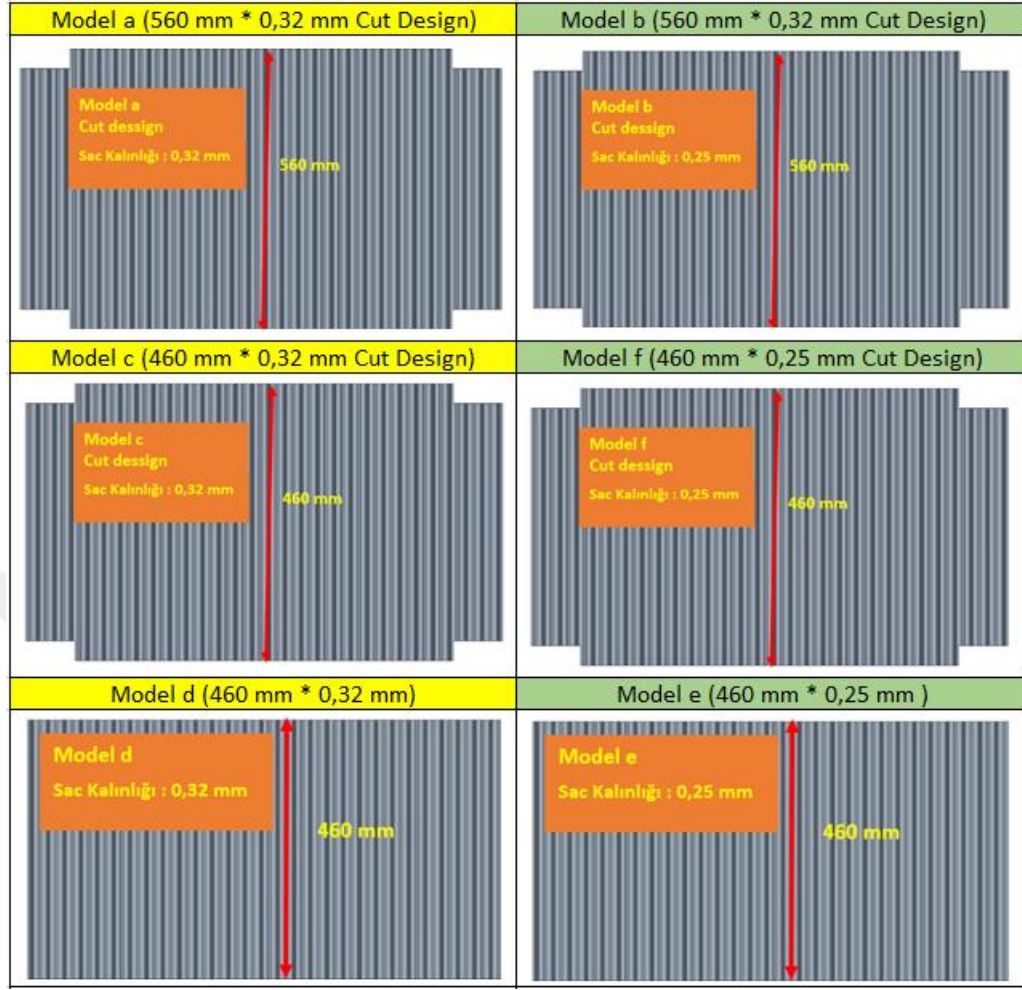
Şekil 5.6. Mevcut model a ve model N için TSE deneysel test raporu

Özetle, konvektör sac kalınlığı 0,32 mm olan mevcut Model a ile kalınlığı 0,28 mm'ye düşürülerek elde edilen Model N için TS EN 442'de belirtilen test koşullarına göre hem deneysel hem de nümerik çözümler yapılmış ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Çizelge 5.2'de görüleceği üzere nümerik çözümler, konvektör kalınlığındaki azalışın ısı performansını %1,6 oranında azalttığını göstermektedir. Deneysel çalışmalarda ise Çizelge 5.3'te belirtildiği gibi, %2,5 oranında bir ısı performans azalışı elde edilmiştir. Deneysel ve nümerik çalışmaların sonuçlarının birbirine paralel olduğu ve aynı doğrultuda gerçekleştiği Çizelge 5.4'te açıkça belirtilmiştir.

Çizelge 5.4. Model a ve model N' in deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması

$\Delta T (50)$	Konvektör Kalınlığı (mm)	Deney Sonucu Toplam Isı Transferi (W)	Nümerik Çözüm Sonucu Toplam Isı Transferi (W)
	0.32	1626.2	1620.31
	0.28	1585.2	1595.08

Nümerik analiz çalışmalarında, seri üretim şartlarındaki panel radyatör üretim sürecinin punta kaynak modellemesi ile gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebildiği sonucuna varılmıştır. Bu sayede, başka tasarım değişikliklerinde kullanılabilecek gerçeğe yakın sonuçlar veren nümerik modeller elde edilmiştir. Araştırma alanı genişletilerek, yeni konvektör modellerinin ısı analizleri bu sınır şartları ve mesh kalitesi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Farklı yükseklik ve kalınlıktaki konvektörler, 600 mm yüksekliğe ve 1000 mm uzunluğa sahip PKKP (Panel-konvektör-konvektör-panel) tipi modele entegre edilerek test ürünü haline getirilmiştir. Bu modeller tasarımlarıyla birlikte Şekil 5.7'de topluca sunulmuştur.

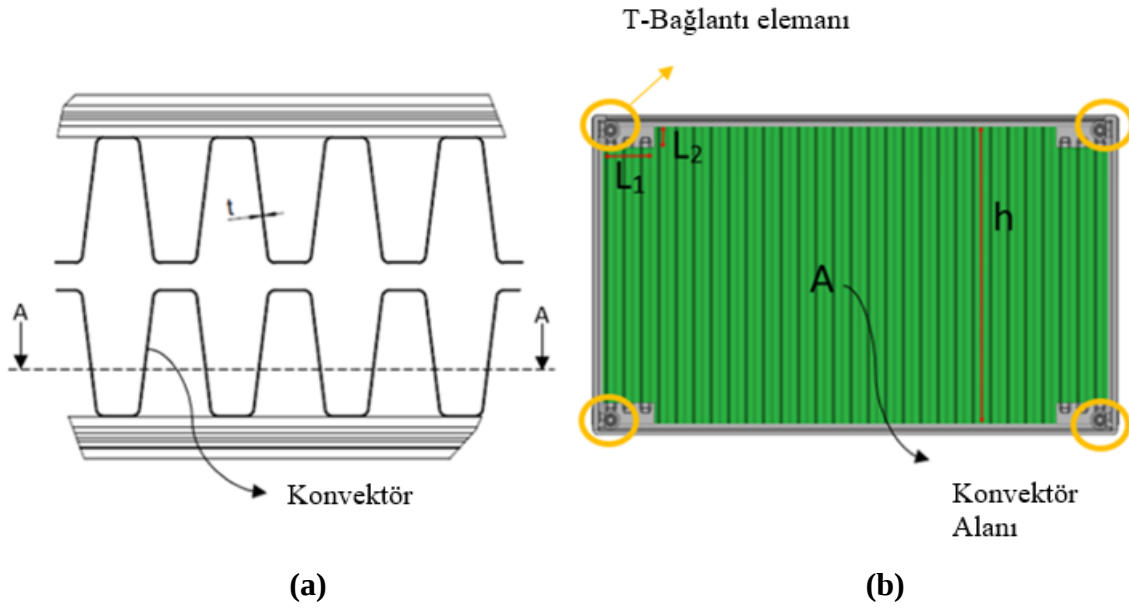


Şekil 5.7. Nümerik analiz için model a ve farklı konvektör tipleri için yaratılan modeller

Çizelge 5.5'te ayrıntılı olarak sunulan 6 test ürünü konvektör modelinin yükseklik, kalınlık ve cut design olup olmadığı belirtilmiştir. Çizelge 5.5'te görülebileceği üzere, en geniş konvektör yüzey alanına sahip model Model a, en düşük konvektör yüzey alanına sahip model ise Model f olarak belirlenmiştir. Şekil 5.8-a'da panel radyatördeki konvektörün üstten görünümü, Şekil 5.8-b'de ise konvektörün önden görünüşü verilmiştir. Şekil 5.8-b'de gösterilen L_1 ve L_2 , konvektör köşelerinde belirtilen boşluklar, iki panel sacı arasındaki bağlantıyı sağlayan T-konnektör boşluklarıdır. Bu tür boşluklara sahip konvektör tasarımı cut design model olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 5.5. Modeller arasındaki konvektör kalınlığı, yüksekliği ve yüzey alanındaki farklar

Modeller	Konvektör Kalınlığı (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	Konvektör Yüksekliği (mm)	Toplam Konvektör Yüzey Alanı (m ²)
Model a (Cut design)	0,32	100	40	560	3.006
Model b (Cut design)	0,25	100	40	560	3.005
Model c (Cut design)	0,32	100	40	460	2.453
Model d	0,32	-	-	460	2.545
Model e	0,25	-	-	460	2.544
Model f (Cut design)	0,25	100	40	460	2.452

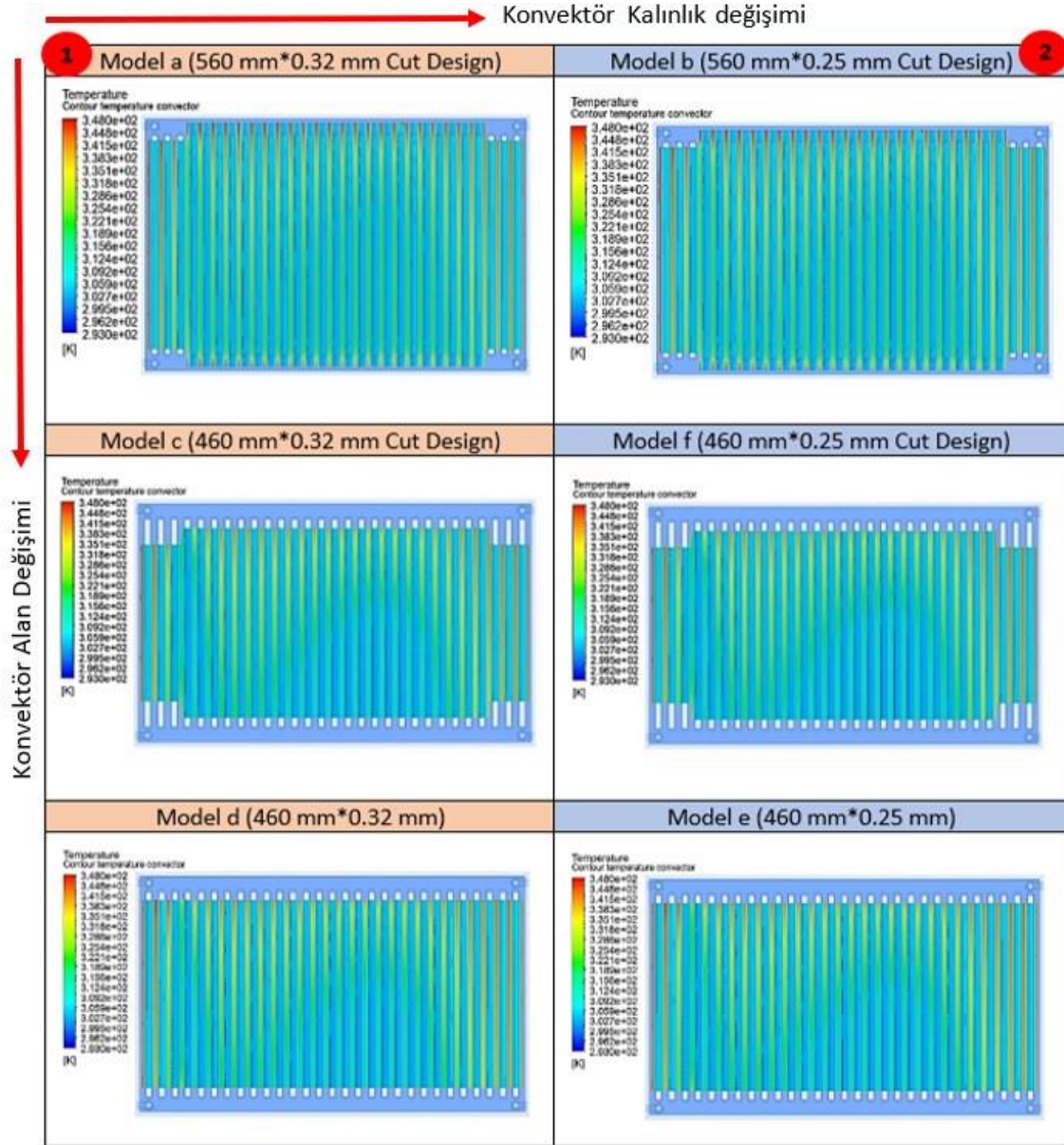
**Şekil 5.8.** Radyatör konvektör sacı (a) üstten görünüm, (b) önden görünüm

Şekil 5.1’de açıklandığı üzere, gerçeğe daha yakın sonuçlar sağlayan puntalı kaynak modeline göre sayısal analiz modelleri oluşturulmuş ve çeşitli testler yapılmıştır. Bu kapsamda, Şekil 5.9’da 6 farklı modele ait ısı dağılımları sunulmuştur. Şekil 5.9’daki 1 numara ile işaretlenen sütunda, 0,32 mm konvektör kalınlığına sahip Model a, Model c ve Model d’nin ısı dağılım sonuçları yer alırken, 2. sütunda ise 0,25 mm konvektör kalınlığına sahip Model b, Model f ve Model e’nin ısı dağılım sonuçları verilmiştir. Bu modellerin detaylı analizleri sonucunda, konvektör kalınlığının ve tasarımının ısı dağılımı üzerindeki

etkileri incelenmiştir. Şekil 5.10'da ise, her bir satırda aynı konvektör tasarımına sahip olan Model a-Model b, Model c-Model f ve Model d-Model e çiftlerinin konvektör kalınlığı değişiminin ısı dağılımına etkisi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, kalınlık değişimlerinin ısı dağılımı üzerindeki etkilerini daha belirgin bir şekilde ortaya koymuştur.

Elde edilen sonuçlara göre, Şekil 5.9'un 1 ve 2 numaralı sütunlarındaki modellerde konvektör kalınlığı sabit tutulduğunda ve konvektör boyu değiştirildiğinde, ısı dağılımlarının farklılaştığı gözlemlenmiştir. Özellikle, sıcak suyun giriş yaptığı ve dağıldığı su kolektörüne yakın bölgelerdeki konvektör sacının ısı transferine katkısının önemli bir çarpan etkisi oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca, aynı konvektör tasarımına sahip modellerde, konvektör kalınlığı değiştiğinde ısı dağılımlarının benzer yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, konvektör tasarımı ve kalınlığının ısı dağılımı üzerindeki etkilerini anlamada önemli ipuçları sunmaktadır.

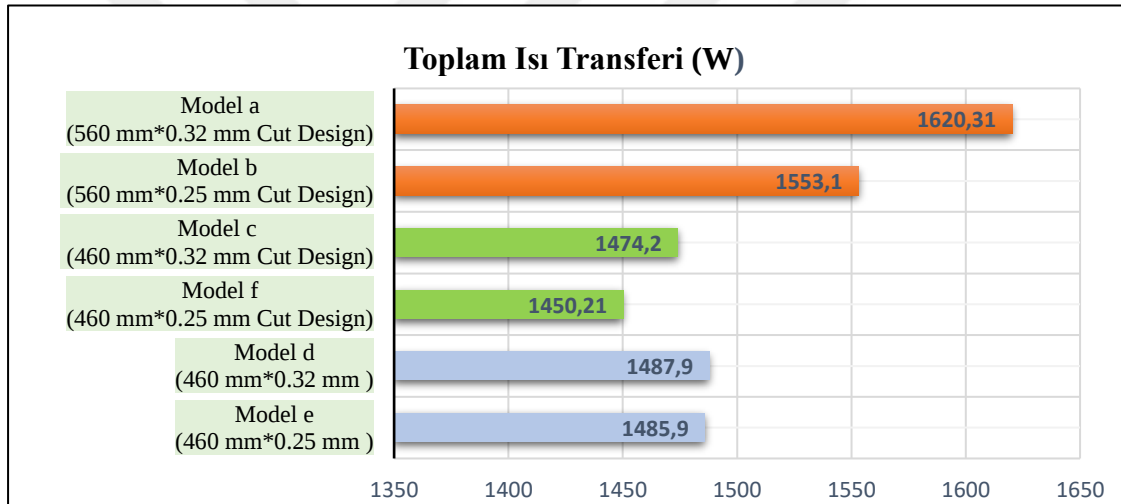
Bu analizler, farklı konvektör kalınlıkları ve tasarımlarının ısı transferi ve dağılımı üzerindeki etkilerini derinlemesine inceleyerek daha verimli ve etkili ısıtma sistemleri tasarlamaya yönelik önemli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca, konvektör saclarının ısı transferindeki rolünü ve farklı kalınlıklardaki konvektörlerin performansını karşılaştırarak, gelecekteki tasarımlar için yol gösterici olmayı amaçlamaktadır.



Şekil 5.9.6 farklı konvektör modelin ısı dağılım sonuçları

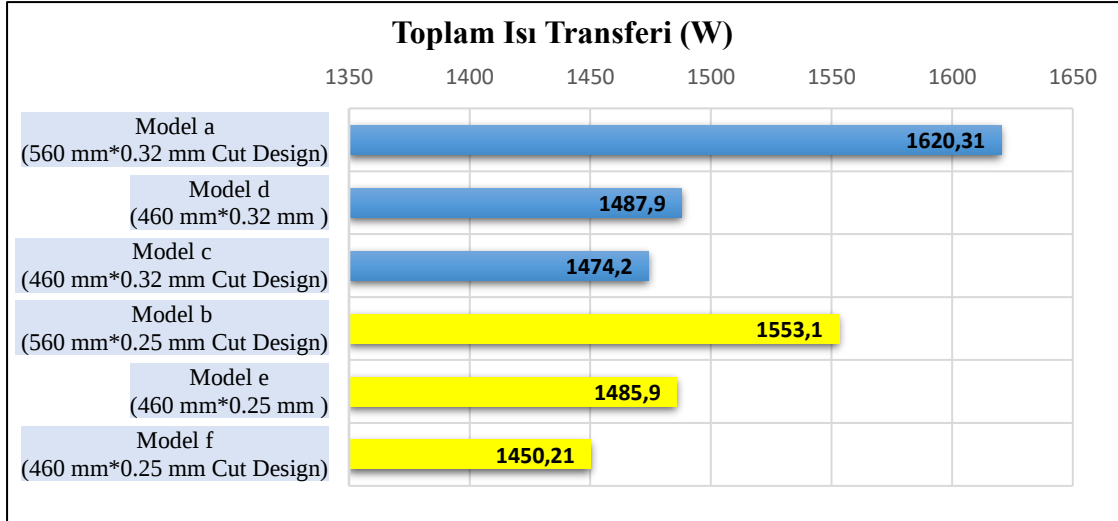
Sıcaklık dağılımlarında gözlemlenen benzer yapıya rağmen, Şekil 5.10'da sağlanan ısı transfer miktarlarına bakıldığında, aynı konvektör tasarımına sahip modellerin konvektör kalınlığı 0,32 mm'den 0,25 mm'ye düşürüldüğünde ısı transfer miktarlarının azaldığı belirlenmiştir. Özellikle, Model d ile Model e arasındaki termal farkın diğer modellere kıyasla çok az değiştiği görülmüştür. Bu küçük değişikliğin nedeni, sıcak suyun girdiği ve dağıtıldığı T-bağlantı noktalarındaki sıcak bölgelerin korunduğu, dolayısıyla cut design (kesme tasarımı) olmayan yapılarda konvektör kalınlığındaki azalmanın etkisinin daha az olması olarak yorumlanabilir.

Bu bulgulara benzer sonuçlar, (Çalışır ve Başkaya, 2021) çalışmasında da elde edilmiştir. Konvektör kalınlığının artırılmasının ısı transferini neredeyse doğrusal olarak artırdığı doğrulanmıştır. Örneğin, konvektör kalınlığının $t = 0,25$ mm'den $t = 0,60$ mm'ye çıkarılması ısı transferini %18,8 oranında artırırken, malzeme kütlesi %58,3 oranında artmaktadır. Benzer şekilde, konvektör yüksekliğinin $H = 450$ mm'den $H = 600$ mm'ye çıkarılması ısı transferini %8 oranında artırırken, malzeme kullanımı neredeyse %18 artmaktadır. Çalışır vd., (2019) yaptıkları bir diğer çalışmada, farklı konvektör tasarımlarına sahip panel radyatörlerin ısı çıktılarını incelemişlerdir. Çalışmada, konvektörlerin sac kalınlığının artırılmasının panel radyatörün ısı çıkışını artırdığı bulunmuştur. Ayrıca, konvektör yüksekliğinin artırılması hem ısı çıkışını hem de radyatörün ağırlığını artırmaktadır.



Şekil 5.10. Konvektörler arasında konvektör kalınlığının etkisinin karşılaştırılması

Konvektör kalınlığı sabit tutulup konvektör alanları azaltılan modellerin ısı dağılımlarında farklılık olduğu görülmüştür Şekil 5.11'de bu farklılıkların etkisi gösterilmiştir. Konvektör yüzey alanı azalan modellerin ısı transfer miktarının da azaldığı görülmüştür. Büyük boyutlu konvektör sacına sahip modeller (560 mm) daha yüksek ısı transferi sağlamaktadır. Örneğin, Model a ve Model b diğer modellere kıyasla daha yüksek ısı transferine sahiptir. Aynı boyutlu modeller arasında, kesim tasarımına sahip olmayanların daha yüksek ısı transferi sağladığı görülmüştür. Örneğin, Model d ve Model e, kesim tasarımı olan muadillerine göre (Model c ve Model f göre) daha yüksek ısı transferi sağlamaktadır.



Şekil 5.11. Konvektör kalınlığı aynı, farklı konvektör tasarımlarının ısı transfer üzerindeki etkisinin karşılaştırması

Benzer sonuçlara Akın, (2007)'nin yaptığı çalışmada da ulaşılmıştır. Radyatörün ısı çıkışını artırmak için konvektör tasarımında değişiklikler yapılmıştır. Orijinal tasarıma göre ısı çıkışlarını araştırmak amacıyla 5 konvektör tasarımı oluşturulmuştur. Bu konvektörler arasında, ısı transfer alanındaki maksimum artış kademeli konvektör tasarımı kullanılarak elde edilmiş olup , Konvektörün ısı transfer yüzey alanında %30 artış olduğunda, kademeli konvektör kullanımı ile modülün ısı çıkışında %11 artış sağlanmıştır. Konvektör yüzeyindeki çıkıntıların etkisi de araştırılmıştır. Çıkıntılar sayesinde, ısı transfer yüzey alanında %15 artış olduğunda ısı çıkışta %8 artış elde edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Panel radyatörlerin ısı transferi ve sıcaklık dağılımları üzerindeki farklı konvektör kalınlık ve boyutlarının etkilerini göstermek için hem deneysel hem de nümerik çalışma yapılmıştır. Bulgulardan çıkarılan en önemli sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Isıl analizler sonucunda konvektör kalınlığı 0,32 mm'den 0,28 mm'ye indirilen mevcut model a ve 0,28 mm konvektör kalınlığına sahip model N karşılaştırmasında, model N' in ısı performansını mevcut model a'ya göre %1,6 azalmıştır.
- TSE (Türk Standartları Enstitüsü) Anadolu yakası Enerji Malzeme ve Kalibrasyon Laboratuvarı Müdürlüğünde, gerçekleştirilen deneysel test kapsamında ise konvektörün inceltilmesi ısı performansında %2,5'lik bir düşüşe neden olarak ısı analiz sonuçlarıyla deneysel sonuçların birbirlerine paralel olduğu görülmüştür.
- Panel radyatör ısı performansına, panel sacından sonra en büyük katkısı olan konvektör sacı için, 6 farklı konvektör varyasyonu oluşturularak 6 farklı model oluşturulmuş ve bu modeller kullanılarak ısı güç sayısal analizleri yapılmıştır, sonuçlar birbirleriyle kıyas edilerek konvektör boyutlarının panel radyatör ısı performansı üzerindeki etkisi yorumlanmıştır. Isı transferi konvektör yüzey alanı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Konvektör yüzey alanı küçüldüğünde ısı transfer miktarı azalmıştır. Isı analizinde panel ve konvektör arasındaki temas yüzey alanının ısı performansı doğru orantılı bir şekilde etkilediği görülmüştür.
- Puntalı ve puntasız olarak yapılan 2 karşılaştırma sayısal çözümünde puntasız yani panel sacı ile konvektör sacının %100 temas ettiği varsayılan model'de ısı transferi %22 daha fazla gerçekleşmiştir. Isı transferi konvektör kalınlığı inceltildiğinde ve konvektör boyu kısaltıldığında azalmaktadır. 6 farklı model de yapılan nümerik analizler sonucunda en yüksek ısı güç modeller arasında en yüksek konvektör alanına sahip model a'da elde edilirken, en düşük ısı güç en düşük konvektör yüzey alanına sahip model f 'de elde edilmiştir.
- Isı performans model a'dan model f'e geçildiğinde %10,49 azalmıştır. 22- 600x1000 mm boyutlarındaki ürün için model a'da 0,32 mm konvektör kalınlığından model b'ye 0,25 mm konvektör kalınlığına geçilmesi durumunda yaklaşık 3 kg sac 'tan ürün başına tasarruf elde edilecektir (Her iki modelde de konvektör yüzey alanı sabittir).

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akin, D. (2007). *Computer aided design of thermal systems* (Publication No :213145) [Master's thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, Türkiye]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Aydar, E., Ekmekci, I., (2012). *Thermal efficiency estimation of the panel type radiators with CFD analysis*. Journal of Thermal Science and Technology, 32, 63-71.
- Aydar, E., Ekmekçi, İ., Şen, Y., (2014). *Novel fin design for the panel type radiators using CFD*. Progress in Exergy, Energy, and the Environment, 617-631. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04681-5_58.
- Ansys Fluent 2020 R1.
- Beck, S. M. B., Grinsted, S. C., Blakey, S. G. & Worden, K., (2004). *A novel design for panel radiators*. Applied thermal engineering, 24(8-9), 1291-1300. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.11.026>.
- Copa, (2019). *Radyatör Teknik Katalog*.
- Calisir, T., Yazar, H. O., Baskaya, S. (2017). *Determination of the effects of different inlet-outlet locations and temperatures on PCCP panel radiator heat transfer and fluid flow characteristics*. International Journal of Thermal Sciences, 121(3): 322-335. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.07.026>.
- Calisir, T., Yazar, H. O., Baskaya, S. (2019). *Thermal performance of PCCP panel radiators for different convector dimensions - An experimental and numerical study*. International Journal of Thermal Sciences, 137, 375-387. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.12.007>.
- Calisir, T., Baskaya, S., (2021), *The influence of different geometrical dimensions of convectors on the heat transfer from panel radiators*. SN Applied Sciences, 3(3), 284. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04276-2>.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill Education.
- Daşdemir, A., (2015). *Panel Tip Radyatörlerin Montajı ve Kullanımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar*. Tesisat Mühendisliği-Sayı 146.
- DemirDöküm, (2014). *Teknik Arşiv*.
- DemirDöküm, (2020 a). *DemirDöküm Tesisat Tekniği Temel Esasları Kitabı*, Tüketici Destek Kataloğu | DemirDöküm (demirdokum.com.tr), Erişim Tarihi : 14.08.2024.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- DemirDöküm, (2020 b). *DemirDöküm Isıtma Sistemlerinin Planlanması ve Hidrolik Devreler Kitabı*, Tüketici Destek Kataloğu | DemirDöküm (demirdokum.com.tr), Erişim Tarihi : 14.08.2024.
- DIN, (2018). *DIN 55900-1: Coatings for radiators - Part 1: Terms, requirements and tests for primers and industrially applied priming coats*. Deutsches Institut für Normung.
- Diaz, A.M, Galan, C.O, Rodriguez, J.B.B, & Calleja, J. J.F. (2014). *Thermal analysis of a stoneware panel covering radiators*. Applied Energy, 131, 248-256. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.025>.
- Embaye, N., Laurien, E., Homod, R. Z., Almatairi, S. H. (2015). *Improving the thermal performance of panel radiators using pulsating flow in a central heating system*. Energy and Buildings, 98, 110-120. <https://doi.org/10.3390/su142316264>.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer*.(4th ed.). John Wiley & Sons.
- Gelis, K., (2021). *Factorial experimental design for second law analysis of panel radiators as a function of radiator dimension*. Journal of Building Engineering, 43(10), 102872. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102872>.
- HLK Stuttgart GmbH.
- Isısan/Buderus, (1999). *Mimarın Tesisat El Kitabı*. Isısan Yayınları, İstanbul.
- Isısan Çalışmaları, (1997). *Kalorifer Tesisatı*, No.153.
- Kalde, (2014). *Kalde Radyatör Teknik Katalog*.
- Karakoc, T. H. (2001). *Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı*. İzocam Teknik Yayınları.
- Kibar, A., Veziroğlu, A. R. (2013). *Mekân içerisindeki radyatörlerin etrafındaki engellere göre ısı veriminin incelenmesi*. Tesisat Mühendisliği, 136, 5-11.
- Kibar, A. (2017). *Radyatör arkasındaki duvardan ısı kaybının yansıtıcı / yutucu yüzey kullanılarak önlenmesinin deneysel olarak incelenmesi*. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2), 692-699. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341858>.
- Makine Mühendisleri Odası, (2022). *MMO Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları Kitabı*. 12. baskı, Yayın No: 352, Ankara

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2012). *Fundamentals of Fluid Mechanics*, (7th ed.), John Wiley & Sons Inc.
- Ömeroğlu, G. (2019). *Farklı bağlantı şekillerinin panel radyatörlerin verimleri üzerine etkisinin incelenmesi*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(2), 529-534. <https://doi.org/10.35234/fumbd.568590>.
- Özçanak, T., (2008). *Kataforez Kaplama Öncesinde Yüzey Hazırlama, Kurutma ve Kaplama Proseslerinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- RAL (2024). *Renk Tasarım Sistemi*. <https://ral-usa.com>. Erişim Tarihi : 15.08.2024.
- TS EN 442-2 Radyatörler ve Konvektörler, (2015). Bölüm 2, *Deney Metotları ve Değerlendirme*.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The finite volume method* (2nd ed.). Pearson Education Limited.
- Yılmaz, E., (2017). *Exterior surface insulated panel radiator and energy efficiency analysis*. International Advanced Researches and Engineering Journal, 1(1), 18-20.