

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMBİ EŞANJÖRLERİNDE KİREÇLENME OLUŞUMU
VE PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL
YOLLARLA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur VARLICA

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Murat ÖZSOY

Nisan 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

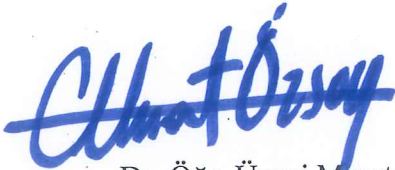
KOMBİ EŞANJÖRLERİNDE KİREÇLENME OLUŞUMU
VE PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL
YOLLARLA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur VARLICA

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

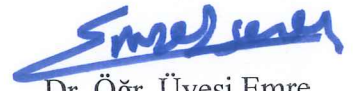
Bu tez 09/04/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi Murat
ÖZSOY
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Hüseyin
PEHLİVAN
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Emre
ESENER
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Onur VARLICA

09.04.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Murat ÖZSOY' a ve Mak. Müh. Taha Arda KESER' e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen ve deneyimlerinden yararlandığım sayın Ar-Ge Müdürümüz Serhan KILIÇ' a ve Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, her konuda yardımcı olan Müdürüm Sn. Selçuk TANRIÖVEN' e ayrıca teşekkür ederim.

Ve son olarak benim bugünlere ulaşmamı sağlayan emeğinin karşılığı olmayan Annem Rüveyda VARLICA' ya teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Kombi Parçaları.....	1
1.2. Kombi Çalışma Prensibi.....	4
1.3. Kombi Çeşitleri	5
BÖLÜM 2	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	12
2.1. CaCO ₃ Kristalizasyonunun Kirliliği - Deneysel Termal Direncin ve Belirsizliğinin Analizi	12
2.2. Sert Su ve Arıtma Yöntemleri.....	15
2.3. Deneysel Isı Değiştiricili Devrede Kireçlenme Oluşumunun Ölçümü	17
2.3.1. Kalsiyum çökmesi.....	18
2.3.2. Çökelmeye etkiyen faktörler.....	18
2.3.3. Çökelme oluşumunun ölçüm metotları.....	19
2.3.4. Çökelme oluşumunu önleme metotları.....	21
2.4. Isı Değiştiricilerinde Kirlenme: Azaltma ve Temizleme Metodları.....	22
2.4.1. Tasarımla ısı eşanjörünün kirliliğinin azaltılması.....	23
2.4.2. Termal şoklama sonucu şu verilere ulaşılmıştır.	24

2.4.3. Kimyasal temizleme yöntemleri	24
2.4.4. Kapalı sistem temizleme yöntemleri.....	25
2.5. Kimyasal Değişikliğin Deneysel İncelenmesi: Asit Konsentrasyonu'nun Etkisi.....	26
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1. Kabuller	34
3.2. Test Ünitesi Hazırlığı	34
3.3. Test Aşamaları.....	34
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	37
4.1. Kireçlendirme Prosesi ve Test Algoritması Yaklaşım Metodu.....	37
4.2. Kireçlendirme Testi Sonuçları ve İrdelenmesi.....	42
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	57
KAYNAKÇA.....	59
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

HX	: Isı değiştiricisi - eşanjör
DTAS	: Daikin Törkiye Arge Merkezi
PCB	: Ana Kart
PID	: Oransal-integral-türevsel denetleyici
EŞANJÖR	: Yanmanın geręekleřtięi kombi paręası
KALSİFİKASYON	: Kireçlendirme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kombi Parçaları	3
Şekil 1.2. Kombi İç Yapısı.....	4
Şekil 1.3. Detaylı Kombi İç Yapısı	5
Şekil 1.4. Turbo Eşanjör.....	6
Şekil 1.5. Yoğuşmalı Bir Kombi.....	7
Şekil 1.6. Premix Kombi.....	7
Şekil 1.7. Tam yoğuşmalı Premix Kombi.....	8
Şekil 1.8. Konvansiyonel ve Yoğuşmalı Kombi.....	9
Şekil 1.9. Daikin Yoğuşmalı Kombi 24kW	9
Şekil 1.10. Daikin Yoğuşmalı Kombi 24kW	10
Şekil 1.11. Dakin Scot (Hava-gaz karışım kontrol sistemi).....	10
Şekil 1.12. Ev Isıtma Tesisat.....	11
Şekil 2.1. Isı Transfer Yüzeyi Sıcaklık Ve Konsantrasyon Grafiği	13
Şekil 2.2. Yüzeydeki Kristallenme - Akış Hızı Grafiği	13
Şekil 2.3. Akış Hızı - Kirlenme Grafiği	14
Şekil 2.4. Sıcaklığa ve Hıza Bağlı Kirlenme Değişimi Grafiği	14
Şekil 2.5. Kirlenme Direci Isı Akısı Ve Hız Grafiği.....	15
Şekil 2.6. Prüzsüz ve kanatlı borularda kireçlenme karşılaştırması.....	23
Şekil 2.7. Termal şoktan önce (a) ve sonra (b) tortu tabakası CaSO ₄ solusyonu 1,6g/L ve ısı akısı 300 kW/m ²	24
Şekil 3.1. Daikin Arge Merkezi Kireçlendirme Test Standı	32
Şekil 3.2. Daikin Arge Merkezi Kireçlendirme Test Standı	33
Şekil 4.1. 35 kW Alüminyum eşanjörün kullanılabilceği mahaldeki tesisat suyu hacminin su besleme basıncı ve sıcaklık rejimlerine göre belirlenmesi	39
Şekil 4.2. 24 kW Alüminyum eşanjörün kullanılabilceği mahaldeki tesisat suyu hacminin su besleme basıncı ve sıcaklık rejimlerine göre belirlenmesi	40

Şekil 4.3. Kalsiyum Karbonat Çözünürlüğü	40
Şekil 4.4. Test Veri İşleme Tablosu	463
Şekil 4.5. Eşanjör Yüzey Sıcaklığı - Su Sıcaklığı	46
Şekil 4.6. Emisyon	47
Şekil 4.7. Kombi Kapasitesi	47
Şekil 4.8. Çözünmüş Kalsiyum Karbonat Miktarı	48
Şekil 4.9. Su sertlik Değişimi (dH) Alman Sertliği)	48
Şekil 4.10. CO Değişimi (ppm)	50
Şekil 4.11 Yüzey ve Su Sıcaklıklarının Değişimi	51
Şekil 4.12. Su Tarafı ve Eşanjör Yüzeyi Sıcaklık Değerlerinin NTC Sensörlerle Ölçülmesi (W2-W3)	52
Şekil 4.13. Su Tarafı ve Eşanjör Yüzeyi Sıcaklık Değerlerinin NTC Sensörlerle Ölçülmesi (W5-W6)	52
Şekil 4.14. Su Tarafı ve Eşanjör Yüzeyi Sıcaklık Değerlerinin Manuel Ölçülmesi	53
Şekil 4.15. Testten Önce ve Testten Sonraki Eşanjör Ağırlık Ölçüm Sonuçları	54
Şekil 4.16. Test Sonrası Kesilen Kireçlenmiş Eşanjör	55
Şekil 4.17. Eşanjör HAD Analizi Sonucu Su Akış Hızı	55

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı kirlenme mekanizmalarında kimyasal inhibitörlerin kategorizasyonu.....	26
Tablo 2.2. H ₂ SO ₄ (Sülfürik asit) için derişim-çözünme değerleri	26
Tablo 2.3. HCOOH (Formik asit) için derişim-çözünme değerleri	26
Tablo 2.4. HNO ₃ (Nitrik asit) için derişim-çözünme değerleri	27
Tablo 2.5. HCl (Hidroklorik asit) için derişim-çözünme değerleri.....	27
Tablo 4.1. Türkiye Sular İdaresi 2016 Yılı Verilerine Göre Bazı Şehirlerin Su Sertlik Değerleri.....	38
Tablo 4.2. Ana Test Sonuçları	45

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kireçlenme, Kalsifikasyon, Kirlenme, Isı değiştiricisi, Kombi

Isı değiştiricilerinde kullanılan suyun özelliklerinden dolayı kireç oluşumu gerçekleşmektedir. Oluşan bu kireç zaman içerisinde ısı değiştiricisinin yüzeyinde birikmekte ve bu sebeple ısı değiştiricisinin verimini düşürmekte ve dolayısıyla yakıt sarfiyatını artırmakta ve servis maliyetlerini artırmaktadır. Bu sebeple ısı değiştiricilerinde oluşan kireçleşmeyi önlemek için birçok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada DAIKIN tarafından AR-GE çalışması tamamlanmış ve seri üretime hazır hale getirilmiş olan dünyanın en küçük kombisi “NDJ 24kW-35kW” nın ısı değiştiricisi üzerindeki kireçlenme olayı kurulan deney tesisatı ile incelenecektir. Yapılacak çalışma ile kombinin 5 yıllık çalışması 5-7 gün içerisinde hızlandırılmış olarak tamamlanacaktır. Çalışma sonunda elde edilen veriler incelenerek kombinin 3,5 ve 10 yıllık çalışması gerçekleştirilecek ve çalışma sonucunda ısı değiştiricisi kesilerek oluşan kireçlenme de incelenecektir.

Bu çalışmada AlSi10Mg malzemeli ısı değiştiricisi (HX) baz alınacak ve şu soruların cevaplarını aranacaktır; Isı değiştiricilerinde kireçlenmeyi etkileyen nedenler nelerdir? Kireçlenmenin gaz tüketimine etkisi nedir? Baca gazlarına etkisi nedir? Müşteriye maliyeti nedir? Yüzeğe bağlanan kireci temizlemek için ne yapılmalıdır? Kireçlenmeyi önlemek için hangi önleyici mekanizma entegre edilebilir veya (kullan-at) kireç filtresi için filtrasyon metodu ne olabilir? Sorularına cevap aranacaktır.

EXAMINATION OF CALCIFICATION (FOULING) ON COMBI BOILER - HEAT EXCHANGER PERFORMANCE EFFECT AND RESEARCH WITH EXPERIMENTAL METHOD

SUMMARY

Keywords: Calcification, Fouling, Heat Exchanger, Combi Boiler

Calcification fouling occurs due to the properties of the water used in heat exchangers. The resulting fouling accumulates on the surface heat exchanger over time, thereby reduce to efficiency of heat exchangers and thus increasing the fuel consumption and the service maintenance costs. For this reason, many studies have been carried out to prevent calcification in heat exchangers.

We will use most compact combi boiler “NDJ 24kW-35kW” in the World produced by Daikin since 2017. The calcification process on the heat exchanger will be examined with the new R&D test stand. With this test stand combi boiler’s 5 year period running time will be simulated within 5-7 days. After this running period we will be examined 3,5 and 10 year running period results with cutted heat exchangers.

This study will be based on AlSi10Mg material HX and will be looked for answers to these questions; What are the causes of calcification in heat exchangers? What is effect of calcification on gas consumption? What is effect on the flue gases? What is the cost of the customer side ? What should be done to clean the surface lime ? Which preventive mechanism can be integrated to prevent calcification or what is the filtration method for (disposable) lime filtration ?

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Bu bitirme tezinde çalışılan ana konu kombilerde yer alan ısı değıştircilerindeki kireçlenmenin kombi performansına etkisidir. Kombi sistemleri ev veya çalışma ofislerinde ısınmayı sağlayan ve sıcak kullanım suyu sağlayan cihazlardır. Doğalgazın ve oksijenin bir araya gelip tepkimesi sonucu meydana gelen yanma sonucunda oluşan ısı enerjisini ev ısıtmasına veya kullanım suyuna çeviren sistemlerdir [1].

Bu hususta kireçlenmenin etkileri incelenirken aynı zamanda alüminyum ısı değıştircisi tasarım ve test maliyetlerinin düşürülmesi de hedeflenmiştir. Kireçlenmenin etkileri incelenecek, yeni ısı değıştircisi tasarlanacaktır. Böylelikle ürün içerisindeki yerli tasarım oranını arttırılacaktır. Kireçlenmenin kombi ısı değıştircilerindeki olumsuz etkisi gözlemlenecektir. Aynı zamanda ısı değıştircisi kaynaklı servis maliyetlerini azaltılarak ısı değıştircilerindeki kireç oluşum mekanizması hakkında bilgi edinilecek ve yeni Ar-Ge projelerine referans proje/ürün oluşturma hedefine ulaşılacaktır.

1.2. Kapsam

Bu çalışma yeni bir kombi kireçlendirme test standının devreye alınmasını ve bu hususta yapılacak testleri kapsar. Bu tez çalışmasında kireçlenmenin kombi ısı değıştircilerindeki etkileri incelenerek bir sonuç raporu verilecek ve kıyas yapılarak olumsuz etkisi gösterilecektir.

1.3. Kombi Parçaları

Fan: Hermetik ve yoğuşmalı kombilerde dışarıdan temiz havayı alarak brülörde yanma oluşmasına yardımcı olan parçadır.

Prosestat: Fandan aldığı pozitif basınç ile atık gaz sisteminde sorun olup olmadığını elektronik karta bildiren parçadır.

Ana Eşanjör: Brülörden aldığı su ile içinden geçen suyu ısıtma görevinde olan parçadır.

Emniyet Ventili: Kombideki basınç 3 barı geçince kombinin yüksek basınçtan zarar görmemesi amacı ile fazla suyu dışarıya tahliye etmekte olan parçadır.

Brülör: Gaz armatüründen gelen gazı hava ile doğru şekilde karıştırarak yanmanın oluşmasını sağlayan parçadır.

Gaz Valfi: Tesisattan aldığı gaz ile anakarttan komut alarak belirli bir oranda brülöre gönderen ve brülörde yanma oluşturan parçadır.

Üç Yollu Vana: Kombide sıcak su ile kalorifer konumunu birbirinden ayrı tutan parçadır.

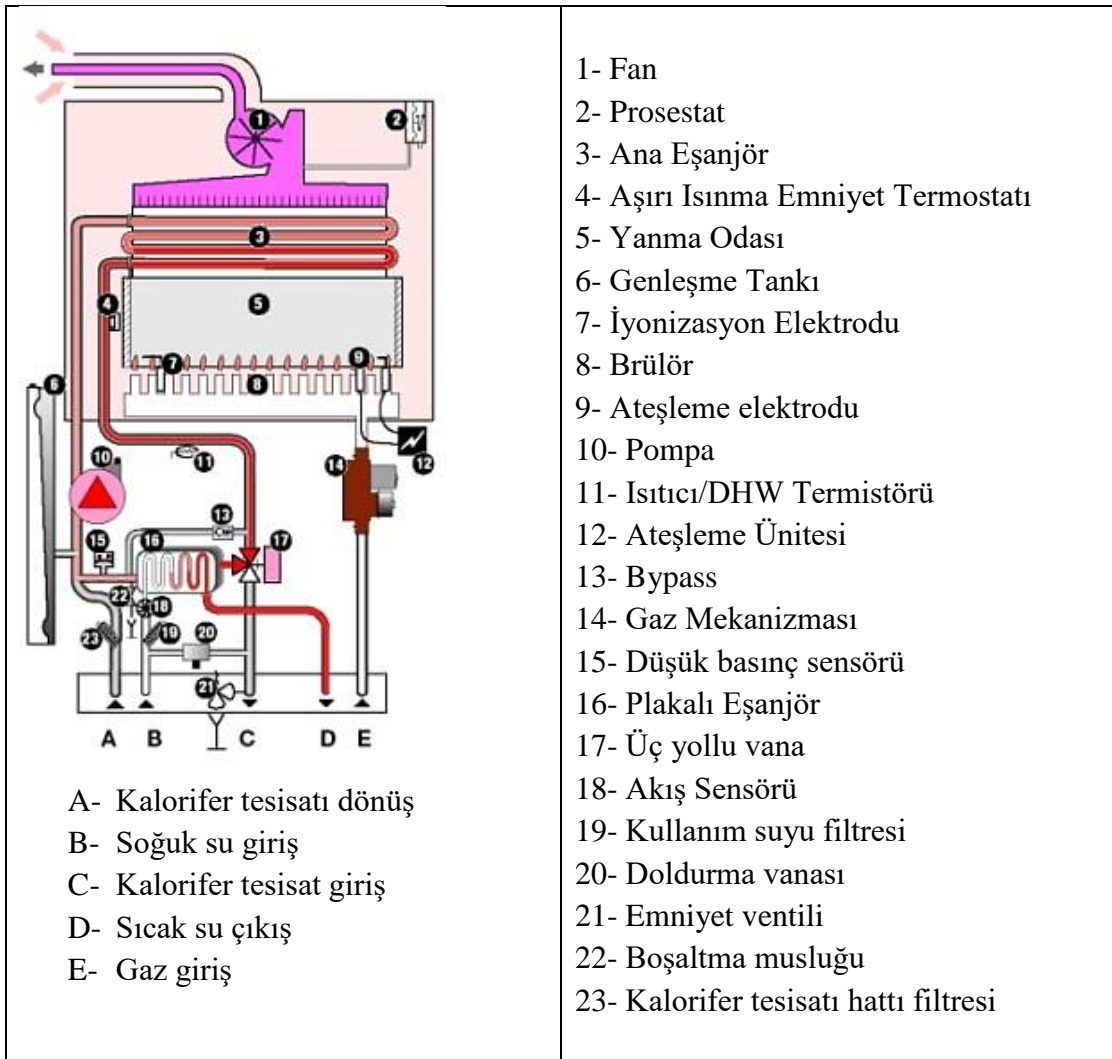
Genleşme Tankı: Kombi çalıştıkça içinde bulunan su genleşmeye uğrar. Su hacminde artma ve çoğalma olur. Su hacmi çoğaldıkça su basıncı yükselir. Yüksek basınç kombi ve tesisata zarar vereceği için bu zararın önüne geçmek adına mevcut olan parçadır.

Pompa: Kombi içinde ve tesisatta bulunan suyu elektronik karttan aldığı komut ile kombi ve tesisat içinde dolaştıran parçadır.

Plaka Eşanjör: Çift eşanjörlü kombide yer alan, kombi içindeki su ile şebekeden gelen suyu karıştırmadan birbirinden ayıran parçadır.

Elektronik Kart: Kombinin beyni görevindedir. Kombi içerisinde yer alan parçaların tümü çalışmak için emri elektronik karttan alır.

Su Akış Sensörü: Sıcak su musluğu açıldığı zaman elektronik karta bu talebi bildiren ve kombinin sıcak su konumunda çalışmasını sağlayan parçadır.

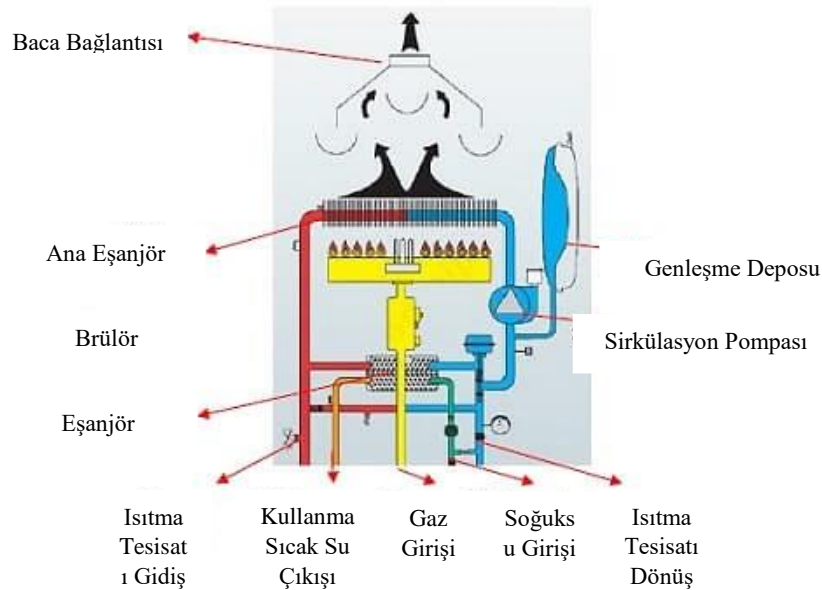


Şekil 1-1.1. Kombi Parçaları [2].

1.4. Kombi Çalışma Prensibi

Çift eşanjörlü bir kombi çalışmaya ilk başladığı anda evin ısınması için devreye girer. Evib ısınması için gerekli ısı enerjisi sirkülasyon pompası ve fan (hermetik modellerde) yardımıyla sağlanır. Gaz ayar vanası (2 numaralı parça) açılarak ana eşanjöre gaz gönderilir ve ateşleme ile yanma başlar. 3 yollu vana –motorlu vana - (3 numaralı parça) ısıtma eşanjöründen (1 numaralı parça) çıkan su ısıtma sistemine gönderilir. Isıtma sistemine giren su radyatörlerde dolaşır, ısısını ortama bırakan su tekrardan kombiye ger döner [3].

Kombi kullanım sıcak suyu için çalışmaya ayarlanmışsa (yaz konumu) veya ısıtma konumunda iken sıcak su musluklarından biri açılırsa, akış anahtarı sıcak su devresindeki su akışını hisseder ve 3 yollu vana konum değiştirerek sıcak su konumuna geçer. 3 yollu vana ısı eşanjöründen (1 numaralı parça) çıkan suyu plaka tipi eşanjöre (4 numaralı parça) yönlendirir, eşanjöre yönlendirilen kullanım suyu ısıtılır. Sıcaklık belirlenen sınır değerlerinin üzerinde bir değere çıkarsa gaz girişi kesilerek kombi kapatılır. Bazı kombilerde ise tek eşanjör bulunmakta, ısıtma sistemi ile kullanma suyu aynı eşanjör içerisinden geçmektedir. Bu kombiler diğer kombilere oranla daha ucuzdurlar. Ancak sürekli eşanjör içerisinden su geçtiğinden kireçlenme ihtimali daha fazladır [3].



Şekil 1-2. Kombi İç Yapısı [4].

1.5. Kombi Çeşitleri

Doğalgazla çalışan kombi cihazlarında, doğalgazın yanmasıyla elde edilen ve daha sonrasında suya aktarılan ısı enerjisi kullanılmaktadır. Bu yanma sonucunda ise “karbon monoksit” (CO) ve “azot oksit” (NOx) gazları da atık gaz olarak ortama yayılırlar. Ortama yayılan bu kirletici gazların vermiş olduğu ısıdan faydalanma düşüncesi ile “yoğuşmalı kombiler” geliştirilmiştir. Yoğuşmalı olmayan kombiler ise “konvansiyonel kombiler” olarak anılır. Konvansiyonel kombilerde çift eşanjör bulunur. Bunlardan birincisi brülörün hemen üzerinde yer alan ve alevle direk temas halinde olan “primer eşanjördür”. Diğer eşanjör ise “plakalı eşanjördür”. Plakalı eşanjör ise primer eşanjörden beslenir. Yani alev öncelikli olarak primer eşanjördeki suyu ısıtır, ısınan bu su ile de şebekeden plakalı eşanjöre gelen soğuk su ısıtılır ve sıcak kullanım suyu elde edilir. Bundan dolayı bu eşanjörlere “sekonder eşanjör” de denir [4].



Şekil 1-3. Detaylı Kombi İç Yapısı [5].

Yoğuşmalı kombilerde, konvansiyonel kombilerdeki iki eşanjöre ilave olarak yoğuşmanın gerçekleştiği üçüncü bir eşanjör daha vardır. Bu eşanjöre “turbo eşanjör” denir. 2018’den itibaren konvansiyonel kombilerin kullanımına son verilecek olup, bu kombilerin yerini alacak olan daha uygun maliyetli Yarı Yoğuşmalı (Semi Condense) kombilerin satışına başlanacaktır. Konumu fan motorunun yer aldığı üst kısımda fan motorunun hemen yanındadır.



Şekil 1-4. Turbo Eşanjör [2].

Hava ve doğalgazın yanması sonucu elde edilen sıcak atık gaz atmosfere bırakılmadan önce son kez bu eşanjör yüzeyine temas eder ve ısını bu buraya bırakarak atmosfere atılır. Bu esnada yoğuşma sonucu asidik özelliği olan yoğuşma suyu da açığa çıkar. Bu suyun tahliye edilmesi gerekir. Tasarıma göre değişmekle birlikte yoğuşma eşanjörleri kombinin yan tarafında da yer alabilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 1.7.) konvansiyonel ve yoğuşmalı kombilerin kıyaslanması görülmektedir. Atık gazların ortama direk atıldığı klasik kombilerden farklı olarak yoğuşmalı kombilerde bu gazlar fan motorunun da yardımıyla önce aşağı doğru yoğuşma eşanjörüne yönlendirilmekte, içindeki sudan ötürü soğuk bir yüzeye sahip eşanjör yüzeyi ile sıcak atık gazların temas etmesi sonucu yoğuşma gerçekleştirilmektedir.

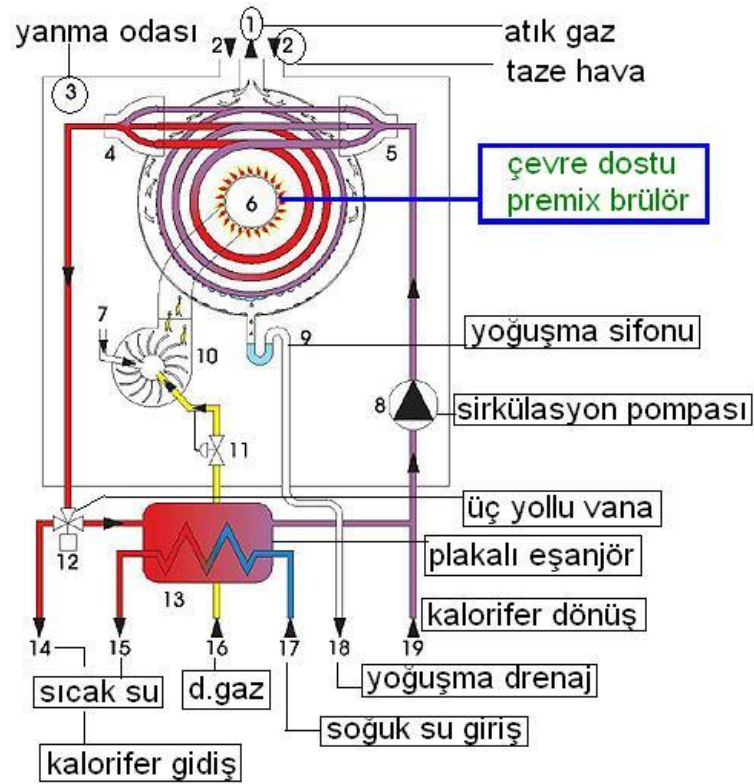


Şekil 1-5. Yoğuşmalı Bir Kombi [2].



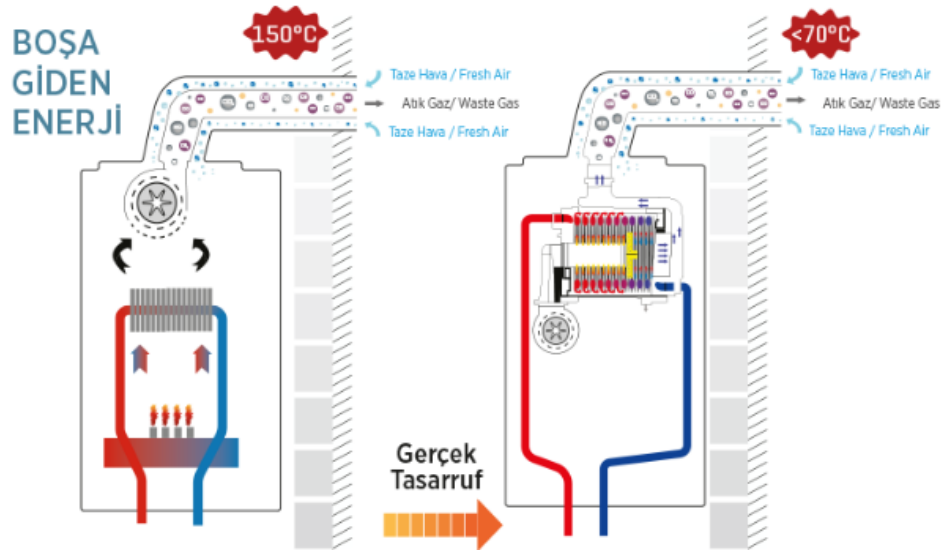
Şekil 1-6. Premix Kombi [2].

Son olarak tam yoğuşmalı kombilere geçmeden önce sizlere “zengin karışımın” tanımının yapılması gerekir. Özellikle otomobil tutkunlarının çok yakından bildiği bu kavram yanıcı ve yakıcı maddelerin önce bir araya getirilerek zengin bir karışım oluşturulması ve ardından alevle temas ettirilerek çok daha verimli bir şekilde yakılmasıdır. Kombi ve doğalgaza uyarlandığında ilk göze çarpan bu kombilerde fan motorunun üstte değil aşağıda, doğalgaz girişinde yer almasıdır [3].



Şekil 1-7. Tam yoğuşmalı Premix Kombi [2].

7 numaradan gelen taze hava ile 11 numaradan gelen doğalgaz, 10 numaralı fan motoru aracılığı ile zengin bir karışım oluşturarak çevreye duyarlı “premix brülöre” gelir ve burada yanma gerçekleşir. Yanma sonucu ortama çıkan atık gaz direk atmosfere verilmeyip sarmal dairesel eşanjör kanallarda dolaştırılır ve yoğuşma sağlanır. Daha sonra 1 numaralı baca çıkışından dışarı atılır. Bu sayede maksimum verim elde edilmiş olur [2].



%93 Verim, Konvansiyonel kombilerde su buharı buhar fazında bacadan atılır ve su buharının içindeki gizli ısı gözardı edilir.

%109 Verim, Yoğuşmalı kombilerde baca gazı dışarı atılmadan önce giriş suyu ile çarpıştırılır, böylece baca gazı içerisindeki su buharının içindeki gizli ısıdan faydalanılır.

Şekil 1-8. Konvansiyonel ve Yoğuşmalı Kombi [6].

Daikin'e Ait Özel Tasarımlı Eşanjör

Daikin teknolojisi ve AR-GE gücü ile dizayn edilmiş TAM Yoğuşmalı, Yüksek verimli ve Premix Isı Eşanjörü

Brülör Grubu

Metal-fiber alaşımı brülör teknolojisi sayesinde kombi sürekli 3 kW minimum kapasitede çalışabilir.

Gaz Valfi

Güvenli yanma teknolojisi olan Scot kontrol sistemi hatasız hava ve gaz karışımı ile yanma kontrolü sağlar. Farklı gaz tiplerine hızlı ve otomatik adaptasyon ve yüksek kullanım ömrü sunarak cihazdaki yanma tutarsızlıklarının önüne geçer.

Fan

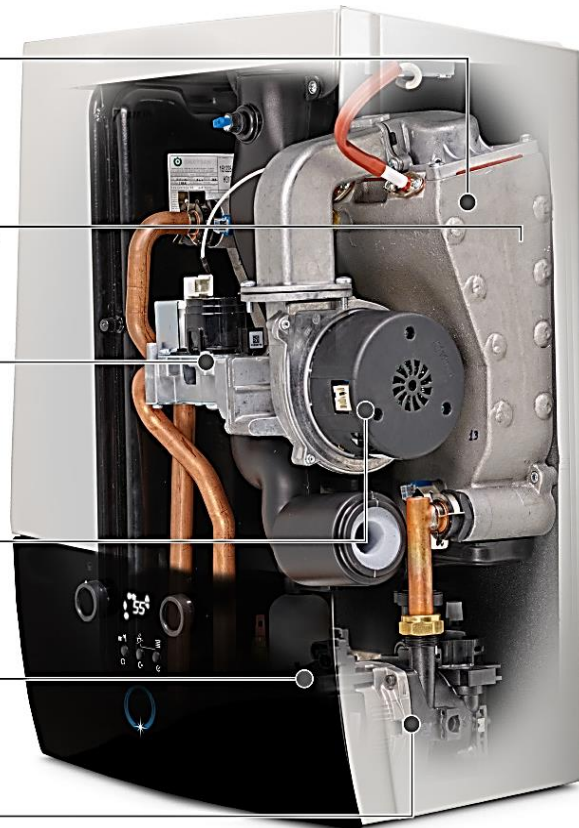
Yüksek sezonsal verimlilik
Frekans kontrollü fan yapısı sayesinde 1/8 oranında modülasyon oranı

Hidrolik Grup

Pirinç lehimli, yüksek ısı transferi ve yüksek korozyon direncine sahip paslanmaz eşanjöre sahiptir. Pirinç hidrolik grup ve Daikin tasarım sifon ile yüksek malzeme kalitesi sunar.

Sirkülasyon Pompası

Yüksek verimli
Frekans kontrollü sirkülasyon pompası ile elektrik enerjisi tasarrufu

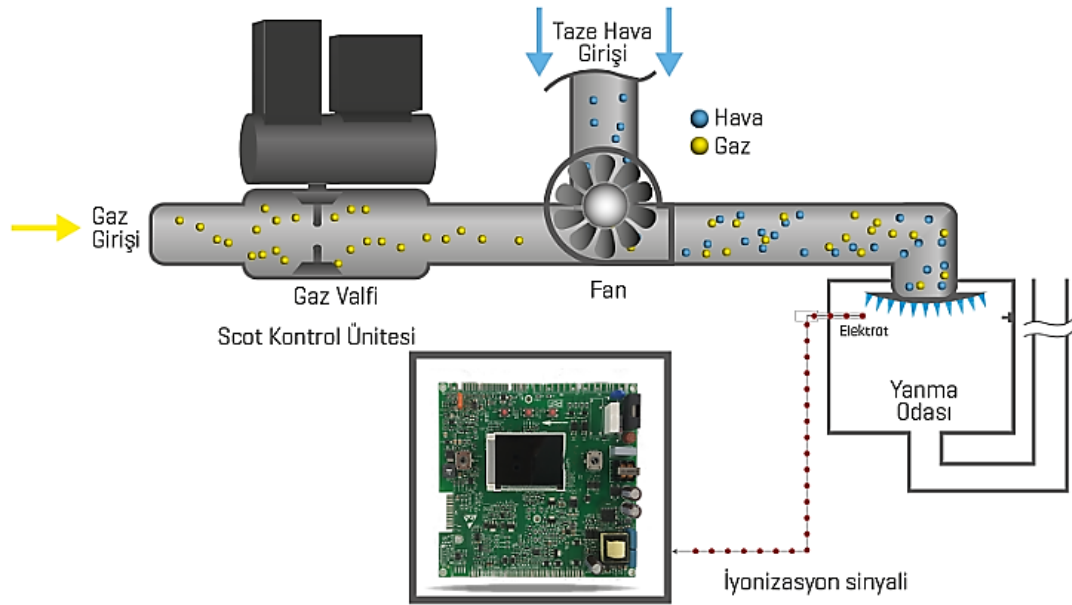


*Hacimsel olarak en küçük kombi, sadece 0,06 m³lük yer kaplar.

Şekil 1-9. Daikin Yoğuşmalı Kombi 24kW [6].



Şekil 1-10. Daikin Yoğuşmalı Kombi 24kW [6].



Şekil 1-11. Dakin Scot (Hava-gaz karışım kontrol sistemi) [6].

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışması kapsamında yaklaşık yabancı kaynaklı 80 makale taranmış ve bunların içerisinde 11 tanesi yapılan çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda kireçlenme sonucunda ısı değiştiricilerin su kanallarında daralma olduğu gözlemlenmiş ve bunun sonucunda su akış hızında azalma, sistemlerin enerji tüketimlerinde artışlar olduğu görülmüştür.

2.1. CaCO₃ Kristalizasyonunun Kirliliği - Deneysel Termal Direncin Ve Belirsizliğinin Analizi

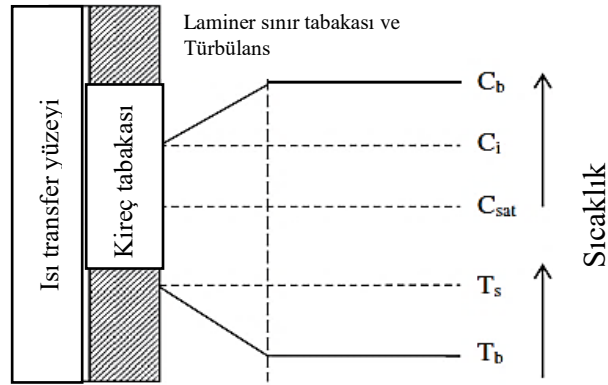
Sıklıkla bir ısı aktarım yüzeyinde istenmeyen malzemelerin birikimi olarak tanımlanan kirlenme, ısı transferini azaltır ve ısı eşanjörleri gibi işlem birimlerinin basınç düşüşünü artırır [8].

Kristalizasyon kirlenmesi, çözülmüş tuzların sulu bir solüsyonda çökelediğinde oluşur. Kalsiyum karbonat (CaCO₃) gibi ters çözülebilir tuzlar söz konusu olduğunda, ısıtılmış duvarlarda yani ısı değiştiricilerinin yüzeylerinde kristal büyümesine neden olabilir. Bu makalede, CaCO₃ 'ün yüzey kristalleşmesi, yığın sıvısındaki kristalleşme ve ısıtılmış bir duvar üzerindeki kirlenme oranları üzerine etkisi incelenmiştir. Kirlilik deneyleri, düz plakalı bir ısı eşanjörünün laboratuvar ölçekli kurulumunda yapılmıştır.

Yüzeylerde kristallenme hızının duvar sıcaklığına bağlı olarak değiştiği ve yüzey entegrasyonunun kirlenme prosesine hakim olduğu bulunmuştur. Akış hızı kirlenme sürecini etkilemektedir özellikle yüksek duvar-yüzey sıcaklıkları kirlenme hızını artırarak akış hızını azaltmaktadır [8].

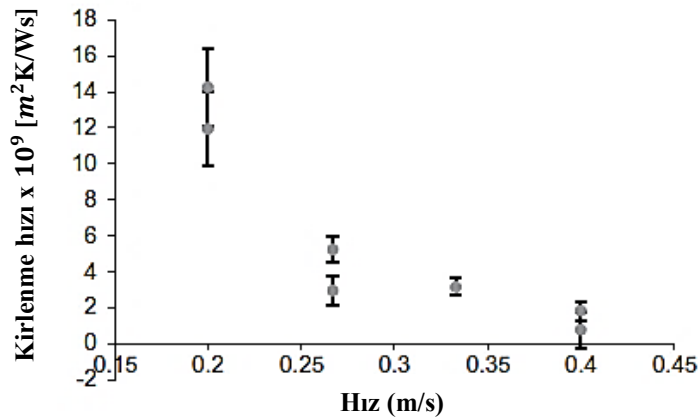
Kalsiyum karbonatın kristalleşme kirlilik artışı, pH artışından kaynaklanabilir, bu da kalsiyum karbonatın çözünürlüğünü azaltır. Isı eşanjörlerinde ısıtılmış yüzeyler bu nedenle kristalleşme kirliliğine kolayca maruz kalırlar [8].

Bu çalışmanın amacı, farklı çalışma koşullarının, ısıtılmış dikdörtgen bir akış kanalı içindeki kalsiyum karbonatın yüzey kristalizasyonu üzerindeki etkilerini incelemek ve ayrıca incelenen proseslerde baskın kirlenme mekanizmasını tanımlamaktır [8].



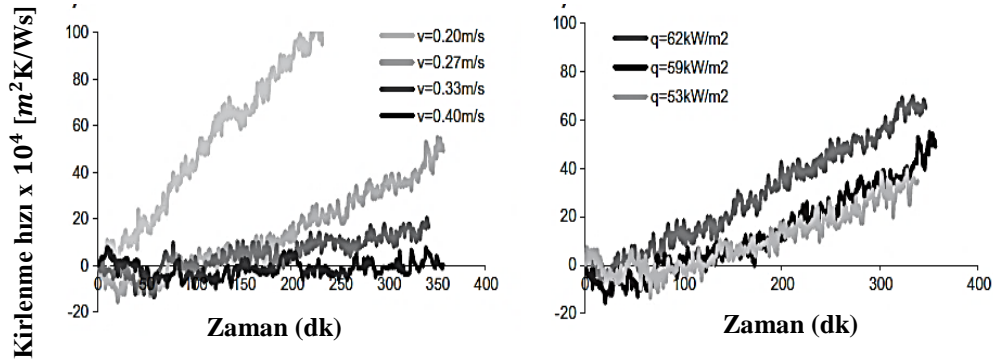
Şekil 2.1. Isı Transfer Yüzeyi Sıcaklık Ve Konsantrasyon Grafiği [8].

Bu grafik bize ısı transfer yüzeylerindeki sıcaklık ve konsantrasyon profillerini göstermektedir. Yapılan testler hız artışı ile yüzeylerde oluşa birikintilerin azaldığını göstermiştir. Duvar sıcaklığı ve laminer sınır tabakasının kalınlığı akış hızı arttıkça azalır.



Şekil 2.2. Yüzeydeki Kristalleşme - Akış Hızı Grafiği [8].

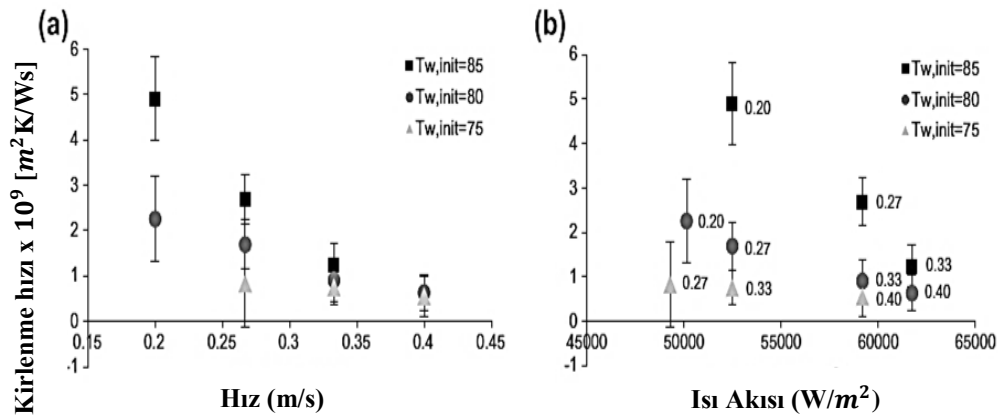
Sıcaklık, yüzey entegrasyonu üzerinde üssel bir etkiye sahiptir ve bu, yüksek akış hızı ve daha düşük duvar sıcaklığı ile kirlenme sürecini çok daha yavaş hale getirir.



Şekil 2.3. Akış Hızı - Kirlenme Grafiği [8].

İncelenen durumda, duvar sıcaklığı sabit kalmak şartıyla artan akış hızı ile kirlenme oranının azaldığı görülmüştür (Şekil 2.3.).

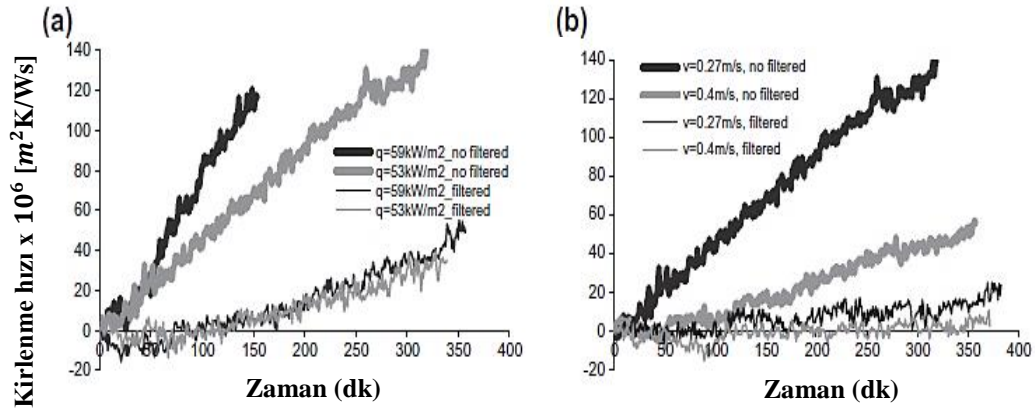
Farklı duvar sıcaklıklarında (Tw) akış hızı ve ısı akısının etkileri ise aşağıdaki grafiklerde olduğu gibi gözlemlenmiştir.



Şekil 2.4. Sıcaklığa ve Hıza Bağlı Kirlenme Değişimi Grafiği [8].

Çözeltilerin doyma konsantrasyonu çözeltilerin sıcaklığına ve pH değerine bağlıdır. CO₂' in çözünürlüğünü ve solüsyondaki pH değerini etkileyen havanın kısmi basıncının deneyler sırasında sabit olduğu kabul edilir ve bu nedenle doymuşluk konsantrasyonu

üzerindeki etkisi küçük kabul edilir. Son olarak ise farklı ısı akısında ve farklı hızlarda filtre kullanılarak (a) ve filtre kullanılmadan (b) testler yapılmış ve şu sonuçlar gözlemlenmiştir [8].

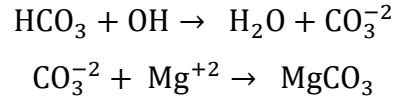


Şekil 2.5. Kirlenme Direnci Isı Akısı Ve Hız Grafiği [8].

2.2. Sert Su, Kireçlenmeye Etkisi Ve Kireç Arıtma Yöntemleri

Su Sertliği: Su, çökelti verebilecek önemli miktarda iyonlar içeriyorsa, suyun **sert su** olarak tanımlanır. Sert su kalsiyum, magnezyum ve ağır metal iyonları içerir. Sabun ile çökelek oluşturur. Sertlik günümüzde, numunedeki bütün çok yüklü katyonların toplam konsantrasyonuna eşdeğer kalsiyum karbonat konsantrasyonu cinsinden ifade edilir. Sert su ile yapılan buz buğulu bir görünümde olur [9].

Geçici su sertliği: Bikarbonat iyonu, (HCO_3^-)aq içerir. Bikarbonat iyonu içeren su ısıtılırsa, bikarbonat iyonu (CO_3^{2-}), (CO_2) ile (H_2O) olmak üzere kolaylıkla ayrışır. (CO_3^{2-}) suda çok değerlikte olan katyonlar ile tepkime vererek (CaCO_3^{2-}) ile (MgCO_3) çökeltisiyle kazan taşı denilen tortu oluşur. Kazan taşı denilen tortunun oluşumu buhar üreten sanayi kazanları ve buharla çalışan elektrik santrallerinde oldukça önemli sorunlara neden olmaktadır. Kazan taşı (tortu) oluşumu su ısıtıcılarının etkinliğinin azalmasına neden olur ve sonrasında kazanın aşırı ısınmasına yol açabilir. Geçici sertlikte olan su, suya sönmüş kireç katılması ve metal karbonat çökeltisinin süzülmesi vasıtasıyla yumuşatmak mümkündür. Baz madde, bikarbonat iyonuyla tepkimeye girer su ve karbonat iyonunu oluşturur [9].



Kalıcı su sertliği : HCO_3^- yanında önemli derişiklerde, SO_4^{-2} gibi başka anyonlar da içerir. Kalıcı sert suyu yumuşatmak için, içerisine Na_2CO_3^- (çamaşır sodası) eklenir. Ortamdaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi katyonlar karbonatlar halinde çöktürülür. Geriye kalan su Na^{+2} iyonu içeren yumuşamış sudur. Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarını içeren su sabun ile çökelti oluşturur ve köpürmeyi engeller [9].

Suyu yumuşatmak demek suyun içerisinde sertliğe neden olan mineral maddeleri (katyon ve anyonları) sudan ayırmaktır. Suların yumuşatılması şu nedenlerden dolayı önem arz etmektedir;

- Çamaşır yıkanma aşamasında daha az deterjan harcanır,
- Sert sularda bulunan mineraller su borularının içerisinde birikerek boruların tıkanmasına ve basınç kayıplarına yol açar.
- Kapalı sistem çalışsa da Kombi sistemlerinde eşanjörlerin tıkanmasına ve gaz sarfiyatının artmasına, sistemin arızalanmasına sebep olur.
- Su ürünleri yetiştiriciliğinde de önemlidir.

Su sertliğinde rol oynayan en önemli bileşenler ise kalsiyum ve magnezyumun bikarbonat ve sülfatlarıdır. Az miktarda kalsiyum ve magnezyum klorür ve nitrate rastlanır. Suların bikarbonatlarının neden olduğu sertlikler havalandırılma suretiyle kısmen giderilebilir. Ayrılan CO_2 yüzünden suda çözünmeyen karbonatlar oluşur.



Not: Sülfatların oluşturduğu sertlik ise genel olarak bu şekilde giderilemez.

Suları yumuşatmak için kullanılan başlıca metotlar:

- Soda ve Kireç içeren metod

- Alüminyum sülfat ve Şap ile uygulanan metot
- Permutit metodu
- Tri-sodyum fosfat metodu
- İyon değiştiricisi metodu

Bu metodlarda prensip hep aynıdır. Ca ve Mg tuzlarını almak ya da Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarını Na^{+2} iyonlarıyla değiştirmek gerekir.

2.3. Deneysel Isı Değiştiricili Devrede Kireçlenme Oluşununun Ölçümü

Sudaki iyonların çökmesi boruların tıkanması, enerji tüketiminde artış, çalışma problemleri gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Ayrıca bu çökeltilerin kaldırılması da oldukça pahalıdır. Özellikle kazan ve soğutma sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricilerinde bu problemle karşılaşılmaktadır. Çökme genel olarak kalsiyum karbonatın çözünürlüğünün azalmasından kaynaklanır [10].

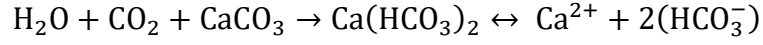
Çökme oluşumunun sınıflandırılması

- Alkalinlerin çökmesi
- Alkalin olmayanların çökmesi

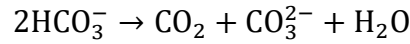
Alkalin çökme kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit çökmesi ile gerçekteşir. Magnezyum hidroksitin çökmesi durumunda çözünürlük (çökelmeye karşı meyil) sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. 82°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda $Mg(OH)_2$ 'nin çökme ihtimali $CaCO_3$ 'ten daha fazladır [10].

Alkalin olmayanların çökmesi sadece konsantrasyona bağlı olup ayrıştırma reaksiyonları bulunmamaktadır. Bu tip bileşimlere örnek olarak anhidrat ($CaSO_4$), hemihidrat ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$) ve dihidrat ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) gösterilebilir. Bu bileşimlerin her biri farklı çözünürlük karakterlerine sahiptir. 120°C'nin altında anhidrit çökmesi ve üzerinde ise hemihidrat çökmesi daha mümkündür. Sülfat kökenli çökme daha zordur [10].

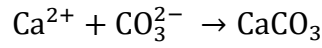
2.3.1. Kalsiyum çökmesi



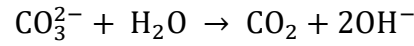
Denklem 1.1'e göre çift taraflı reaksiyona uygun olarak su ısıtıldıkça sistemden ayrılan karbondioksit, $\text{CO}_2 - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^-$ dengesini bozar. Karbonat konsantrasyonu da 71°C'nin üzerinde yükselir ve denklem 1.2'ye uygun olarak bikarbonat iyonu oluşur.



CO_3 iyonları kalsiyum iyonları ile birleşerek kalsiyum karbonatı oluştururlar.



Su daha fazla ısıtıldığında ise kalan karbonatlar denklem 1.3'te belirtilen formlara dönüşürler.



Kalsiyum karbonat iki kristal formu bulunmaktadır. Bunlar kalsit ve aragonittir. Kalsiyum karbonat ve iki kristal yapının birleşiminde olabilir.

2.3.2. Çökelmeye etkiyen faktörler

- a) Kimyasal faktörler
 - a.1.) Aşırı doymuş çözelti
 - a.2.) Akış hızı
 - a.3.) Sıcaklık
- b) Sistem malzemesi ve proses faktörleri
 - b.1.) Isı transfer prosesi
 - b.2.) Yüzey malzemesi
 - b.3.) Yüzey temizlemesi
 - b.4.) Isı değiştiricisi tipi

c) Kimyasal faktörler :

Aşırı doymuş çözeltilerde çökme olma olasılığı daha yüksektir. Görece daha saf kristal yapı içeren çözelti en güçlü çökme yapısına sahiptir. Karışık kristal yapılu çözeltilerin çökme yapısı daha zayıftır. Akış hızının artması kütle transferinin artmasına sebep olurken, ara yüzey kayması malzemenin yüzeye tutunma ihtimalini azaltır. Güçlü bağa sahip tabakanın büyümesi lineer olurken, zayıf bağli tabakanın büyümesi asimptotik olmaktadır. Tipik uygulamalarda çökelmenin oluşması yüzey sıcaklığı arasında üstel bir fonksiyon ilişkisi vardır.

d) Sistem malzemesi ve proses faktörleri :

Isı transfer prosesi kimyasal reaksiyonlarla oluşan çökmedeki en önemli sebeptir. Faz değişiminin olmadığı ısıtma proseslerinde yüksek sıcaklık yüzeylerinde gerçekleşirken, faz değişiminin olmadığı soğutma proseslerinde ise partikül ayrışmasından kaynaklı olarak çökme gerçekleşir. Yüzey malzemesi ise temas ettiği akışkana göre farklı katalitik reaksiyonlara girip çökme oluşumunu engelleyici veya artırıcı etkilere sahip olabilir. Yüzey temizlemesi ise doğru bir şekilde yapılmadığı zaman temizleme olmadan önceki duruma göre daha fazla çökmeye sebep olabilir. Isı değiştiricisi tipleri içerisinde ise plakalı tiplerin çökme prosesine daha çok maruz kaldığı belirtilmektedir.

2.3.3. Çökelme oluşumunun ölçüm metotları

a) Fiziksel teknikler

Kütle ölçümü: Örnek ısı değiştiricisinin ağırlık değişimi

Isı transferi etkinliği: Su tarafı ısı yükünün kontrolü

Görsel kontroller: Çökelti kalınlığının tayini

b) Kimyasal teknikler

pH: Stabil suda çökelme veya depolama olmaz. Kalsiyum karbonatın çözünürlüğü pH düştükçe artar. Bunun tersi olarak pH artışı çökelmeyi artıracaktır. Denge koşullarında kalsiyum karbonatın çökmesi pH 9,5'ta tamamlanmış olur. Sıcaklıktaki artış CO_2 'nin sıvı yapıdaki çözünmüş halinin gaz olarak deşarj olmasına sebep olur. Bu durumda pH artış gösterir ve kalsiyum karbonat çökmesi de artar. Bazı araştırmacılar pH ölçümünü çökelti oluşum başlangıcını tayin etmek için kullanmışlardır. pH değişimi çökelmenin de başladığının göstergesidir [10].

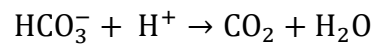
Çökeltinin yapısı: Bazı araştırmacılar çökelme miktarını sertlik seviyesine göre tayin etmektedir. Bazı araştırmacıların çalışmalarına göre ise manyetik bir parçanın bulunması durumunda çökelmenin daha yumuşak yapıda olabileceği bulunmuştur. Yumuşak çökelmeler fırçalama ile mekanik olarak temizlenebilirken sert çökelmelerde ise asit kullanımının gerekliliğini tespit etmişlerdir [10].

Kristal yapı: Çeşitli kimyasal teknik uygulamaları veya prosesleri (Fe^{+2} katkısı, soğutma prosesi) ile kristal şekli, büyüklüğü, görüşünü ve poliform durumlarının oluşturulabileceği ile ilgili çalışmalar mevcuttur [10].

2.3.4. Çökme oluşumunun ölçüm metotlarıÇökme oluşumunu önleme metotları

a) Kimyasal uygulama

Kuvvetli asit ilavesinin proses öncesi ilavesi ile bikarbonat oluşumunun engellenmesinin amaçlandığı uygulamalar ile önleyici veya yavaşlatıcı etkiye sahip katkıların kullanımını kapsamaktadır. Bunlardan kuvvetli asit ilavesi genel olarak böyle bir uygulamada bikarbonat iyonları su ve karbondioksit'e dönüşür.



İnhibitörlerin kullanımında ise dört genel metot vardır.

b) Eşik inhibitörleri

Polifosfat ve bazı polimerlerin kullanımı kalsiyum çökme potansiyelini azaltmaktadır. Bunlar çökme prosesinin ertelenmesini sağlar. 1 ila 5 mg/L inhibitör ilavesi çok sert sularda bile etkili olabilmektedir. Yalnız bu tip bir uygulama evaporatif soğutmada etkili değildir. Çünkü konsantr'e sudaki çözünür kompleks için yüksek dozajda polifosfat gereklidir.

c) Seyreltici

Organik seyrelticiler (polimerler gibi) uygulandığında moleküllere elektrik yüklemesi yapılır. Asılı haldeki katıları yüzeylerinden absorbe ederek bu katıların seyreltilmesini sağlarlar. Bu yüzden partiküllere elektrostatik yüklemeye yapmak kendi içlerinde bir itki kuvveti oluşmasını sağlar. Diğer bir deyişle seyrelticiler, askı haldeki katı partiküllerin nötr halde bulunmaları yerine elektrik yüklerini artırarak pıhtılaşmalarının önüne geçer [10].

d) Yüzey aktif madde

Bu tip maddeler anti çökme yapısını oluşturup katının yüzeye tutunmadan su içerisinde aktarımına devam etmesini sağlar.

e) Kristal form dönüştürücüler

Bu tip maddeler kristal yapısında değişiklik sağlayarak yapısal olarak daha zayıf çökelek oluşumuna sebep olurlar. Bu kimyasallar endüstriyel sistemlerden özellikle soğutma sistemleri ve kazanlar için tercih edilir.

Çökelti formu oluşturan madde kullanımında ise katyon değiştirici reçineler kullanılarak kalsiyum iyonlarının sodyum iyonlarıyla yer değiştirmesi sağlanabilir. Hatta kalsiyum ve bikarbonat iyonları magnezyum karbonat kireç çökeltisi prosesi ile elde edilebilir. Bu tip proseste sudaki kalsiyum klorid ve kalsiyum bikarbonat magnezyum karbonat ve kireçler etkileşime girerek bir çökelti oluşturur. Oluşan çökelek daha sonra filtre edilebilir [10].

f) Fiziksel uygulama

Bu uygulama adından da anlaşılacağı gibi kimyasal reaksiyon içermeyen proseslerle yapılır. Uygulama manyetik alan esasına dayanır. Bunun için kalıcı mıknatıslar, elektro-mıknatıslar veya elektrotlar kullanılır.

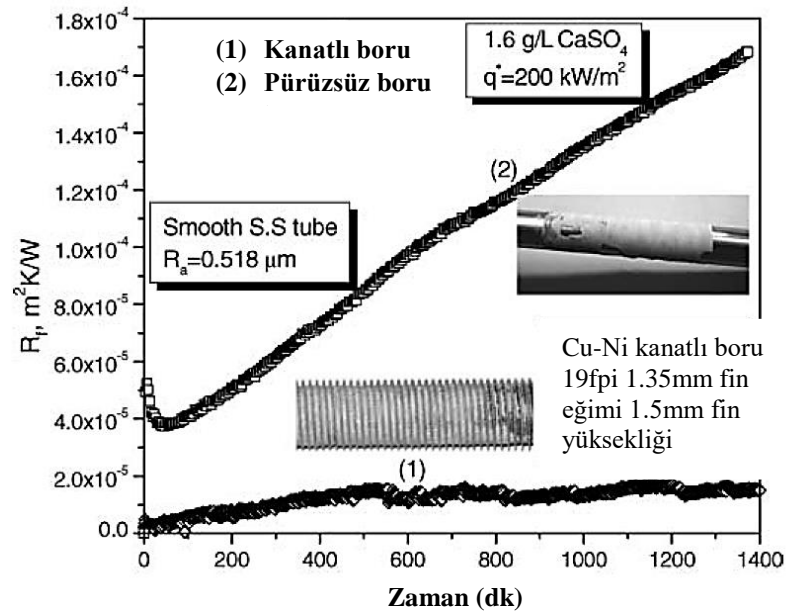
2.4. Isı Değiştiricilerinde Kirlenme: Azaltma ve Temizleme Metodları

Isı değiştiricileri kimyasal, petro kimyasal, gıda ve enerji üretimi proseslerinde kullanılmaktadır. Dünya genelinde Pazar büyüklüğü 12.7 milyar dolardır ve yılda % 3-5 artmaktadır. Baktığımız zaman büyük problemlerden biri ısı değiştiricilerinin yüzeylerinde istenmeyen malzemelerin birikmesidir. Yüzeyde biriken kirlenme verimi düşürerek, gayri safii yurtiçi hasıllarda % 0,25 ekstra giderlere neden olmaktadır, ayrıca karbon dioksit salınımının % 2.5 kadarını etkilemektedir. Bu nedenlerle ve güvenlik açısından kirlenmeyi etkin temizleme ve azaltma yöntemleri olmalıdır [11].

Bu çalışmada bu kirlenmeyi azaltma ve temizleme teknikleri tartışılmış, geliştirme alanları tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekilde kirlenmeyi azaltıcı teknikler gruplandırılmıştır,

2.4.1. Tasarımla ısı eşanjörünün kirliliğinin azaltılması (eşanjör tasarımında)

Bu yayında Müller Steinhagen çeşitli varyasyonların tasarım aşamasında nasıl uygulanması gerektiğini araştırmış ve bunun sonucunda tabaka oluşumunun azaltılması hakkında çalışmıştır. Kompakt ısı değıştiricileri özellikle plate-frame, spiral akışlı, fin tube (tırtıklı yüzey) ısı değıştiricilerinde yüzey sıcaklıklarının azalması, türbülans seviyesinin artması ve homojen akış dağılımına bağlı olarak kirlenmelerin azaldığı görülmüştür (Şekil 2.6.), [11].

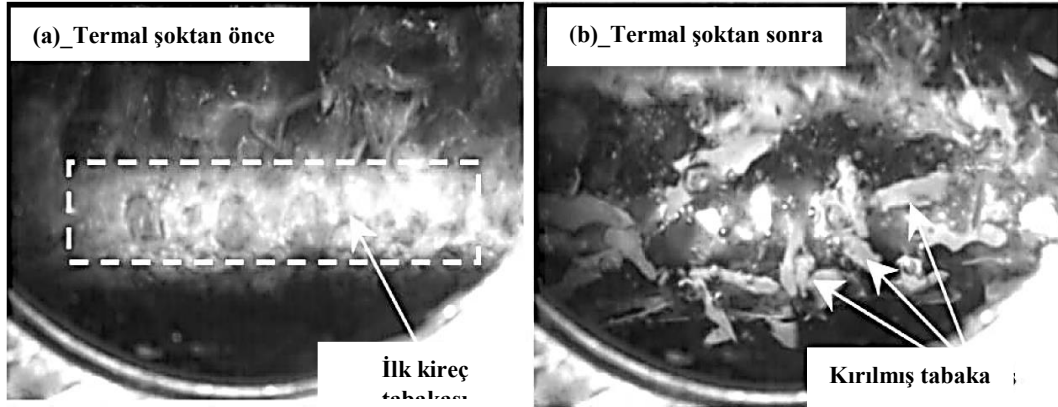


Genel olarak olarak ısı değıştiricisi mühendisleri mekanik ve kimyasal yöntemlere güvenmektedir, fiziksel yöntemler erken gelişme dönemindedir.

- a) Termal şoklama,
- b) Kimyasal temizleme yöntemleri

2.4.2. Termal şoklama sonucu

Isı transfer yüzeylerinin kısa süre düşük veya aşırı ısınması sonucunda tüp ve birinkitilerin farklı genleşme davranışlarında bulunmalarından dolayı kalıntı tabakalarında çatlamlar oluşmaktadır. Şekil 2.7. Çökelti kalınlığı 2 mm ye ulaştığında CaSO_4 çözeltisinin kaynamasıyla ortaya çıkan etkiyi göstermektedir [11].



Şekil 2.7. Termal şoktan önce (a) ve sonra (b) tortu tabakası CaSO_4 solusyonu 1,6g/L ve ısı akısı 300 kW/m² [11].

2.4.3. Kimyasal temizleme yöntemleri

En geniş kullanım alanına sahip yöntem olup, karmaşık yapıdaki ısı değıştiricilerinde uygulanması en uygun temizleme yöntemidir. Kimyasal inhibitörler kullanılır. Tablo 2.1. farklı kirlenme mekanizmaları ve kirleticiler için inhibitörleri vermektedir [11].

Tablo 2.1. Farklı kirlenme mekanizmalarında kimyasal inhibitörlerin kategorizasyonu [11].

Fouling mechanism	Foulant	Inhibitor agent
Crystallization, precipitation	Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Ion exchange
	CaCO ₃	Ph control
	CaSO ₄	Scale inhibitors (e.g., ethylenediamine tetraacetic acid [EDTA])
	Soft and hard scalants	Adsorption agents (e.g., polyphosphates)
	Soft and hard scalants	Crystalline weakening agents (e.g., polycarboxylic acid)
Particulate	Particulate matter	Surfactants or dispersants
Chemical reaction	Oxygen (polymerization)	Antioxidants
	Metals (reaction catalyst)	Metal deactivators
	Insoluble hydrocarbon particles	Dispersants
Biofouling	Micro- and macroorganisms	Oxidants (biocide, chlorine)
Corrosion fouling	Passivating oxide layer	Passivating oxidants and pH control

2.4.4. Kapalı sistem temizleme yöntemleri (eşanjörler için uygulanabilir olan yöntem)

Isı değiştiricisi iyi tasarlanmış ve akışkan artırılmış olsa da, ısı değiştiricilerinin düzenli temizlenmesi gerekecektir. Mekanik temizlik yalnızca çökelmeyi kaldırmaz aynı zamanda boru yüzeylerindeki koruyucu oksit tabakasını da kaldırabilir. Ve bu belirli şartlar altında korozyon problemi yaratır. Diğer yandan düzenli temizlik çökeltiyi kaldırır ve akış koşullarını etkilemez (durgun akış ve kimyasal reaksiyon nedeniyle oluşan). Çok yüksek şiddette oluşmuş kirlilikler için mekanik ve kimyasal temizleme kombinasyonu birlikte kullanılabilir. Yüksek basınçlı su veya hava (buhar) ile temizleme (Yüksek basınçlı su ve hava (buhar) ile temizleme).

1500 bar basınçta su ve hava (buhar) ile birikintilerin temizlenmesi sağlanabilir. Isı değiştiricilerinde oluşan yabancı tabakalar performans üzerinde büyük olumsuz etki yaratmaktadır. Bu makalede yeni temizleme yöntemleri üzerinde tartışılmış ve nedenleri hakkında fikirler beyan edilmiştir. Isı değiştiricilerinde kirlenmeyi azaltmak

için önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen performans üzerindeki etkisi hala büyüktür.

2.5. Kimyasal Değişikliğin Deneysel İncelenmesi: Asit Konsantrasyonu' nun Etkisi

Isı değiştiricilerinde, yabancı maddelerin yüzeye tutunması, su akışının karakteristiğini bozmakta ve dolayısı ile basınç kaybına yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak da ısıtıcının veriminin düşmesine ve yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Olumsuz sonuçlara neden olan bu durum için fiziksel, mekanik ve kimyasal temizlemeler gibi farklı çözümler öne sürülmüştür. Fakat ısı değiştiricisinin karmaşık iç yapısı nedeniyle bu yayında M. Suleman Tahir ve Mahmood Saleem kimyasal çözümlerden yararlanmışlardır. M. Suleman Tahir ve Mahmood Saleem yaptıkları deneyde dört farklı asit türü kullanmışlardır. Bu asit türlerinin de farklı derişikliklerdeki etkileri incelenmiştir. 5 gramlık yabancı madde bir saat boyunca farklı asit çözeltilerine maruz bırakıldığında sonuçlar şu şekilde olmuştur [12].

Tablo 2.2. H₂SO₄ (Sülfürik asit) için derişim-çözünme değerleri [12].

Konsantrasyon	Zaman	Başlangıç Ağırlığı	Son Ağırlık	Çözünme
	dk	gr	gr	gr
1%	60	5	5	0
2%	60	5	5	0
3%	60	5	4.5	0.5
4%	60	5	4.5	0.5
5%	60	5	5	0.5

Tablo 2.3. HCOOH (Formik asit) için derişim-çözünme değerleri [12].

Konsantrasyon	Zaman	Başlangıç Ağırlığı	Son Ağırlık	Çözünme
	dk	gr	gr	gr
1%	60	5	4	1
2%	60	5	4	1
3%	60	5	3.5	1.5
4%	60	5	3	2
5%	60	5	2.7	1.3

Tablo 2.4. HNO₃ (Nitrik asit) için derişim-çözünme değerleri [12].

Konsantrasyon	Zaman	Başlangıç Ağırlığı	Son Ağırlık	Çözünme
	dk	gr	gr	gr
1%	60	5	4	1
2%	60	5	3,6	1,4
3%	60	5	2,1	2,9
4%	60	5	1,8	3,2
5%	60	5	0,9	4,1

Tablo 2.5. HCl (Hidroklorik asit) için derişim-çözünme değerleri [12].

Konsantrasyon	Zaman	Başlangıç Ağırlığı	Son Ağırlık	Çözünme
	dk	gr	gr	gr
1%	60	5	3	2
2%	60	5	2,5	2,5
3%	60	5	1,6	3,4
4%	60	5	1	4
5%	60	5	0,3	4,7

Yapılan deney sonucunda inorganik asitlerin organik asitlere göre daha verimli olduğu anlaşılmıştır. En etkili çözücü sıralaması ise HCL > HNO₃ > HCOOH > H₂SO₄ şeklinde tespit edilmiştir [12].

Detaylı olarak incelenen bu 5 makale dışında da yaklaşık 80 yabancı kaynaklı makale daha incelenmiş ve bazılarının içerikleri kısaca aşağıda verilmiştir;

Yang ve Crittenden tarafından eklemeli borular için getirilen eşdeğer hız kavramı daha da geliştirilmiş ve birikim süresi ile duvar kayma gerilmesi arasındaki bağlantının oluşturulması önerilmiş [13].

Klorürün EIS diagramlarına etkisi Su Jingxin ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. (EIS: electrochemical impedance spectroscopy). Sonuçlara göre, klorürün kirlenme sırasında zararlı etkisi bulunan en önemli elementlerden biri olduğu ve korozyona sebep olduğu ortaya koyulmuştur [14].

Eşanjörler üzerine yapılan analizin sonuçları düşük frekanslı akustik dalgaların PHE kirliliğine duyarlı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar kirlenme olayının çeşitli proses çalışma koşullarına yüksek oranda bağlı olduğunu gösterdi [15].

Artan yüzey pürüzlülüğü ve bunu takiben kirliliğin artışı ile test tüpünün metalik yüzey alanındaki azalma izlenmiştir. Laminer akışta veya geçiş akışında kirlenme oranı, hız arttıkça hızlı bir şekilde artar ve çökelti oluşumu moleküler taşıma ile kontrol edilebilir [16].

Bu çalışmada, çalışma koşulunu ve temizlik zamanını eşzamanlı olarak optimize ederek HEN (heat exchanger network) 'deki kirlenmeyi azaltmak için kombine bir yaklaşım sunulmaktadır. Çalışma koşulunun optimizasyonu için, akış hızı, kirlenme, ısı transferi ve basınç düşüşünü ilişkilendirebileceğinden önemli bir değişken olarak seçilmiştir [17]. Mevcut deneylerde, farklı malzeme yüzeyleri üzerindeki kirlenme ve arap sakızı kullanılarak kirlilik azaltımı sistematik olarak incelenmiştir [18].

Eungchan Lee ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sulu ısıtma sistemlerindeki oluklu ısı eşanjörlerinin yüzeyindeki çözünmeyen tuzların çökmesi ile kristalizasyon kirlenmesi olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada kalsiyum sülfat konsantrasyonu, akış hızı, giriş sıcaklığı ve su sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Eşanjördeki su kanal yapısı da bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Görüntüleme testlerinde contaların etrafındaki durgun akış nedeniyle kirlenmelerin fazla olduğu ve yüzeydeki kirlilik miktarının yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak arttığı görülmüştür [19].

T.M. Pääkkönen ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada, düz bir plakalı ısı değiştirici yüzeyinde CaCO_3 'ün kristalizasyon kirlenmesini incelenmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kireçlenmenin ekipmanlarda basınç kaybına neden olduğunu, ısı transfer oranının azaldığını gözlemlemişlerdir. Kirlenme nedeniyle, işletmelerin işletme ve bakım maliyetleri önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, artan enerji tüketimi nedeniyle karbondioksit emisyon oranı artış göstermekte ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlara da neden olmaktadır. Bu nedenle ısı transfer yüzeylerinin kirlenmesini

azaltmak çevresel ve ekonomik etkileri de azaltacaktır. Kireçlenmenin miktarı eşanjörün yüzeyine yerleştirilen termal sensör ile ısı dirençten yola çıkılarak hesaplanmıştır. Ayrıca farklı kirlenme modellerinde kullanılmak üzere akışkan hızının etkisi zamana bağlı olarak ölçekleme faktörü ile modele dahil edilmiştir [20].

Kyle A. Palmer ve ekibi ısı değiştiricilerindeki kirlenmeleri incelemek için optimal test tasarımı üzerine çalışmışlardır. Uçak sistemleriyle ilgili bir çalışma olduğundan kütle, enerji ve momentum dengeleri üzerinde de durmuşlardır. Isı değiştirici modeli, kütle, enerji ve momentum korunum denklemleri temelinde geliştirilmiştir [21].

M. Trafczynski ve ekibi kirlenmenin PID kontrollü ısı eşanjörlerinin dinamik davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Isı eşanjörünün dikkate alındığı bir matematik model MATLAB yazılımı ile önerilmiştir. 3 yıllık çalışma sırasında elde edilen gerçek veriye dayalı bir veri ile bu model doğrulanmıştır. Farklı periyotlarda kesintisiz çalışma koşullarında kireçlenmenin oluşturduğu termal direnç uygun kontrol parametresi ile çalışılmıştır [22].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

NDJ 24 kW ısı değiştiricisi kireçlendirme etkisinin rakiplere karşı test edilmesi amacıyla KIWA Hollanda' ya ait kireçlendirme test standında test edilmiş ve en iyi performansa sahip olduğu kanıtlanmıştır (Rapor numarası GT-160035).

Daikin Türkiye Arge Merkezi bu test standını Kendi bünyesinde geliştirmeye karar vermiş ve 3170029 nolu TÜBİTAK Projesiyle bunu başarmıştır. Daikin tarafından geliştirilen test standı ile kireçlendirme testleri Arge Merkezi bünyesinde yapılmaya başlanmış olup ilk olarak NDJ 24 kW ve NDJ 35 Kw model kombilerinin testlerini tamamlamıştır. Bu tez çalışmasında bu kombilere ait veriler baz alınarak sudaki kireçlenmenin sebep olduğu olumsuzluklar açıklanacak ve çözümleri sunulacaktır.

Kireç oluşumu, Suda bulunan yer alan Kalsiyum karbonat (CaCO_3), Magnezyum karbonat (CaCO_3) sıcak su - soğuk su dengesinin bozulmasıyla kristalize olur ve Kireç oluşumu meydana gelir. Suyu istediğimiz kadar filtre edelim istediğimiz kadar yumuşatalım ve istediğimiz tüm dış etkenleri deneyelim, ozmoz sisteminden iyonu tutabilen sisteme ve miknatıslı iyon tutucu sistemlere kadar bu yöntemlerin tamamı sulu sistemlerde kireç oluşumunu tek başına önlemeye muktedir olamaz [19].

Kireç oluşumu genel olarak incelendiğinde sıcak suyun 30 derece ve üzerindeki su sıcaklıklarında soğuk metalle temas etmesi sırasında Kalsiyum (kalsiyum karbonat, CaCO_3), Magnezyum (magnezyum karbonat MgCO_3) soğuk suda çözünmüş halde olurken, su ısındıkça bu maddelerin bir kısmının kristalize olması ve katı hale geçmesiyle Kireç ortaya çıkar. Kireçlenme başlangıcı su sıcaklığı $28^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$ civarlarındayken başlar ve suyun ısısı ne kadar artarsa kireç oluşum hızı da yükselmeye devam eder. Su ısındıkça sadece su buhara dönüşür ve su içerisinde katılaşan Kalsiyum karbonat/ CaCO_3 , Magnezyum karbonat/ MgCO_3 , mineralleri

sistem içerisinde kalır ve sistemdeki su azaldığı için su ilavesi yapılırken aynı zamanda sisteme kireç ilavesi' de yapılmış olur, bu kombi sistemlerinde sıklıkla görülebilecek bir durumdur.

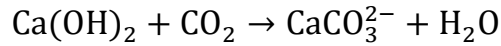
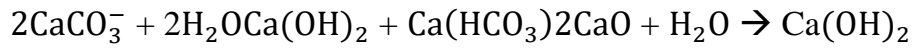
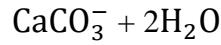
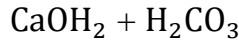
Kireç oluşumuna baktığımızda günlük yaşamda görüldüğü yerler çaydanlık, buhar kazanı, buhar jeneratörü, su ısıtıcısı ve su soğutma kuleleri sayılabilir. Su ısınmaya başladığı zaman kireç oluşumu başlar ve buharlaşma olduğunda ise Kireç kalıntıları sistemde gözle görülür hale gelir.

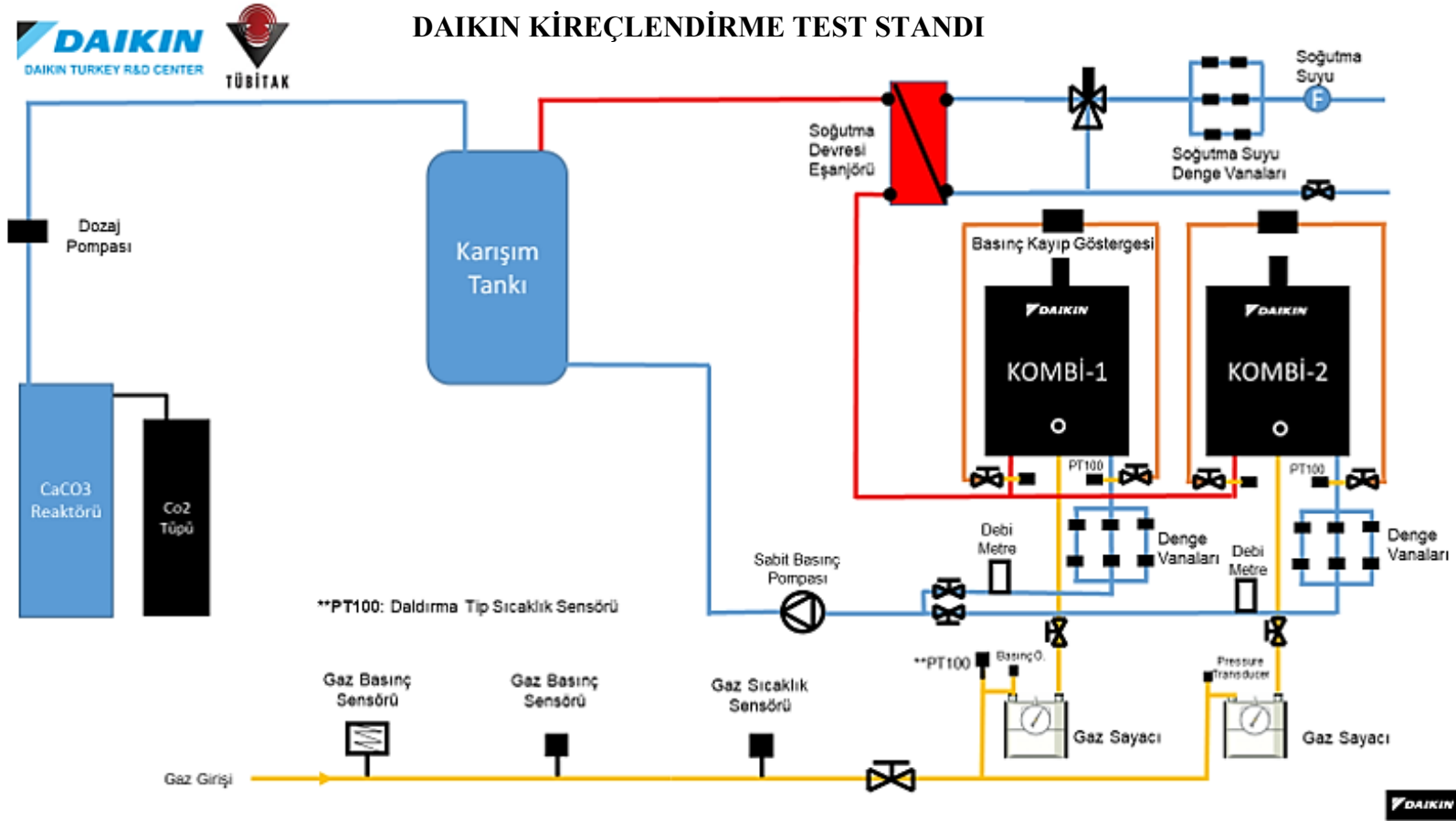
Günümüzde Kireç oluşumu ve kireç temizliği ile ilgili araştırmalar sanayinin çeşitli bölümleri ve sanayi kuruluşları için değişkenlik göstermektedir. Ana sebebe bakıldığında Kireç ile mücadelede temel yol Suyun içerisine katılacak katkılardan geçer yani sistem suyuna direk önleyici kimyasalların ilavesi veya sisteme giren suyun iyonize edilmesi başlıca önleme yöntemlerindedir.

Sisteme eklenecek kimyasal madde su içerisinde bulunan (kalsiyum karbonat, CaCO_3), Magnezyum (magnezyum karbonat, MgCO_3) iyonlarını bağlayıp kireç oluşmasını önleyici yapıya sahip olmalıdır. Sistem suyuna sürekli dozajı veya belirli periyotlarla ilavesi şarttır. Böyle bir ürünün sistem kurulumu gerektirmemesi ve pompa desteğiyle sistem suyu kaybının ve ilavelerinin hesaplanması sonucunda sisteme kireç önleyici kimyasal madde eklenmesi uygun görülmektedir.

- Soğutma sistemlerinde şebekede kireç istenmez.
- Isıtma sistemlerindeyse kireç veya toru birikimi, tesisata zarar verir ve ısınma giderini artırır, kullanım ömrünü ise önemli ölçüde kısaltır, sistemdeki ısının ise yayılımını izole eder. Boru yüzeylerinde birikir ve suyun akış hızını azaltır, yüksek katlara suyun çıkışını zorlaştırır veya engeller, su giderlerinde tıkanıklığa neden olur. Örnek olarak 9 mm kireç tabakası ile kaplı bir kazanın ısınması yaklaşık %53 daha fazla enerji harcanır.
- Musluk suyunda bulunan kireç limonla, sirkeyle vs. giderilemez. Çünkü bu maddelerdeki zayıf asit sistemde yer alan kireç üzerinde etkili olamayacaktır.

- Kombi sistemlerinde kireçlenme çok sıklıkla görülmez (ısıtma devresinde) çünkü kombilerde su kapalı sistemde çalışmaktadır. Bu devrelerde de ısınan sudaki kireç ayrılarak yüzeye yapışır. Kombi sistemlerinde su değişimi arızalar dışında yapılmadığından mevcut su kirecini bıraksa bile bu yüzeyi kaplamayacak kadar az miktardadır. Ancak sıklıkla su değişimi yapılan veya aşırı kireçli suya sahip olan bölgelerde yer alan kombi devresi için geçerli değildir. Soğuk su kireç bırakmadığından sorun olmaz ama sıcak su çıkışındaki su kombinin ya da şofbenin sıcak su devresinde zamanla kireçlenmeye neden olur. Şofbenlerde bu su dönüşümlü değildir. Isıtılan su kullanılmakta ve sürekli taze ve kireçli su gelmektedir.
- Kireç, su veya atık suya ilave edildiğinde, yüksek pH' da pozitif yüklü $Mg(OH)_2$, ve $CaCO_3$ çökeleklerinin oluşmasına sebep olur.
- Kireç tek başına çöktürücü olarak kullanıldığında aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir.





Şekil 3.1. Daikin Arge Merkezi Kireçlendirme Test Standı ®

Bu görselin izinsiz yayınlanması ve kullanılması yasaktır



Şekil 3.2. Daikin Arge Merkezi Kireçlendirme Test Standı ®

Şekil 3.1. ve 3.2.' de Daikin Türkiye Ar-ge Merkezi tarafından geliştirilen kireçlendirme test standı yer almaktadır. Kireçlenmenin sebep olduğu olumsuz etkileri gözlemlemek ve bu çalışma sonucuna göre öneriler sunmak amacıyla bu tez çalışmasında bu test standından alınan veriler kullanılacaktır.

Test standının kullanımında uluslararası bir kuruluşunda kabul ettiği kabuller, hazırlık safhası işlemleri ve test aşamaları kullanılacaktır. Şimdi sırasıyla bu aşamaları inceleyelim ve ardından araştırma bulgularına göz atalım

3.1. Kabuller

- Su hacmi 35 kW kombi için 175 L ve 24 kW kombi için 120 L olacaktır (5 liter/1 kW). Toplamda kireçlenmeye tabii tutulacak su hacmi 295 L' dir.
- Kombi test esnasında $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$ ve $\text{CaMg}(\text{HCO}_3)$ çözeltilerine maruz bırakılacaktır. Kireçlenme için kalsiyum reaktörü sisteme entegre edilmiştir.
- Kombi sürekli olarak maksimum yükte çalıştırılacaktır. (Çünkü $80^\circ\text{C}/60^\circ\text{C}$ sıcaklık rejiminde $\text{Ca}(\text{HCO}_3) \rightarrow \text{Ca}(\text{CO}_3)$ ' a hızlıca dönüşür ve $\text{Mg}(\text{OH})$ ' de $\text{CaMg}(\text{HCO}_3)$ ' dan hızlıca dönüşür).

3.2. Test Ünitesi Hazırlığı

- Kombi belirtilen kapasitelerde ve belirlenen sıcaklık rejimlerinde test edilecektir.
- Kapasite, emisyon değerleri, su tarafı basınç kaybı ve su-gaz sıcaklıkları kaydedilecek ve test sonunda bu değerler yorumlanacaktır.
- Kireçlendirme reaktörü CO_2 ile desteklenecek ve kalsiyum solüsyonunun hazırlanmasına yardımcı olacaktır. Su tarafı ise su tankıyla entegre çalışacaktır. CO_2 gaz basıncı yardımıyla reaktörden su devri sağlanacaktır.

3.3. Test Aşamaları

- Kombi test standına monte edilir. Su basınç ölçümü problemleri kombinin giriş ve çıkışlarına bağlanır. Baca gazı sıcaklık ölçümleri PT100 sensörü ile yapılır.
- Pompa ayarı, soğutma vanası ayarları, PID ayarları ve denge vanası için her bir kapasite ve sıcaklık durumuna göre ayarlamalar yazılım ile yapılır.
- İstenen ısı aralıklarında kombiyi istenilen zaman aralıklarında çalıştırmak için PCB (Anakart) programı kullanılabilir.
- Ph ve iletkenlik su sertliğine göre belirlenecektir.
- Su sertliği kimyasal sertlik ölçme sıvısı ile ölçülecektir. Sertlik ölçümü için özel ölçüm kabı 5ml sıvı ile doldurulacaktır. Daha sonra bu özel ölçüm kabına kimyasal damlatılarak sertlik ölçümü yapılacaktır. Her bir damla 1 Dh (1

Alman sertliğine denktir.). Damlatma işlemi özel ölçüm kabındaki karışım renginin kimyasal sıvı rengine eşit olunca işlem biter ve sertlik belirlenmiş olur. Toplam damla sayısı su sertliğini verir.

- f) Su sertliği belirlendikten sonra Ph ve iletkenlik belirlenmiş olacaktır.
- g) Test kaynama problemi başgösterene kadar devam etmelidir.
- h) Test sonunda toplam çözülmüş kalsiyum miktarı hesaplanır.
- i) Kireçlendirme testi sonunda performans testi yapılır. En azından, maksimum akış hızında su basıncı düşüş değeri elde edilir.
- j) Daha sonra eşanjör ölçülerek çözülmüş kalsiyum miktarı ile kıyaslama yapılır.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışması kapsamında kireçlenmenin kombi eşanjörlerinde yarattığı olumsuz etkiyi gözlemlemek ve bunun sonucunda ortaya çıkan etkileri deneysel yollarla incelemek amacıyla kireçlendirme test standı kullanılacaktır. Bu test standı üzerindeki entegre fark basınç ölçerler, su sertlik ölçeri, sıcaklık sensörleri, gaz debimetresi, su debimetresi ve kireçlendirme sistemi ile kireçlenmenin etkileri gözlemlenmiş ve raporlanmıştır.

4.1. Kireçlendirme Prosesi ve Test Algoritması Yaklaşım Metodu

Testin gerçekleştirilebilmesi için temel etken su sertliğinin belirlenmesiydi, bu amaçla Türkiye Sular İdaresi'nin 2016 yılı verilerine göre Türkiye'deki bazı büyükşehirlerin şehir suyu sertlik dereceleri kullanılmıştır ve bu değerler aşağıdaki gibidir. Bu veriye göre en yüksek sertliğe (veya kalsiyum karbonat içeriğine) sahip su Antalya'da olup bu değer 20,2 °dH değerindedir. Bu verilerin ortalaması ise 10,7 °dH seviyelerindedir.

Testin daha hızlı simule edilebilmesi için en sert olan suyun kullanılması tercih edilmelidir. Bu testin süresi ve gerçekte ne kadar sürmesi gerektiğine dair hesaplamalar ileri ki sayfalarda sunulmuştur.

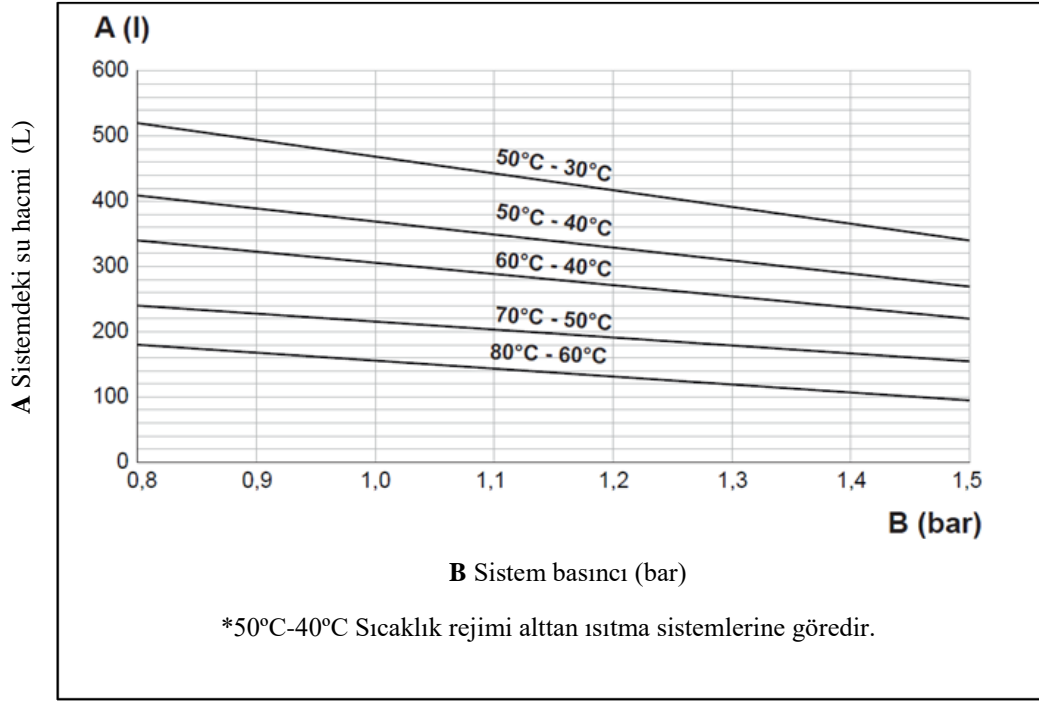
Tablo 4.1. Türkiye Sular İdaresi 2016 Yılı Verilerine Göre Bazı Şehirlerin Su Sertlik Değerleri [24].

	Şehir Suyu Sertlik Değeri (mg/l) - FS cinsinden	Şehir Suyu Sertlik Değeri (mg/l) - °dH cinsinden
Ankara (ASKİ)	10,2	5,7
İzmit (İSU)	10,5	5,9
Kayseri (KASKİ)	12,8	7,2
İstanbul (İSKİ)	13,6	7,6
Mersin (MESKİ)	15,5	8,7
Samsun (SASKİ)	17	9,6
Bursa (BUSKİ)	18,7	10,5
Gaziantep (GASKİ)	20,6	11,6
Adana (ASKİ)	21,3	12,0
İzmir (İZSU)	24,3	13,7
Eskişehir (ESKİ)	27,2	15,3
Antalya (ASAT)	35,9	20,2
Maksimum su sertlik değeri - (°dH)		20,2
Minimum su sertlik değeri - (°dH)		5,7
Ortalama su sertlik değeri - (°dH)		10,7

Bu veri esas alınarak 35 kW Alüminyum eşanjördeki kireç çökeltme miktarı aşağıdaki kabuller dahilinde belirlenecektir.

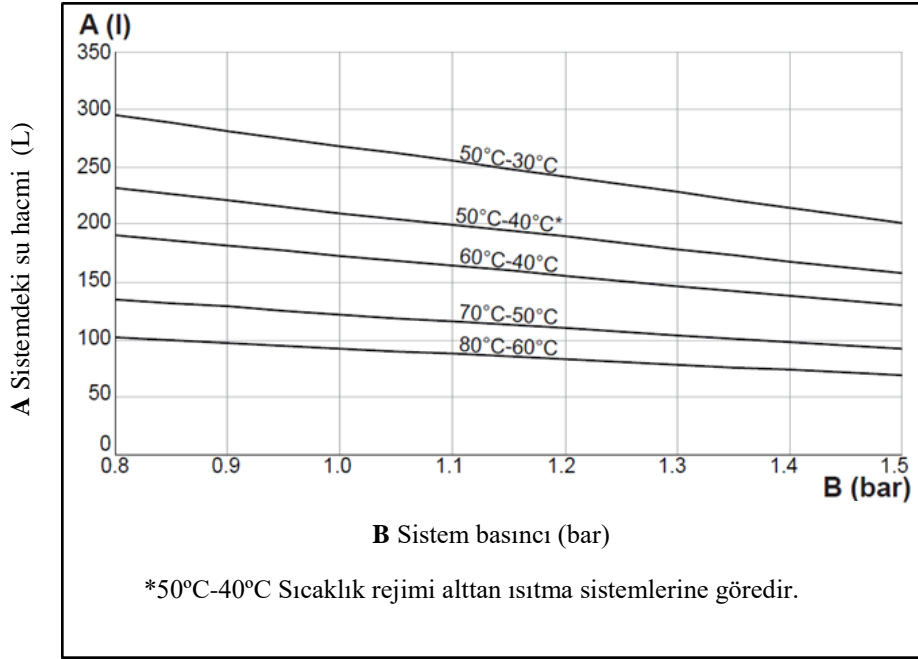
- Ürün ömrü 15 yıldır.
- Şekil 4.3.'te verilen bilgilere referansla kombi, çalışma süresi boyunca kireç çözünürlüğün en düşük seviyelerinde bulunduğu ve kendi çalışma sıcaklık aralığında bulunan 80°C/60°C sıcaklık rejiminde sürekli olarak çalışacaktır.
- Şekil 4.1. ve Şekil 4.2. 'deki verilere göre su besleme basıncının 1,2 bar seviyelerinde ve sıcaklık rejiminin 80°C/60°C olduğu koşullar için su hacmi 5 L/Kw olacak şekilde su kapasitesi hesabı yapılacaktır.
- Ürünün kullanıldığı sistemdeki tüm su yılda iki defa yenilenmektedir.
- Tablo 4.1. referans alınarak sisteme doldurulan suyun sertlik değeri 20°dH'tır.
- Ürün, bir yılın %30'una denk gelen zamanda 50°C üzerinde su sıcaklığı üretecek şekilde çalışmaktadır.

- Senede 2 defa olacak şekilde 15 senelik ürün ömründe toplam 30 defa sistem suyu boşaltılıp yeniden doldurulacaktır.



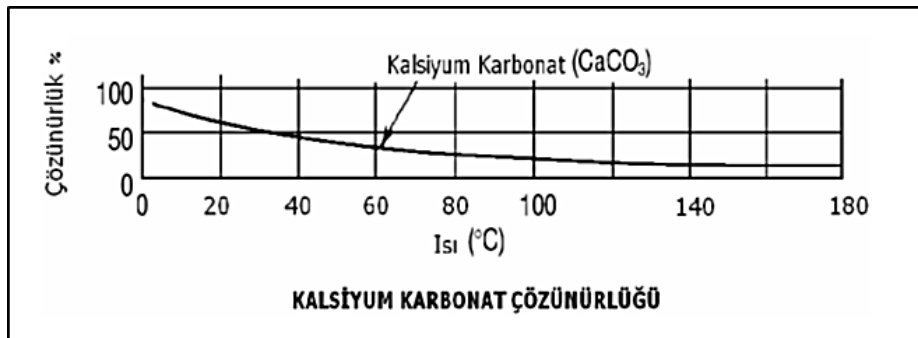
Şekil 4.1. 35 kW Alüminyum eşanjörün kullanılabileceği mahaldeki tesisat suyu hacminin su besleme basıncı ve sıcaklık rejimlerine göre belirlenmesi [25].

Konutlardaki ısıtma sistemlerinde kapalı devredeki tesisat su hacminin su besleme basıncı ve sıcaklık rejimlerine göre değişimini gösteren grafik Şekil 4.1. de verilmiştir. Bu grafikten yola çıkarak 35 kW için yaklaşık 160 L su olan bir sistem ele alınabilir, aşağıda ilgili hesaplama paylaşılmıştır.



Şekil 4.2. 24 kW Alüminyum eşanjörün kullanılabilceği mahaldeki tesisat suyu hacminin su besleme basıncı ve sıcaklık rejimlerine göre belirlenmesi [25].

Şekil 4.2. bize Alüminyum eşanjörlü kombinin kullanılabilceği mahaldeki tesisat suyu hacminin su besleme basıncı ve sıcaklık rejimlerine göre belirlenmesini göstermektedir. Testimizde 1,2 bar seviyelerinde ve sıcaklık rejiminin 80°C/60°C olduğu koşullar için su hacmi 5 L/kW olacak şekilde su kapasitesi hesabı yapılacaktır.



Şekil 4.3. Kalsiyum Karbonat Çözünürlüğü [21].

Şekil 4.3.' de sistemdeki kalsiyum karbonatın çözünürlüğünün eşanjör ısısının artışıyla azaldığı ve çökelmeye başladığı görülmektedir. Bu grafikten yola çıkarak

kireçlenmenin etkilerini daha hızlı görmek amacıyla 80°C/60°C rejiminde testler yapılacaktır.

Bu kabullere referansla 35 kW eşanjörün 15 yıl ömrü boyunca içinde çökelebilecek kireç miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

1°dH sertlikteki 1 litre suda bulunan eşlenik CaCO₃ miktarı 17,8 mg'dir.

Isıl kapasite	:	35 kW
Su sertliği	:	20 °dH
Ürün kullanım ömrü	:	15 yıl
Sene başına yeniden su doldurma adedi	:	2
Birim ısı yük başına su hacmi	:	5 L/kW
Kombinin 365 günlük zaman diliminde kullanım yüzdesi	:	%30

Bu şartlar altında çökelebilecek maksimum kireç miktarı şöyle hesaplanır;

$(35) \times (0,3) \times (20) \times (15) \times (2) \times (5) \times (17,8) = 560700 \text{ mg} = 560,7 \text{ gram}$ olarak bulunur. Yani testin başlangıcından itibaren bu miktarda kireç sisteme yedirildiğinde testimiz 15.yılına ulaşmış olarak kabul edilecektir.

Benzer kabuller 24 kW eşanjör için yapıldığında sonuç = 384480 mg = 384,5 gram kireç çökmesinin olabileceğini gösterir.

Yapılan test sonucumuza göre ve tartım sonucuna göre sistemde toplam 500 g – 600 g kireç biriktiğinde bu sonuç bize 15 senelik zaman dilimini göstermiş olacaktır.

Yeniden su doldurma adedi, su sertlik değeri, sıcaklık rejimi gibi faktörler değerlendirildiği zaman ürünün normal çalışma koşullarının üstünde bir prosese tabi tutulduğu görülmektedir. Yani ürün beklentilerin üzerinde bir performans için tasarlanmaktadır.

Bu değerlendirmelere göre eşanjörlerin kireç dayanım testlerinde aşağıdaki yöntem esas alınarak test sürecinin kısaltılması hedeflenmiştir.

- Eşanjörün ağırlığı kireçlenme testinden önce ölçülecektir.
- Eşanjörün basınç kaybı kireçlendirme testinden önce ölçülecektir.
- Kireçlenme testine bařlandıręında eşanjör maksimum kapasitede çalıştırılacaktır.
- Sıcaklık rejimi kireçlendirme testi süresi boyunca 80°C/60°C olacaktır.
- Test süresi boyunca zellige eşanjör basınç kaybındaki değişim takip edilecek ve kombinin güvenilir çalışma koşullarında olup olmadığına göre test sonuçlanacaktır.
- Kireçlendirme testinin ardından eşanjörün ağırlık bilgisi alınarak beklentilere uygun kireç dayanım performansı değerlendirilecektir.

4.2. Kireçlendirme Testi Sonuçları ve İrdelenmesi

Yapılan hesaplamalar ve test sonuçları incelendiğinde 15 yılın sonunda eşanjörlerde oluşan kireçlenmenin Daikin Markalı ve Rakip Markalı kombilerin performansında olumsuz sonuçlar doğurduğu kanıtlandı.

Aşağıdaki 4.2. numaralı tabloda ve devamındaki grafiklerde kombi performansına ait sonuçlar, emisyon değişimleri, baca gazı sıcaklık değerleri, su sertliği değişimi görülmektedir.

Su sertlik ölçümleri total hardness kit ile yapılmıştır, su iletkenliği lm Siemens dijital iletkenlik ölçer ile takip edilmiştir.

Su tarafı basınç kaybı için ısı değiştiricisinin HAD analizi ile validasyonu için uygulanan yöntem yerine sadece kombi girişiikışına bağlanan problemlerle ölçüm yapılmıştır. nemli olan kriter basınç kaybındaki değişim olup, pompa basınç kaybı haricen inceleneceği için test ürünündeki komponentleri deforme etmeden kireçlenme etkisini daha kolay simüle edebilmek için bu yöntem tercih edilmiştir. "kireçlendirme sonrası" testte ise maksimum debi değerine kombi çalıştırılmadan ulaşılabilmıştir.

Anma ısı gücü, limit termostatın set değerinden çok yüksekte çalışma sıcaklığına erişildiğinden dolayı %91'e düşürülerek rejim koşullarında test yapılmıştır. "daldırma tip ntc sensör ile ölçülen kombi gidiş borusu içerisindeki su sıcaklığı" ancak kısa süreli, tekrarlanabilir bir sonuca sahip ölçümle alınmıştır. Belirtilenlerden hariç diğer test değerleri %91 yükte ısıl rejim koşullarında elde edilmiştir. Aynı zamanda "ısı değiştiricisi validasyonu" testlerinde yapıldığı gibi saf gaz (G 20) kullanılmadan sadece şebeke gazı ile test yapılmıştır. Şebeke beslemesinden gelen gazın kalori değeri (kalorimetre olmadığı için) tam bilinemediğinden dolayı bu değer G 20 gazının (34,02 MJ/m³) ile aynı tutulmuştur. Bu ise ısı verim değerinin düşük çıkmasını açıklamaktadır.

Testlerin sonucunu daha iyi takip etmek için 1 ay boyunca günlük 2 kez veriler toplanmış ve aşağıdaki taslağa işlenmiştir;

16.10.2017 / 14:00			
X100 addition			
Operating at 80/60 with X400 - water mixture up to 17:30			
		NDJ 35 kW	Benchmark Product
T _{flow}	°C	78,1	77
T _{return}	°C	57,4	56,8
T _{flue}	°C	78,3	73,6
Water flow rate	l/h	1485	1281
DHW sensor temp	°C	78,9 (Test Standı Flow 78,6) NTC Kombi (flow temp grafik) 85,4	-
Water side deltaP	mbar	623	500
Gas flow rate	m ³ /h	3,5	3,18
GSO	°C	26	
GBO	mbar	25,5	
T _{amb}	°C	24,3	
P _{amb}	mbar	1021	
H _{amb}	%RH	47,3	
CO	ppm	76	140
CO ₂	%	9,2	9,1
O ₂	%	4,9	4,8
Conductivity	µS	1675 µS _{19.9°C}	
Water hardness	°dH	13	

Şekil 4.4. Test Veri İşleme Tablosu

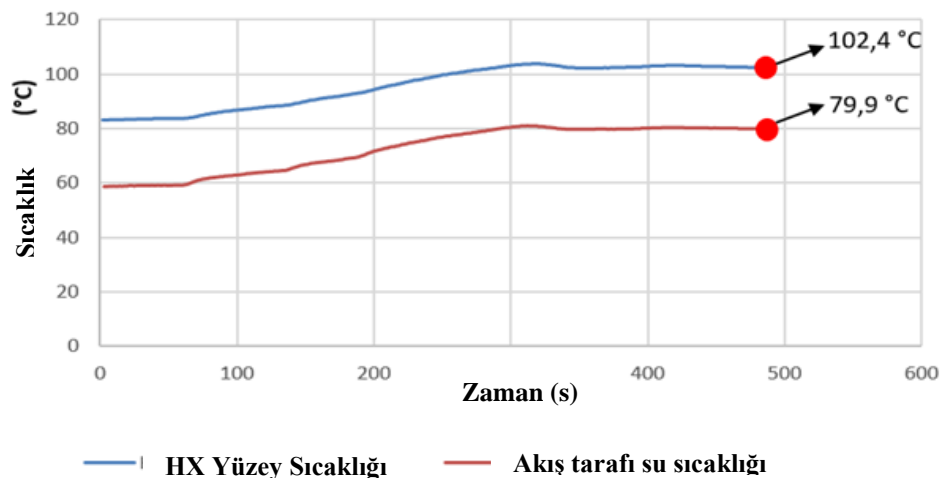
Tablo 4.2. Ana Test Sonuçları

KİREÇLENDİRME STANDI		DAIKIN 35kW		X MARKA 35kW	
		26.04.2017	18.05.2017	26.04.2017	18.05.2017
Ölçüm Datası	Birim	35 Kw@LT9	35 Kw@LT9	35 Kw@LT9	35 Kw@LT9
Akış Sıcaklığı	°C	77,8	71	76,2	68,1
Dönüş Sıcaklığı	°C	57,7	52,5	54,2	49,7
Fark Basıncı	mbar	474	527,1	451	476
Su Debisi	l/h	1427	1372	1427	1372
İletkenlik	ESS@59°C	421@60,1	351@55,8°C	421@60,1	351@55,8°C
	ESS@58,8°C	-	-	-	-
	ESS@51,6°C	-	-	-	-
	ESS@53,2°C	-	-	-	-
ESS (iletkenlik)	°C	58,9	55	58,9	55
Alman Sertliği	°dH	13	21	13	21
CO2	%	8,5	9,2	8,7	9,6
CO	ppm	55	33	55	29
O2	%	5,9	4,6	5,9	4,2
Baca Gazı Sıcaklığı	°C	84,7	82,4	79,9	77,6
Giriş Gücü	kW	34,7	29,91	32,7	22,7
Çıkış Gücü	kW	32,8	32,17	32,8	32,17
Gaz Debisi	m3/h	3,3	3,3	3,3	3,3
Gaz Basıncı	mbar	22,2	22,3	22,2	22,3
Gaz Sıcaklığı	°C	23,4	25,2	23,4	25,2

Tablo 4.2. de yer alan ana test sonuçları incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Performans değişimi: Kombi giriş gücüne bakıldığında kireçlenme sebebiyle %30 performans kaybı olduğu görülmüştür (kW 32,7→22,7).
- Servis maliyeti: Testteki X Marka eşanjör 5.yıldan sonra eşanjör yüzeyini saran kireç nedeniyle sürekli durma eğilimine girmiş ve eşanjör değiştirilmiştir. Bu da ek bir maliyete sebebiyet vermiştir.
- Zararlı gazlar: %10 artış olduğu gözlenmiştir. (CO₂ %8,7 → %9,6)
- Baca gazı O₂ miktarı: Baca gazında bulunan O₂ miktarı da yaklaşık (%5,9 → %4,2) %28,8 oranında düşüş göstermiştir.

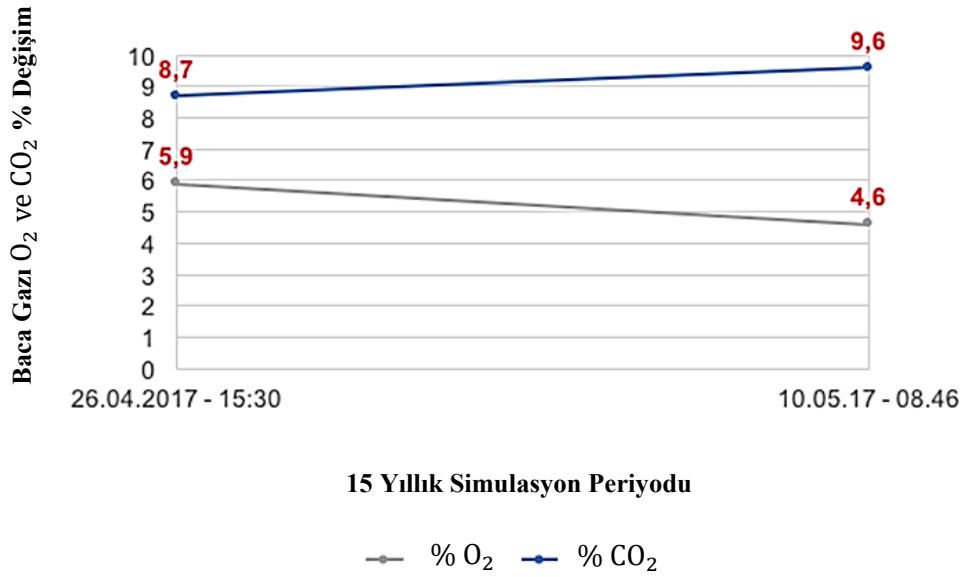
Sırasıyla bunların detaylarını grafiksel olarak ayrı ayrı inceleyelim;



Şekil 4.5. Eşanjör Yüzey Sıcaklığı - Su Sıcaklığı

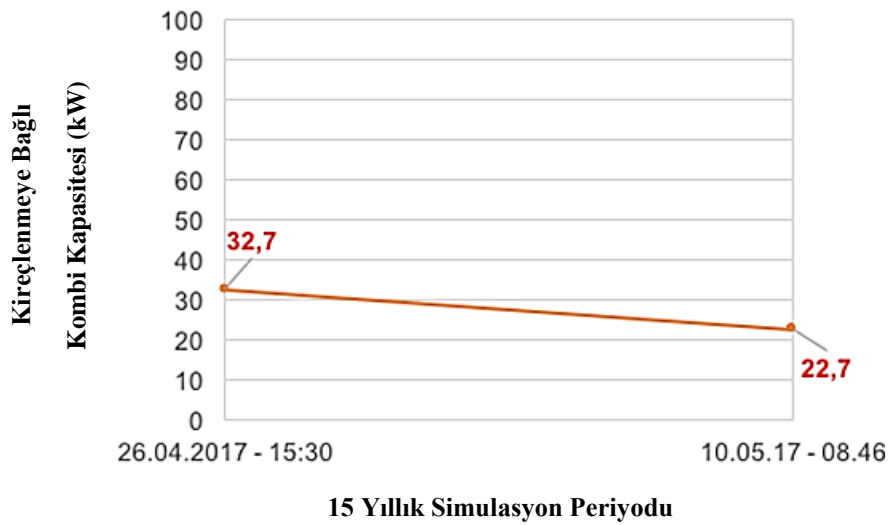
Şekil 4.5. incelendiğinde eşanjör yüzey sıcaklığının ve su sıcaklığının değişimi gözlenmektedir. Kireçlenmeye bağlı olarak sıcaklıkların arttığı bu grafikte açıkça gözlenmektedir. Buradaki ölçümlerde hem su içerisinden hem de ısı değiştiricisi yüzeyinden ölçüm imkanı veren daldırma tip NTC sensörler kullanılmıştır. Buna göre kombi su sıcaklığı 80 santigrata ayarlandığı zaman ısı değiştiricisi yüzey sıcaklığının tasarım koşullarından yaklaşık 20 santigrat üstünde olduğu gözlenmiştir. İşte bu

gözlemlerde kirecin etkisinden dolayı kombinin tam yükte değil de modülasyon yüklerinde çalışmasına sebep olduğu görülmektedir.



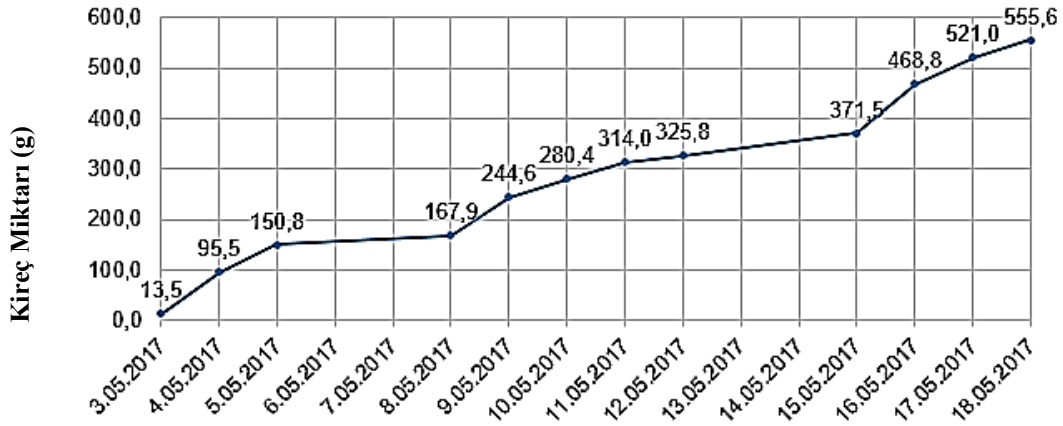
Şekil 4.6. Emisyon

Şekil 4.6. incelendiğinde Baca gazındaki O₂ ve CO₂ % değişimlerinin oranı görülmektedir. Eşanjör yüzeyinde artan kireçlenmeye bağlı olarak, baca gazındaki O₂ miktarının zamanla azaldığı ve CO₂ miktarının ise zamanla arttığı görüldü. Ölçümlerde Kane baca gazı analizörü kullanılmıştır.



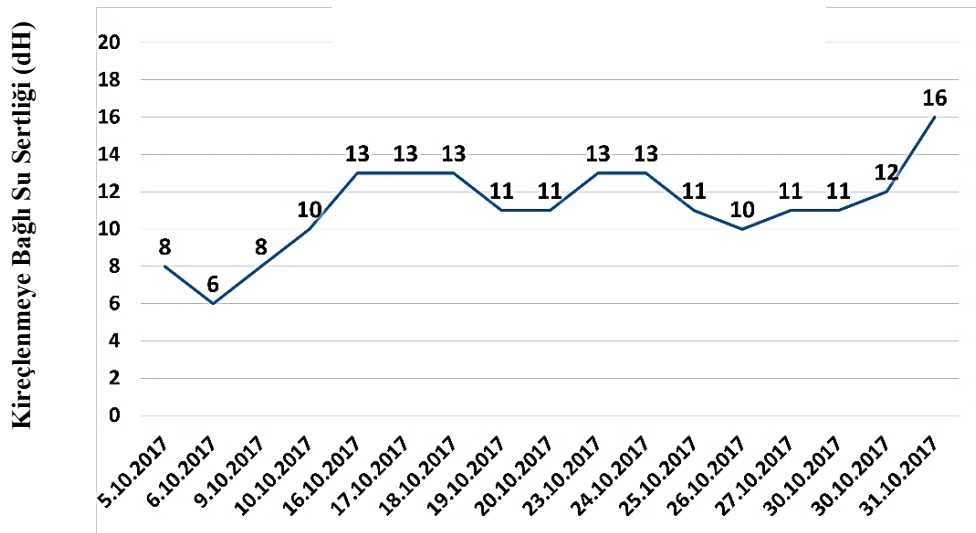
Şekil 4.7. Kombi Kapasitesi (kW)

Şekil 4.7.'ye bakıldığında kireçlenmenin kombinin performansında açıkça bir düşüşe sebep olduğu görüldü. Kombin gücünün 32,7 kW 'dan 22,7 kW 'ya düştüğü yapılan testler sonucunda görülmüştür.



Şekil 4.8. Çözünmüş Kalsiyum Karbonat Miktarı (gr)

Testin başlangıcından bitimine kadar olan süreçte ısı değiştiricisinin yüzeyini kaplayan kirecin zamanla artışı Şekil 4.8.' de görülmektedir. Kireç beslemesinin sürekli olarak yapılabilmesi için açık sistem test ünitesi tasarımı düşünülmüştür. Kireç besleme debisi, dozaj pompası performansı ve karbondioksit besleme basıncına bağlı olup tüp basıncı değişimi de bunu etkilemektedir.

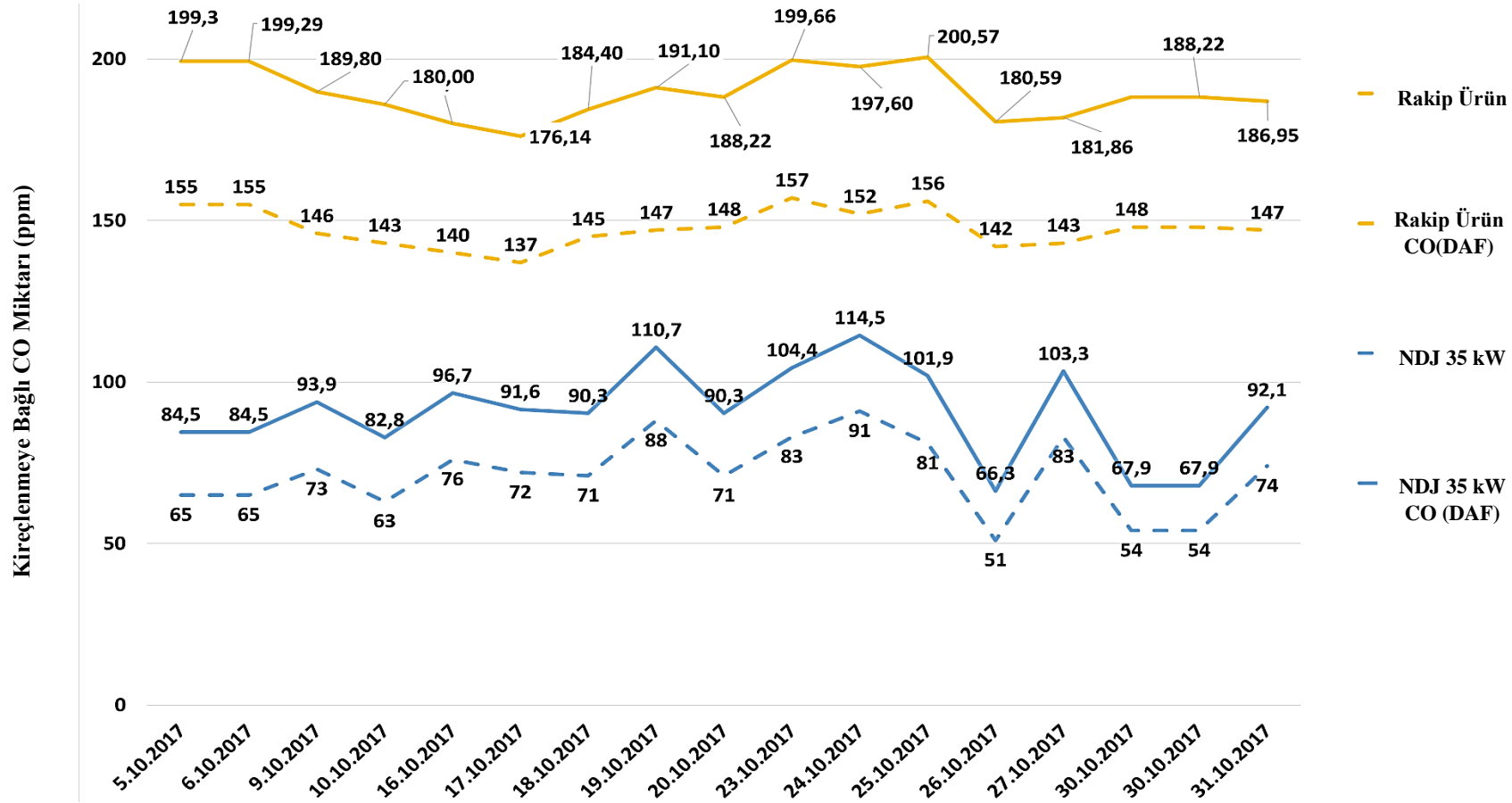


Şekil 4.9. Su sertlik Değişimi (dH) Alman Sertliği

Su sertlik ölçümleri total hardness kit ile yapılmıştır, su iletkenliği ölçümü Siemens dijital iletkenlik ölçer ile takip edilmiştir. Su tarafı basınç kaybı için ısı değiştiricisinin HAD analizi ile validasyonu için uygulanan yöntem yerine sadece kombi giriş çıkışına bağlanan problarla ölçüm yapılmıştır.

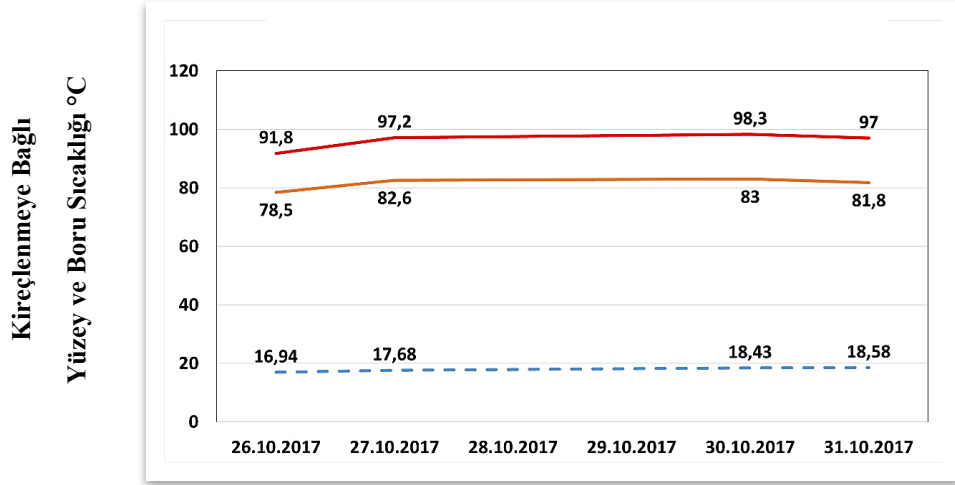
Su sertliği Sertliği kireçlendirmenin etkilerini görmek için gerekli olan temel etkendir. Test süresince su sertliğini belirli bir seviyede tutmak için sisteme sürekli olarak kireç verilmiştir, verilen bu kireç sistem üzerine sarılmaya başladığında sistemin sertliği azalmaya başlamış ve verilen kireç miktarı her seferinde artırılarak sertliğin sabit tutulması hedeflenmiştir.

Isı değiştiricilerinin sürekli olarak aynı yükte çalıştırılması sayesinde kireçlenmenin emisyonlara etkisi daha net görülmüştür.



Şekil 4.10. CO Değişimi (ppm)

Şekil 4.10. Bize gerçekleştirilen 2. kireçlendirme testi süresince baca gazında değişiklik gösteren zararlı gaz olan CO' in değişken değerini ppm birimi cinsinden göstermektedir.



Şekil 4.11. Yüzey ve Su Sıcaklıklarının Değişimi (kırmızı: Eşanjör yüzeyi, turuncu Boru tarafı su sıcaklığı, mavi: % değişim)

Şekil 4.11. incelendiğinde ısı değiştiricisinin yüzey sıcaklığının kireçlenmeye bağlı olan sebeplerden dolayı testin sonuna doğru yaklaşık olarak 97 derecelere ulaştığı görülmektedir. Kireç miktarı yüzey sıcaklığıyla doğru orantılı görünmektedir, yüzeydeki kirecin artması sensörün yanlış değer okumasına ve dolayısı ile fazla gaz sarfiyatına sebep olmakta buna bağlı olarak yüzey sıcaklığı da artmaktadır.

Su tarafı su sıcaklığı ve eşanjör yüzey sıcaklarının ölçülmesi için daha önce de belirttiğimiz üzere özel NTC sensörler kullanılmıştır. Bu sensörlerin eşanjöre hangi noktalardan bağlantısı yapıldığı aşağıdaki şekilde görülmektedir (Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.).



W2 Noktası (Yüzey Tip NTC Sensörü)

Ölçülen (W1) (°C)	58,8
HAD (°C)	60,2



W3 Noktası (Yüzey Tip NTC Sensörü)

Ölçülen (W4) (°C)	79,3
HAD (°C)	81,2

Şekil 4.12. Su Tarafı ve Eşanjör Yüzeyi Sıcaklık Değerlerinin NTC Sensörlerle Ölçülmesi.



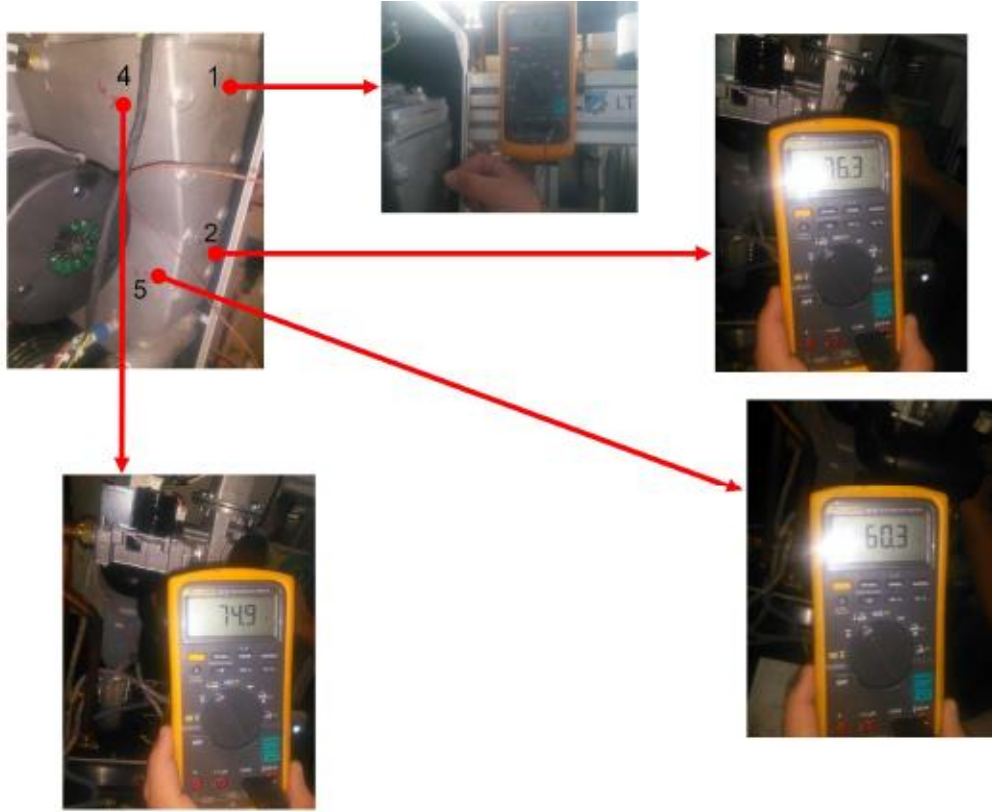
Ölçülen (W6) (°C)	79,2
HAD (°C)	79,8



Ölçülen (W5) (°C)	80,3
HAD (°C)	80,9

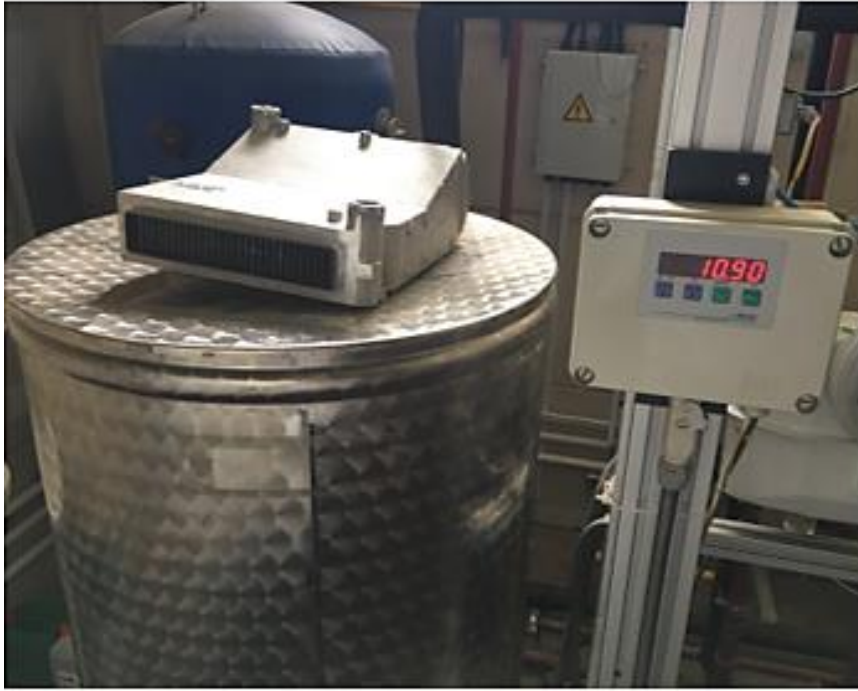
Şekil 4.13. Su Tarafı ve Eşanjör Yüzeyi Sıcaklık Değerlerinin NTC Sensörlerle Ölçülmesi.

NTC sensörler ile yapılan ölçümleri doğrulamak amacıyla yüzey sıcaklık ölçer ile manuel ölçümlerde alınmıştır. Sonuçta NTC sensörlerle aynı sonuçlar elde edilmiş ve validasyonu yapılmıştır (Şekil 4.14.).

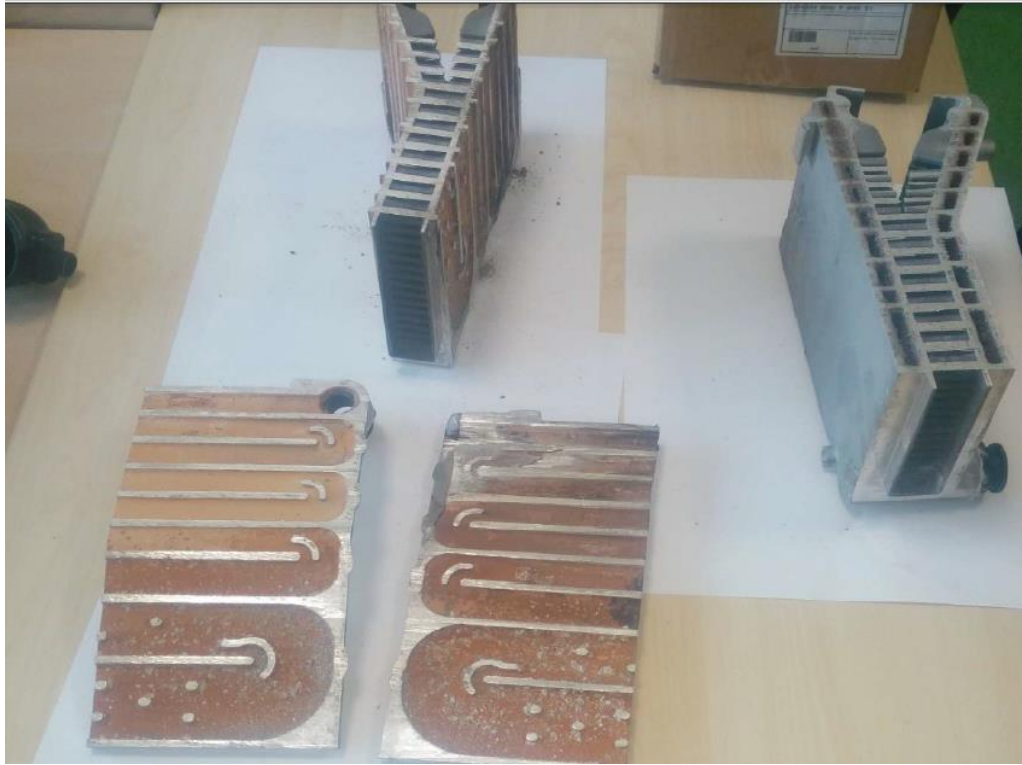


Şekil 4.14. Su Tarafı ve Eşanjör Yüzeyi Sıcaklık Değerlerinin Manuel Ölçülmesi.

Testin tamamlanmasından sonra sökülen kombiye ait eşanjör tartıldı. Sonuçta toplam 500 gr kirecin ısı değiştiricisi yüzeylerine tutunduğu açıkça görüldü. Şekil 4.12.' de ısı değiştiricisinin testten önceki ölçüm sonucu görülmektedir. 10.4 kg olan ısı değiştiricimiz testlerin tamamlanmasından sonra tekrar ölçülerek son ağırlığının 10.9 kg olduğu görüldü (Şekil 4.15.).

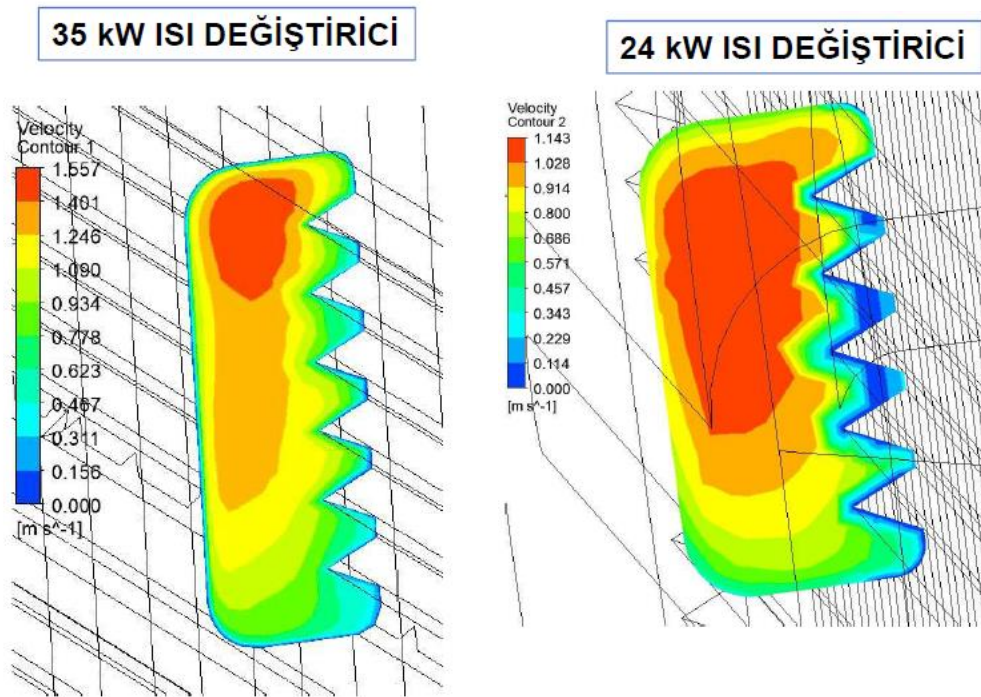


Şekil 4.15. Testten Önce ve Testten Sonraki Eşanjör Ağırlık Ölçüm Sonuçları (gram)



Şekil 4.16. Test Sonrası Kesilen Kireçlenmiş Eşanjör

Özellikle Şekil 4.16. incelendiğinde su kanal geometrisi nedeniyle dönüşlerin daha fazla turuncu renk aldığı yani kireçlenmeye maruz kaldığı görülmektedir. Eşanjör tasarımlarında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisi de budur. Su kanal geometrisi HAD analizi incelendiğinde de bu etki açıkça görülmektedir. Yüksek kapasiteli eşanjörde su kanal yapısı daha geniş formda olduğundan akış hızı daha yüksektir, buna karşın düşük kapasiteli eşanjörde akış hızı yavaş olduğundan kireçlenmeye maruz kalma oranı çok daha yüksektir.



Şekil 4.17. Eşanjör HAD Analizi Sonucu Su Akış Hızı

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Test sonuçları incelendiğinde kireçlenmenin kombi performansına ve eşanjör ömrüne olumsuz etkileri olduğu gözlemlendi. Test sonuçları günlük olarak takip edildi ve Şekil 4.4. de yer alan günlük takip tablosuna işlendi. Eşanjör giriş çıkışına yerleştirilen problemlerle basınç kaybı takip edilerek kirecin eşanjör çeperlerini sardığı ve bunun sonucunda da basınç farkının arttığı görüldü.

Aynı şekilde ısı değiştiricisi kesilerek iç su kanal yapısı incelendi ve yüzeyleri kaplayan kireç açıkça gözlemlendi (Şekil 4.13.). Yüzeyi kaplayan bu kirecin kombinin performansını ve zararlı gaz miktarlarını olumsuz yönde etkilediği dolayısı ile eşanjör ömrünü azalttığı görüldü.

Diğer taraftan Şekil 4.5. incelendiğinde eşanjör yüzey sıcaklığının ve su sıcaklığının değişimi gözlenmektedir. Kireçlenmeye bağlı olarak sıcaklıkların arttığı bu grafikte açıkça gözlenmektedir. Buradaki ölçümlerde hem su içerisinden hem de ısı değiştiricisi yüzeyinden ölçüm imkanı veren daldırma tip NTC sensörler kullanılmıştır. Buna göre kombi su sıcaklığı 80 santigrata ayarlandığı zaman ısı değiştiricisi yüzey sıcaklığının tasarım koşullarından yaklaşık 20 santigrat üstünde olduğu gözlenmiştir. İşte bu gözlemde kirecin etkisinden dolayı kombinin tam yükte değil de modülasyon yüklerinde çalışmasına sebep olduğu görülmektedir.

Su kanal geometrisinin kireçlenmeye etkisinin büyük olduğu yapılan literatür araştırmasında da görülmüştür. Aynı zamanda yüzey pürüzlüğü de kirecin yüzeye tutunmasını artırmakta bu sebeple eşanjör yüzey sıcaklığında artışlar olmaktadır. Yine literatür araştırmasına göre eşanjörlerdeki kireçlenme sebebiyle zararlı gazlarda da artış olduğu kanıtlanmıştır.

Kireçlenmenin olumsuz diğer yanı ise bakım ve servis maliyetlerinde artışa neden olmasıdır, yaklaşık 2 yılda bir eşanjör temizleme ücreti 200TL ve 7 yılda bir 450TL maliyetle eşanjör değiştirme veya buna bağlı diğer yedek parça değişimlerinin maliyeti müşterilere yansımaktadır (yeni alüminyum eşanjörlerde). Yapılan test esnasında da test edilen X marka eşanjör 9.yılda kullanılamaz hale gelerek yenisiyle değişim yapılmak zorunda kalındı.

Ülkemizde kullanılmakta kombilerin büyük bir çoğunluğu kireçlenme sebebiyle performans kaybına maruz kalmaktadırlar. Dolayısıyla hem Ülkemiz ekonomisine hem de doğaya zarar vermektedirler. Her geçen gün yaygınlaşan kombi kullanımı göz önüne alındığında bu etkilerin önümüzdeki 10 yıl içinde artarak görüleceği kaçınılmaz bir gerçektir.

Kireçlenmenin engellenmesi mümkün olmasa da uygun yöntemlerle azaltılarak zararlarını minimuma indirmek mümkündür. Bu çalışmanın bir sonraki adımı mekanik ve kimyasal temizleme yöntemlerini içeren çalışmadan oluşacaktır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan testler ve test sonuçları 3170029 nolu TÜBİTAK projesinde kullanılmış ve doğruluğu onaylanmıştır, bu konu hakkında daha detaylı çalışma ve kireçlenmeyi önleme yöntemleri doktora çalışmasında yapılacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] <https://www.vaillant.com.tr/musterilerimize-ozel/servis-hizmetlerimiz/s-kcasorulan-sorular/>, Vaillant, Erişim Tarihi: 27.12.2017.
- [2] <https://imsanyapi.com.tr/blog/?p=169>, Erişim Tarihi: 11.10.2017.
- [3] <http://www.tesisat.org/kombi-cesitleri-kombi-calisma-prensibi.html>, Tesisat Org., Erişim Tarihi: 17.10.2017.
- [4] <http://klima-sogutma.blogspot.com.tr/2016/06/kombi-hem-snma-sisteminin-hem-de.html>, Erişim Tarihi: 25.10.2017.
- [5] <http://isimarket.info/yogusmali-kombi-nedir-calisma-prensibi-nasildir/>, Erişim Tarihi: 5.11.2017.
- [6] <https://www.daikin.com.tr/Urun-Detayi/Daikin-Kombi/Tam-Yogusmali-Premix-Kombiler/Daikin-Kombi-D2cnd024>, Erişim Tarihi: 25.11.2017.
- [7] <https://imsanyapi.com.tr/blog/?p=1584>, Erişim Tarihi: 10.12.2017.
- [8] Crystallization fouling of CaCO₃ – Analysis of experimental thermal resistance and its uncertainty – 2012 T.M. Pääkkönen a,b,†, M. Riihimäki a, C.J. Simonson b, E. Muurinen a, R.L. Keiski a., International Journal of Heat and Mass Transfer 55 (2012) 6927–6937
- [9] Sert Su ve Arıtma Yöntemleri, İbrahim BİLİCİ, Ders Notları 07.01.2014.
- [10] Measurement of Scale Formation in an Experimental Heat Exchanger Circuit Sema Gülsüm CANBULAT, Tez Çalışması, 1996.
- [11] H. Müller-Steinhagen , M. R. Malayeri & A. P. Watkinson (2011) Heat Exchanger Fouling: Mitigation and Cleaning Strategies, Heat Transfer Engineering, 32:3-4, 189-196, DOI: 10.1080/01457632.2010.503108.
- [12] Experimental Study of Chemical De-scaling-I: Effect of Acid Concentration M. Suleman Tahir and Mahmood Saleem, Journal of Faculty of Engineering & Technology, 2007-2008, pages, 1-9.

- [13] Accounting for the thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers, *Applied Thermal Engineering* 61 (2013) 53-59.
- [14] Fouling corrosion in aluminum heat exchangers, *Chinese Journal of Aeronautics*, (2015), 28(3): 954–960
- [15] Particulate fouling and composite fouling assessment in corrugated plate heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 60 (2013) 263–273
- [16] Relationships between the characteristics of CaCO₃ fouling and the flow velocity in smooth tube, *Experimental Thermal and Fluid Science* 74 (2016) 143–159
- [17] Simultaneous optimization of flow velocity and cleaning schedule for mitigating fouling in refinery heat exchanger networks, *Energy* 109 (2016) 1118e1129
- [18] Study of mineral fouling mitigation on heat exchanger surface, *Desalination* 367 (2015) 248–254
- [19] Thermal resistance in corrugated plate heat exchangers under crystallization fouling of calcium sulfate, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 78 (2014) 908–916
- [20] Modeling CaCO₃ crystallization fouling on a heat exchanger surface – Definition of fouling layer properties and model parameters T.M. Pääkkönen , M. Riihimäki, C.J. Simonson, E. Muurinen, R.L. Keiski *International Journal of Heat and Mass Transfer* 83 (2015) 84–98
- [21] Optimal design of tests for heat exchanger fouling identification, *Applied Thermal Engineering* 95 (2016) 382–393, Kyle A. Palmer, William T. Hale, Kyle D. Such, Brian R. Shea, George M. Bollas,
- [22] The influence of fouling on the dynamic behavior of PID-controlled heat exchangers, *Applied Thermal Engineering* 109 (2016) 727–738, M. Trafczynski, M. Markowski, S. Alabrudzinski, K. Urbaniec
- [23] <https://sokucucozucu.wordpress.com/2013/03/28/kirec-nasil-olusur/>, Erişim Tarihi: 10.10.2017.
- [24] Türkiye Sular İdaresi'nin 2016 yılı su sertliği verileri.
- [25] Daikin NDJ servis kılavuzu, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1990'da Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2008 yılında Sakarya Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü ve Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Şu an da Daikin Türkiye Ar-Ge Merkezi'nde Proje Planlama ve Ar-Ge Mühendisi olarak iş hayatına devam etmektedir.