

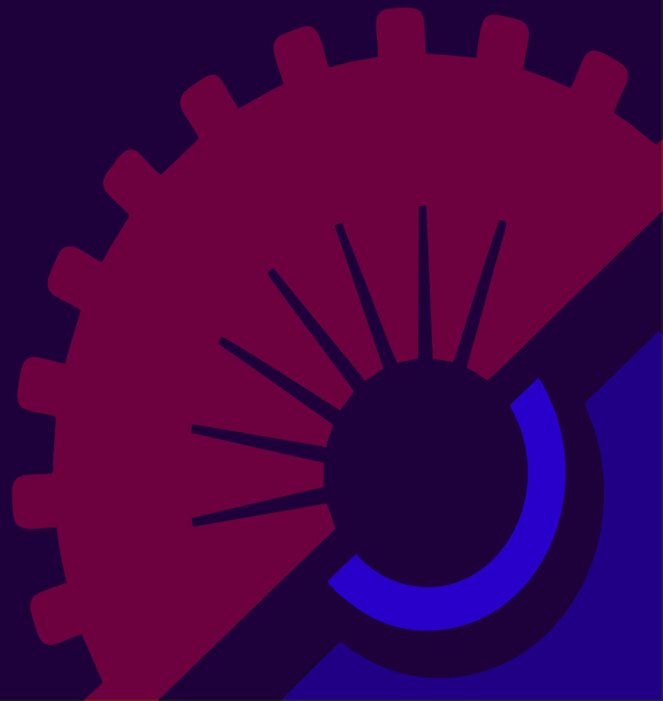
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ



CİLT 2 SAYI 1 HAZİRAN 2024

VAN YUZUNCU YIL UNIVERSITY

JOURNAL OF ENGINEERING FACULTY





Sahibi/Owner

Prof. Dr. Remzi TUNTAŞ

Dekan/Dean

Editör/Editor

Doç. Dr. Şakir YILMAZ

Yardımcı Editörler/Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Gül ŞEN

Dr. Öğr. Üyesi Burçin YILDIZ

Yayın Kurulu/Editorial Board

Prof. Dr. Demet Banu Koralay, Pamukkale Üniversitesi
Doç. Dr. Alper Hamzadayı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Altuğ Karabey, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Yağmur Erim Köse, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emine Yalman, İskenderun Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Üzmuş, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ogün Ozan Varol, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şefika Kaya, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Dr. Öğr. Görevlisi Süleyman Osmanlı, Kayseri Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe Özgüven, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Duygu Uysal, Gazi Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayten Koç, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Berdan Ulaş, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Coşkun Topuz, Hakkâri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hakan Bayrak, Kafkas Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hatice Erdem, Muş Alparslan Üniversitesi
Dr. Deniz Aydın, Dicle Üniversitesi
Dr. Hüseyin Enes Fil, Erciyes Üniversitesi

Dil Editörleri/Language Editors

Dr. Öğr. Üyesi Gül Şen, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Aytaç Aykaç, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

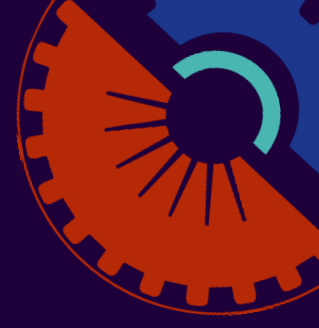
Arş. Gör. Mehmet Özçelik, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Arş. Gör. Muhammed Coşkun Irmak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Sekreter/Secretary

Dr. Öğr. Üyesi İshak Parlar, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Teknik Editör/Technical Editor

Arş. Gör. Muhammed Coşkun Irmak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DERGİSİ
VAN YUZUNCU YIL UNIVERSITY JOURNAL OF ENGINEERING FACULTY

e-ISSN: 3023-5286 • Cilt/Volume: 2 • Sayı/Issue: 1 • HAZİRAN 2024

İÇERİK/CONTENT

Entegreli Termal Yönetim Sisteminde Gizli Isı Depolamanın Etkisi. <i>Gülenay Alevay Kılıç</i>	1-13
Çimentoda Cr (VI) iyonunun indirgenmesi ve çimento özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. <i>Emre Akkeçi, Vahap Yönten</i>	14-28
Ağır Sanayide Örnek bir Çalışma ile Gürültü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi ve Önlemler. <i>Erhan Engin Erbaş, Muharrem Kemal Özfirat</i>	29-40





Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyyumfd>



Entegreli Termal Yönetim Sisteminde Gizli Isı Depolamanın Etkisi

Gülenay Alevay Kılıç

Elektrik ve Enerji Bölümü, Yalova MYO, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3513-8785

ÖZET

Termal yönetim sistemleri (TYS) içinde aktif ve pasif soğutma yöntemlerinin avantajlarını bir araya getiren entegreli termal yönetim sistemleri (ETYS) son birkaç yıldır yeni nesil uygulamalar arasında yer almaktadır. ETYS, yüksek ısı üreten uygulamalarda kullanılarak cihaz bileşenlerinden kaynaklanan ısıyı etkin bir şekilde kontrol edip dağıtmak için iki mekanik döngüden oluşmaktadır. Birincil döngüde, bileşenlerden gelen ısı, sıvı soğutma sistemine entegre edilmiş sistem aracılığıyla uzaklaştırılmaktadır. İkincil döngüde ise dolaşan sıvı, cihazın ısı üreten bileşenlerinden ısıyı absorbe ederek tekrar birincil döngüdeki sıvı soğutucu ünitesi tarafından soğutulmaktadır. Bu deneysel çalışmada, birincil döngüdeki radyatöre faz değişim malzemesi (FDM) entegre edilmiş olup FDM'nin gizli ısı depolama kapasitesinden yararlanılarak radyatör üzerindeki termal yükün azaltılması amaçlanmıştır. Deneysel sıcak iklim koşulları baz alınarak radyatörde dolaştırılan ısı transfer akışkanı (ITA) ile FDM arasındaki termal etkiler incelenmiştir. Çalışma kapsamında sıcak iklimdeki agresif ve sürekli yüksek deşarj akımının neden olduğu sıcaklık artışını sönümleyici bir yaklaşım sunulmuştur. Elde edilen veriler, birincil döngüde yer alan radyatörün üstündeki termal yükün, gizli ısı depolama enerjisi kullanıldığında % 21.45 azaldığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda radyatör kanalları boyunca istikrarlı ve homojen bir ısı dağılımı gözlemlenmiş ve belirsizlik analizi de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Entegreli termal yönetim sistemi, Sıvı soğutma, Radyatör, Zorlanmış ısı taşınımı.

The Effect of Latent Heat Storage in Integrated Thermal Management System

Gülenay Alevay Kılıç

Department of Electric and Energy, Vocational School of Yalova University, Yalova University, Yalova, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3513-8785

ABSTRACT

Integrated thermal management systems (ITMS), which combine the advantages of active and passive cooling methods within thermal management systems (TMS), have been among the new generation applications in recent years. ITMS, used in applications generating high heat, consists of two mechanical cycles to effectively control and distribute heat originating from device components. In the primary cycle, heat from the components is dissipated through a system integrated with a liquid cooling system. In the secondary cycle, the circulating liquid absorbs heat from the heat-generating components of the device and is then cooled again by the liquid cooling unit in the primary cycle. In this experimental study, phase change material (PCM) was integrated into the radiator in the primary cycle to reduce the thermal load on the radiator by utilizing the latent heat storage capacity of PCM. Thermal effects between the heat transfer fluid (HTF) circulated in the radiator and PCM were examined considering hot climate conditions in experiments. Within the scope of the study, a mitigating approach to suppress the temperature increase caused by aggressive and continuous high discharge currents in hot climates was proposed. The obtained data revealed a reduction of 21.45% in the thermal load on the radiator when utilizing latent heat storage energy in the primary cycle. Additionally, a stable and homogeneous heat distribution along the radiator channels was observed, and uncertainty analysis was conducted.

Keywords: Integrated thermal management system, Liquid cooling system, Radiator, Forced heat transfer.

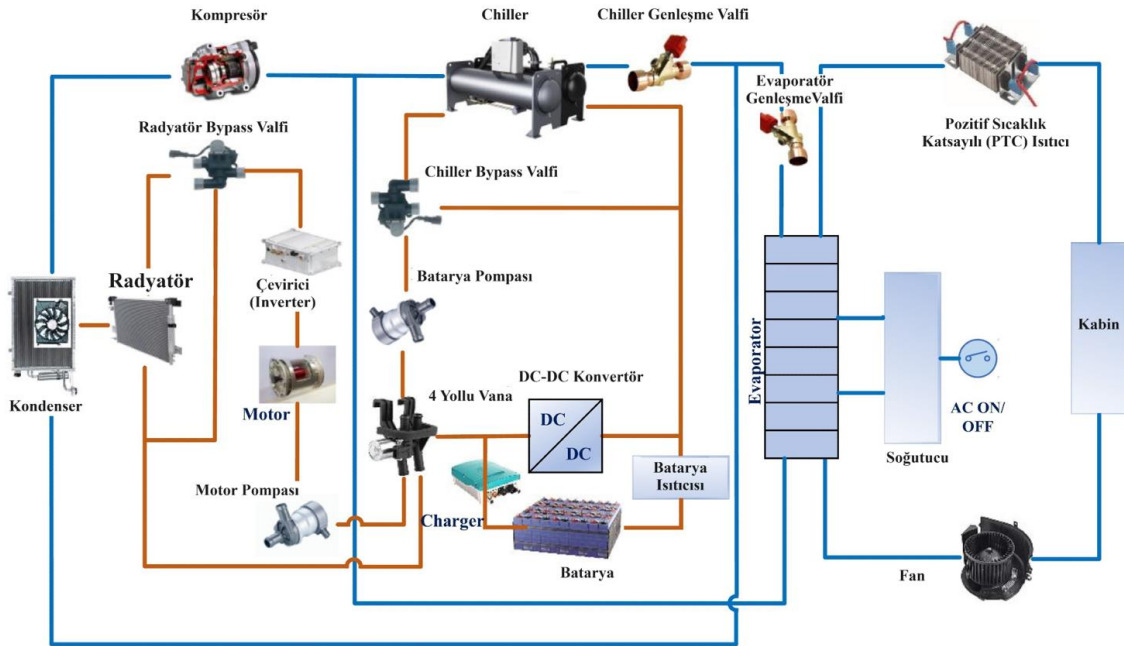
1. Giriş

Avrupa Komisyonu'nun "Enerji Yol Haritası 2050" projesi, AB'nin uzun vadeli sürdürülebilir enerji sistemlerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu yol haritası, 2050'ye kadar karbon salınımını azaltma, enerji verimliliğini artırma ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi teşvik etme hedeflerini içermektedir. Dolayısıyla enerji depolama ve termal yönetim teknolojilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden EA, çeşitli termal yönetim uygulamaları ile donatılmıştır. Bunlar; batarya ile soğutucu arasında doğrudan temas veya soğutucu akışkanın batarya boyunca yerleştirilmiş tüpler veya borular aracılığıyla akarak dolaylı olarak uygulanmaktadır. Bu sistemler arasında; hava soğutma [1], sıvı soğutma [2], soğutucu [3], Faz Değişim Malzemesi (FDM) soğutma [4-5], termoelektrik soğutma [6] ve ısı borusu [7] bulunmaktadır. Genellikle TYS, sadece soğuk veya sıcak iklimler için uygundur. Dolayısıyla her bölgede tüm sıcaklıkların yaklaşık olarak aynı varsayılması TYS operasyonunda zorluklara neden olmaktadır. Aynı zamanda çeşitli iklim koşullarına sahip olan farklı ülkeler ve bölgeler, elektrikli araçlar için farklı termal yönetim gereksinimlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden, son birkaç yıldır elektrikli otobüs, tren vb. daha büyük ölçekli mekanik sistemlerde çift döngüye sahip sıvı soğutmalı ETYS'ye eğilim artmaktadır. Bu uygulamalar; performans, ağırlık, boyut, güvenilirlik, koruma, enerji tüketimi ve çalışma koşullarına bağlı olarak değerlendirilmektedir.

Kharabati ve Saedodin (2024) literatür incelemelerinde farklı batarya TYS kümeleri için günümüze kadar olan araştırma eğilimleri ve araştırma boşluklarını belirlemek için görselleştirme programı kullanmışlardır. Bulgular, anahtar kelimeler (geçmiş yıllardaki terim sıklığı) içinde entegreli soğutma sisteminin en yeni odak noktası olduğunu önermektedir. Diğer soğutma sistemleri içinde ise aktif ve pasif soğutma sistemlerinin olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber son birkaç yıldaki anahtar kelimenin "faz değişim malzemesi" üzerinde yüksek sıklığa rastlanmıştır. Malzeme, gizli ısı depolama kapasitesi sayesinde faz değiştirme esnasında ısıyı depolayarak veya serbest bırakarak sistemin istikrarlı ve dengeli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. FDM'lerin pasif soğutma sistemleri kategorisine ait olması dikkate alındığında, araştırmacıların özel olarak "entegreli termal soğutma sistemlerinin" tasarımı ve uygulamasına odaklandığı ve bunları olağanüstü performansları nedeniyle TYS'ler içinde FDM'nin kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır [8].

Genellikle elektrikli araçlarda aktif veya pasif soğutma sistemleri tercih edilmektedir [9]. ETYS, aktif ve pasif soğutma yöntemlerinin avantajlarını bir araya getiren yeni nesil bir uygulamadır. Bu sistem, yüksek ısı üreten cihazlarda kullanılarak cihaz bileşenlerinden kaynaklanan ısıyı etkin bir şekilde kontrol edip dağıtmak için tasarlanmıştır. ETYS, genellikle iki döngüden oluşmaktadır. Birincil döngüde cihazın bileşenlerinden gelen ısı, bir sıvı soğutma sistemi kullanılarak radyatöre transfer edilir ve sıvı soğutucu bir ünite tarafından soğutulmaktadır. İkincil döngüde ise, dolaşan sıvı, cihazın ısı üreten bileşenlerinden ısıyı absorbe ederek tekrar birincil döngüdeki sıvı soğutucu ünitesi tarafından soğutularak çevrim tamamlanmaktadır. İkincil döngü, cihazın bileşenlerinden kaynaklanan ısıyı daha etkin bir şekilde dağıtmak ve cihazın sıcaklığını kontrol etmek için birinci döngü ile etkileşim içindedir. ETYS'de bulunan radyatör, birincil döngü içinde sıvı soğutma sistemine entegre edilerek ısı transferini sağlamaktadır. Bileşenlerden gelen ısı, radyatör aracılığıyla sıvı soğutma sistemine aktarılarak soğutma ünitesi tarafından soğutulmaktadır. Bu sayede, radyatör birincil döngüde cihazın ısı üreten bileşenlerinden kaynaklanan ısıyı uzaklaştırmak için bir nevi soğutucu plaka olarak kullanılmaktadır [10-12]. Bu sayede otomobil kliması ve ısıtıcısı çevresel koşullara göre kontrol edilerek kabin içinin soğutulması veya ısıtılması sağlanmaktadır. Bataryanın soğutulması gerektiğinde, bir ısı değiştirici işlevi gören chiller aracılığıyla akışkan, batarya paketinin soğutucu kanallarına pompa edilmektedir [13]. Bataryanın ısıtılması gerektiğinde (serin hava koşullarında), gereken çalışma sıcaklığını korumak için elektrikli ısıtıcılar veya kondenser yardımıyla sıcak hava, batarya paketine pompalanmaktadır. Sıvı soğutmalı ETYS'nin ana avantajı, çok düşük bir akış hızıyla yüksek termal

iletkenlik özelliği ve yüksek ısı kapasitesi sayesinde geniş bir çalışma sıcaklık aralığı sağlayabilmektedir. Ayrıca, sıvı soğutma ETYS'nin hava soğutmalı sisteme kıyasla gürültü seviyesinin çok daha az olduğu bildirilmektedir [14-17].



Şekil 1. İki döngülü hibrit sıvı soğutuculu ETYS'nin çalışma şeması [18]

ETYS bünyesinde üç çeşit ısı değiştirici bulunmaktadır: kondenser, buharlaştırıcı ve soğutucu. Kondenser radyatörün önünde yer alırken, buharlaştırıcı kabin yakınına konumlandırılarak kabin havasının sıcaklığını ayarlamaktadır. Soğutucu ise ısı değiştirici modelini basitleştirmek için soğutucu devresi ile batarya soğutma devresi arasında yerleştirilmektedir. Singirikonda ve Obulesu (2022) çalışmalarında, Şekil 1'de görülen soğuk ve sıcak iklim koşullarına elverişli sıvı soğutuculu iki döngülü ETYS üzerine yeni bir tasarım önermişlerdir. Çift döngülü soğutma sistemi iki su sirkülasyonu döngüsünden oluşur; birincil soğutma suyu ve diğeri makine soğutma akışkanından oluşmaktadır. Sıvı soğutucu döngüsünde, chiller ve radyatör ısı değiştiriciler olarak görev yapmaktadır. Eğer radyatör, yüksek ortam sıcaklığında tek başına yeterli olmazsa chiller devreye girmektedir. Batarya soğutucu döngüsü ile güç aktarma organı soğutucu döngüsü, kendi soğutucu tankları ve pompaları ile paralel modda ayrı ayrı çalıştırılmaktadır. Bu döngüdeki radyatör, güç aktarma bileşenini soğuturken chiller, batarya döngüsündeki akışkanı soğutmak için kullanılmaktadır. Radyatör ve chiller sıcak hava koşullarında pil ve güç aktarma organları soğutucularını soğutur. Chiller, soğutucudan ısıyı emer ve radyatör, soğutucudan havaya ısı transferini sağlar. Radyatör, soğutucudan havaya ısı transferini sağlayan dikdörtgen tüp ve fin ısı değiştiricisidir. Bu 3 yollu bypass valfi, soğutucuyu radyatöre ya da geçişini sağlamak için kullanılır. Sıcak hava koşullarında, soğutucudan havaya ısı transferi için soğutucudan geçerek güç aktarma organlarından üretilen ısı kullanılır. Güç aktarma organı ve otomobil kabin soğutucusu hava koşullarına göre soğutucu pompa ve ısıtıcıları ile kontrol edilerek güç tüketimi azaltılmaktadır. Çalışmada yapılan deney sonuçları, güç aktarma organı ve kabin sıcaklığının, -10°C , 30°C ve 40°C dış ortam sıcaklıklarında yeterli soğutma sağladığını göstermiştir. Ayrıca, önerilen ETYS'nin batarya ve otomobil kabinindeki yolcu için güvenli ve verimli olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel sıvı soğutucu veya tam soğutucu TYS'lerde yalnızca tek bir hava koşulu için uygunken bu çalışmada önerilen ETYS'nin tüm hava koşulları için uygun olduğu vurgulanmıştır [18].

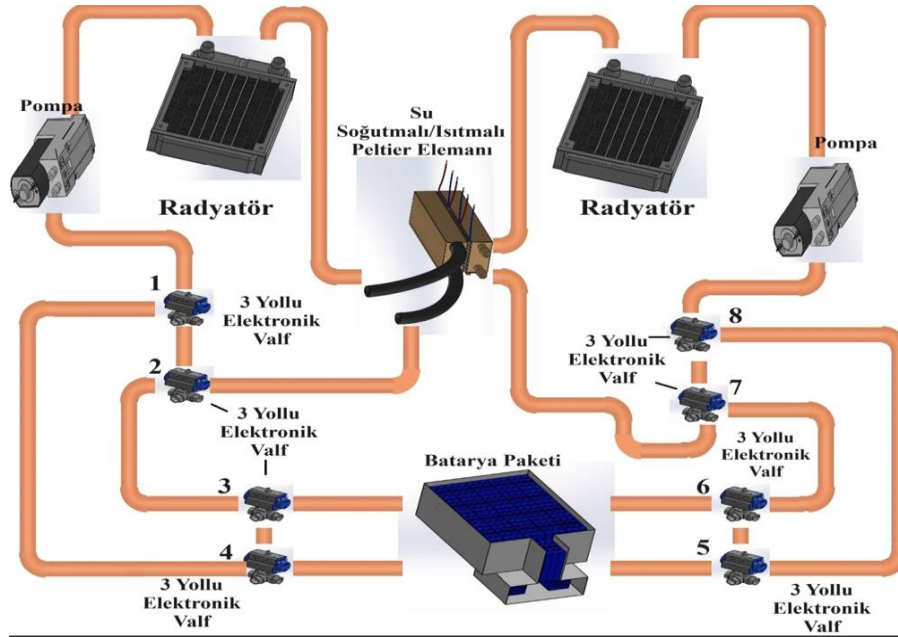
Yang ve ark. (2023), ETYS olarak üç aşamalı soğutma stratejisi ile elektrik sistemi için ısı geri kazanımlı yenilikçi bir entegre sistem oluşturulmuşlardır. Enerji israfını ve artan maliyetleri önlemek için, bu çalışma ile termal yönetim için uygun geniş bir sıcaklık aralığı önermişlerdir. Isı pompası sistemleri üzerine yapılan deneysel çalışmaları ve elektrik sistemlerinin termal analizleri sayesinde, bir

soğutucu enjeksiyonlu ısı pompası temelli etkili bir ETYS için geliştirilmiştir. Ayrıca, sistem performansını değerlendirmek için AMESim yazılımını kullanarak bir simülasyon yapılmıştır. Sonuçlar, ara-ısı değiştiriciye dayalı batarya soğutmanın istikrar ve verimliliğinin, çift evaporatör kurulumu ile elde edilenlerden daha iyi olduğunu göstermiştir. Çalışmada önerilen yöntemle 35 °C ortam sıcaklığında ısı geri kazanımı ile enerji tüketiminin % 11.98 - % 56.69 aralığında azaltılabilmektedir. Ayrıca geliştirilen simülasyon sistemi, Çin'deki geniş sıcaklık aralığı için yük gereksinimleri karşılanabilmektedir. Simülasyon sonuçları, geleneksel çözümlere kıyasla tipik soğutma koşullarında % 30 sistem enerji verimliliğini artırdığını göstermiştir [19].

Bae ve ark. (2024), çeşitli iklim koşulları altında stabil termal denge sağlayabilen bir ısı pompası temelli ETYS önermişlerdir. Ayrıca, çeşitli iklim koşullarında termal yönetim yapma yeteneğini değerlendirmek için detaylı bir güç aktarma sistemi modelini ETYS'de uygulamışlardır. Sistem çalıştığında, kompresörden boşaltılan sıcak ve yüksek basınçlı soğutkan, HVAC devresindeki radyatörde yoğunlaştırılmaktadır. HVAC tarafındaki radyatör aracılığıyla ısı emildikten sonra, soğutucu kompresöre geri dönmektedir. Soğutma için aracın önünden geçen havayı kullanmak, sıvı soğutmaya kıyasla ağırlığı ve gereksiz enerji tüketimini azaltmada etkilidir. Ayrıca, aracın önünden gelen havayı kullanarak, yüksek ve düşük sıcaklıklarda radyatörleri soğutmak için sırasıyla ram hava (otomobil hızlandıkça artan hava basıncı) ve radyatör fan modelleri oluşturulmuştur. Yüksek voltaj ve güç elektroniği modül termal yönetim döngüleri, bir chiller ve bir radyatör kullanılarak çalışma sıcaklıklarını aktif olarak kontrol etmek için tasarlanan devreler kullanılmıştır. Bu modelin, yüksek yük sürüş koşulları altında, özellikle HWFET senaryosu [Emission Test Cycles, 2023] altında değerlendirilerek 36 °C gibi yüksek sıcaklık ve 10 °C gibi düşük sıcaklık koşullarında da stabil termal yönetim yapabildiğini ortaya koymuşlardır [20].

Atık ısı geri kazanımı, ısıtma sırasındaki enerji tüketimini azaltarak pozitif sıcaklık katsayısını iyileştirmeye de yardımcı olmaktadır. Bununla beraber New European Driving Cycle (NEDC) standardında [21] belirtildiği üzere motor atık ısı geri kazanım sisteminin, kabin ısıtma talebini karşılayabileceği doğrulanmıştır. Bu bağlamda He ve ark (2023), elektrikli araçlarda iki adet dört yollu valften oluşan bir motor atık ısı geri kazanımlı ETYS önermişlerdir. Her bileşenin parametreleri temel alınarak ETYS modelinin deneyleri ve simülasyonu yapılmıştır. Çalışma kapsamında kabin ve batarya sıcaklıkları 0 °C, 20 °C ve 40 °C için incelenmiştir. Önerilen ETYS bataryayı soğuttuğunda, chiller'in bir tarafında düşük sıcaklıktaki soğutkan ve diğer tarafında ise yüksek sıcaklıktaki soğutkan bulunmaktadır. Sistem, farklı soğutma hızları, farklı batarya sıcaklıkları ortam sıcaklığı 20 °C'nin altına düştüğünde daha dengeli ve kararlı çalışmaktadır. Şöyle ki; 20 °C'nin altında, bataryadan çıkan yüksek sıcaklıktaki soğutkanın bir kısmı, radyatörden tarafından soğutulmaktadır. Bu soğutma, ikincil döngü içinde bir soğutma suyu pompası kullanılarak gerçekleştirilmektedir ve güç tüketimi neredeyse ihmal edilebilir seviyede olduğu için böylece sistemin genel verimliliği artmaktadır. Elde edilen verilere göre, ısı geri kazanımlı ve geri kazanımsız sistemlerin batarya ve kabin sıcaklıklarındaki ısınma ve soğuma hızları karşılaştırılmıştır. Isı geri kazanımlı sistem kullanımında, soğutma hızları incelendiğinde, batarya sıcaklığı 40 °C'den 30 °C'ye % 5.8, kabin sıcaklığı ise 40 °C'den 23 °C'ye % 9.7 daha hızlı soğuduğu belirtilmiştir [22].

Khalili ve ark. (2023), bataryaların en iyi performans gösterdiği sıcaklık aralığının 25–35 °C olmasından ötürü termoelektrik elemanlar ve çift radyatör kullanılarak yeni bir ETYS geliştirmişlerdir (Şekil 2). Gerçek sürüş koşullarını simüle etmek için bir model oluşturularak PID (oransal-integral-türevsel) denetleyici ve bulanık mantık algoritması kullanılarak sonuçlar incelenmiştir. Soğuk havalarda, batarya yüzey sıcaklığının istikrarlı hale gelmeden önce dalgalanma gösterdiği, sıcak havalarda ise sıcaklık profillerinin aracın hız profiline uygun olduğu görülmüştür. Sistemin çeşitli parametrelerinin incelenmesiyle, sıcaklığın uygun bir aralıkta tutulabileceği bildirilmiştir [23].



Şekil 2. İki radyatör ve bir ısı pompalı ETYS şeması [23]

Yüksek voltajlı bir batarya sıcaklığı, sıcak iklim koşulları söz konusu olduğunda çevresel hava aracılığıyla soğutulmasını zorlaştırmaktadır. Son birkaç yıldır yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar, ETYS lerde yaygın olarak kullanılan radyatörlerin, sistem verimliliğine önemli ölçüde katkı sağladığını göstermektedir [18-24]. Bu çalışmada iki döngülü sıvı soğutmalı entegreli TYS'lerinde bulunan radyatör üzerindeki termal yükün azaltılmasına yönelik deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında radyatör bünyesine FDM entegre edilerek radyatörün sıcak mevsim şartlarındaki termal yükün azaltılması amaçlanmış olup radyatörün ve FDM'nin termal davranış karakteristiği incelenerek elde edilen veriler tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

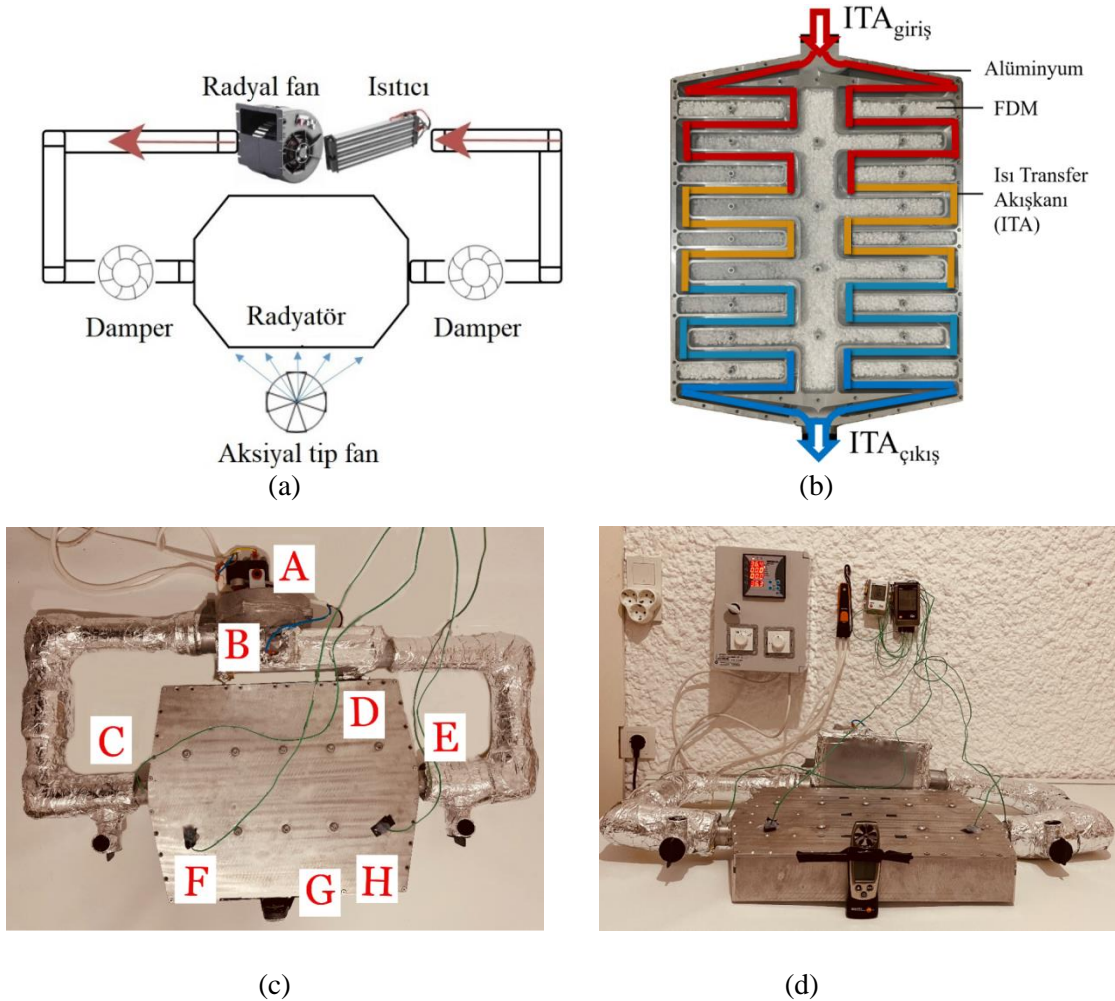
2. Materyal ve Yöntem

2.1 Deneysel Düzen

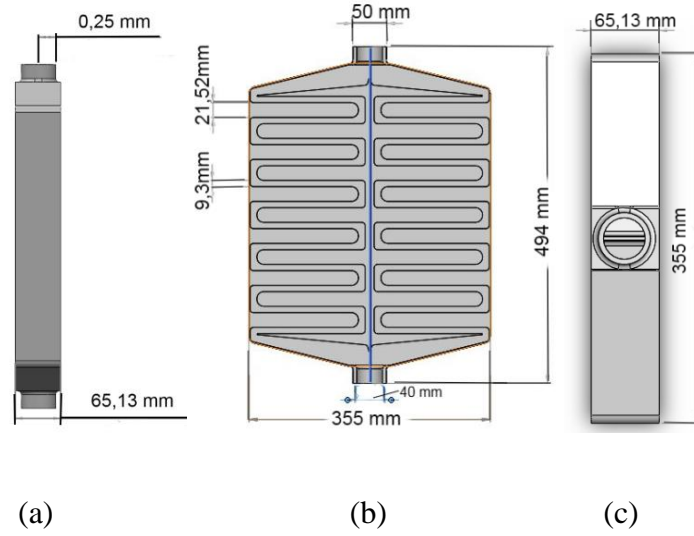
Bu çalışma kapsamında deneyler, üniversite bünyesinde bulunan iklimlendirme ve soğutma laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada ETYS, yüksek ısı üreten uygulamalarda kullanılarak cihaz bileşenlerinden kaynaklanan ısıyı etkin bir şekilde kontrol edip dağıtmak için iki mekanik döngüden oluşmaktadır. Birincil döngüde, bileşenlerden gelen ısı, sıvı soğutma sistemine entegre edilmiş sistem aracılığıyla uzaklaştırılmaktadır. İkincil döngüde ise dolaşan sıvı, cihazın ısı üreten bileşenlerinden ısıyı absorbe ederek tekrar birincil döngüdeki sıvı soğutucu ünitesi tarafından soğutulmaktadır. Deneysel çalışmanın konusu olan ikincil döngüde; FDM entegre edilmiş bir radyatör, fan, ısı transfer akışkanının istenilen sıcaklıklara çıkması için ısıtıcı, iki adet hava emiş/egzoz damperi kullanılmıştır. Soğutma ve ısıtma uygulamalarında gizli ısı depolama kapasitesinden yararlanan FDM, termal temasta olduğu akışkanın termal enerjisini depolamakta veya serbest bırakmaktadır. Dolayısıyla sistemin çalışma sıcaklığı sabit tutulmakta veya gerektiğinde sisteme geri ısı salınımı yapılarak stabil hal korunmaktadır. FDM seçiminde TYS'nin çalışma sıcaklık değerlerine göre FDM seçimi yapılmaktadır. Bu seçimde dikkat edilmesi gereken parametrelerden biri de FDM'nin katılma/erime sıcaklık aralığının sistem çalışma sıcaklık aralığı ile uyumlu olmalıdır [5]. TYS'de bataryaların optimum çalışma sıcaklık aralığının 25–35 °C olmasından ötürü [23] sistemde FDM görevi yapacak miristil alkolün çalışma sıcaklık aralığı 34 °C-44 °C olacak şekilde sentezlenmiştir. Bunun sebebi

FDM 34 °C'deki katı faz halinde kararlı halde kalmak isteyeceği için peltamsi bölgeye girmeden gizli ısı depolamaya başlamaktadır.

Deneylerde radyatör üzerine rüzgarın soğutmaya etkisi için harici bir aksiyal fan dan yararlanılmıştır (Şekil 3a). Kullanılan aksiyal fanın; voltaj, frekans, devir, hava debisi, güç özellikleri sırasıyla 220V, 50Hz, 1350 d/dk, 17400 m³/h, 210 W'dur. Radyatör içinde sirküle edilen ısı transfer akışkanı olarak da hava kullanılmıştır. Şekil 3(b)'de görüleceği üzere radyatör tasarımında ITA ile dolaylı temasta olan FDM eklenmiş simetrik yerleştirilmiş kapalı hücreler bulunmaktadır. Şekil 3(c)'de deney düzeneğinin üstten görüşü sunulmuş olup sırasıyla A, radyal fan; B, ısıtıcı; C, ITA giriş sıcaklık sensör konumu ; D, radyatör; E, ITA çıkış sıcaklık sensör konumu; F, FDM ilk hücre sıcaklık sensör konumu; G, ortam hava hızı ölçüm cihazı (anemometre); H, FDM son hücre sıcaklık sensör konumu şekil üzerinde gösterilmiştir. Şekil 3(d)'de ise deney düzeneğinin önden görünüşü sunulmuştur. Tasarım aşamasında gerek ve yeter şartların sağlanabilmesi için öncelikle ITA'nın kanallar içindeki seyrinde akışın kesintiye uğramaması amaçlanmıştır. Bununla beraber radyatör tasarımında FDM'nin konulduğu havuz yapılar tasarlanırken; FDM gizli ısı depolama kapasitesinden maksimum fayda sağlanabilmesi yüzey alanının genişletilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4'te tasarımın ön, yan ve üst kesit görünüşleri verilmiştir. Radyatörün ölçüleri endüstride kullanıldığı hali baz alınmış ve en, boy, genişlik sırasıyla 355mm, 494.50mm, 65.13mm olacak şekilde imal edilmiştir. Radyatör giriş-çıkış boğaz kanallarının çapı 500 mm olup FDM, sirküle edilen ITA ve Alüminyum gövdenin hacimleri sırasıyla 0.0037375 m³, 0.0041158 m³ ve 0.001831 m³tür.



Şekil 3. (a) Deney setinin şeması (b) radyatör içine FDM entegre edilmiş hali. (c) deney seti üst görünüş: A radial fan, B ısıtıcı, C ITA giriş sıcaklık sensörü, D radyatör, E ITA çıkış sıcaklık sensörü, F FDM ilk hücre sıcaklık sensörü, G anemometre, H FDM son hücre sıcaklık sensörü (d) ön görünüş.

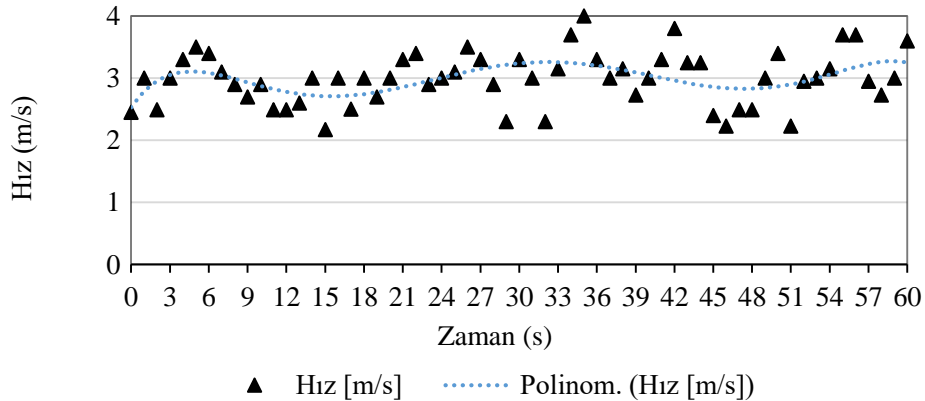


Şekil 4. Radyatör dış ve iç kesit ölçüleri (a) ön (b) üst (c) yan

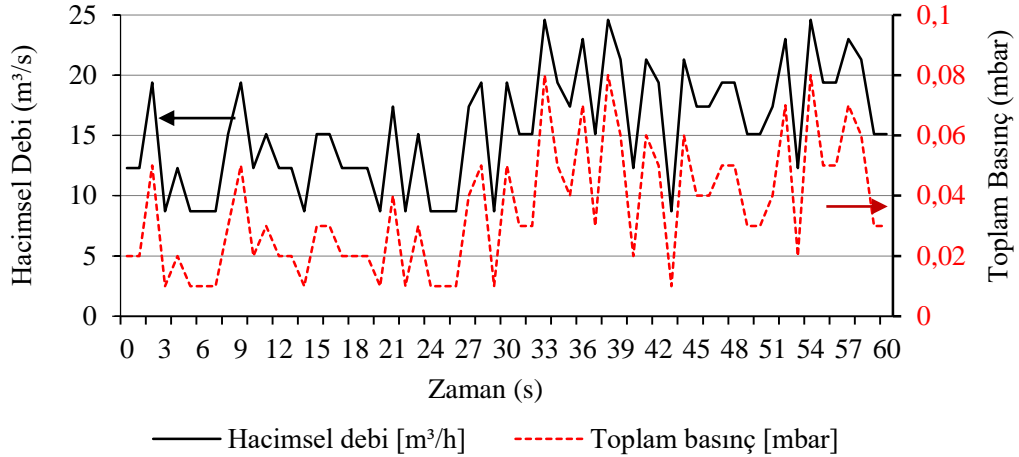
Tablo 1. FDM'nin termofiziksel özellikleri [25]

Özellikler	Simge	Birim	Değer
Katılaşma/erime sıcaklıkları	T_{FDM}	°C	34/44
Kaynama sıcaklığı	T_b	°C	260
Katılaşma/erime gizli ısısı	$L_{s/m}$	kJ/kg	218.40
Spesifik ısı kapasitesi	C_p	kJ/kg K	2.407
Yoğunluk (25 °C)	ρ	kg/m ³	824
Isı iletim katsayısı	k	W/mK	0.2
Dinamik viskozite (25 °C)	μ	kg/ms	10

Çalışmada katılaşma/erime sıcaklık aralığının geniş olduğu miristil alkol bazlı bir FDM seçilmiştir. FDM'nin termofiziksel özellikleri Tablo 1'de detaylandırılmıştır. FDM ve ITA birbiri ile direkt temas etmediği için düzenek boyunca kondüksiyon ve konveksiyonla ısı transferi gerçekleşmektedir. ITA giriş/çıkış sıcaklıkları, FDM ilk/son hücre sıcaklıkları, ITA hızı/hacimsel debisi, ITA statik/toplam basınç değerleri ve ortam sıcaklıkları veri kaydedici ile kayıt altına alınmıştır. Sistemde sirküle edilen ITA akış hızının zamana bağlı değişim değerleri Şekil 5'te sunulmuştur. Sisteme harici yolla sağlanan rüzgar hızı ortalama 3m/s olup Şekil 8'de rüzgar hızının zamana bağlı değişimi verilmiştir. ITA'nın hacimsel debisi ve sistemdeki toplam basıncın zamana bağlı dağılımları Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. ITA'nın zamana bağlı hız dağılımı.



Şekil 6. Zamana bağlı hacimsel debi ve toplam basınç değerleri

Dış ortam sıcaklığı, Akdeniz coğrafyasında yaz iklim şartlarının hâkim olduğu varsayılarak seçilmiş ve ortalama 32 °C (±2)'dir. Deneysel ITA, zorlanmış taşınım kullanılarak radyal fana entegre edilen 2400 W'lık bir rezistans yardımıyla ısıtılmış ve ortalama 43 °C'de sirkülasyonu sağlanmıştır. Deneysel düzenek cidarlarındaki termal yüklerin kalkması için deneyler arası 6 saat beklenmiştir. Senaryolarda kullanılan sınır şartları Tablo 2'de detaylandırılmıştır. Radyatör simetri esasına göre tasarlandığı için sağ ekseninin ilk ve son FDM havuzundan sıcaklık değerleri 5 sn aralıklarla kayıt altına alınmıştır.

Tablo 2. Sınır şartları

Sınır şartları	Değerler
ITA ortalama sıcaklığı	43 °C
Dış ortam sıcaklığı	32 °C
Hava hızı	3 m/s
ITA akış hızı	1,7 m/s
ITA hacimsel debi	12,8 m³/h
Toplam basınç	0,03 mbar

2.2 Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalarda belirsizlik analizleri, deneyin güvenilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Deneysel çalışmalarda dikkate alınması gereken konulardan biri, sabit hatalar ile rastgele hatalar arasındaki ayrımı yapmaktır. Deneysel belirsizlik tipleri genellikle iki kategoriye ayrılır. Bunlar, deneyin yapıldığı yapı ve ölçüm araçlarının yapısından kaynaklanan hatalar ile deneyi gerçekleştiren kişiden kaynaklanan hatalardır. İlk tür hatalar, deneysel çalışma sonuçlarının belirsizliğini etkileyen ve Denklem 1-4 ile hesaplanan hatalardır [26].

$$W_{T_{fg}} = \sqrt{[(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (e_1)^2]} \quad (1)$$

$$W_{T_c} = \sqrt{[(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (l_1)^2]} \quad (2)$$

$$W_{T_s} = \sqrt{[(a_2)^2 + (c_2)^2]} \quad (3)$$

$$W_{c_v} = \sqrt{[(v_1)^2 + (x_1)^2]} \quad (4)$$

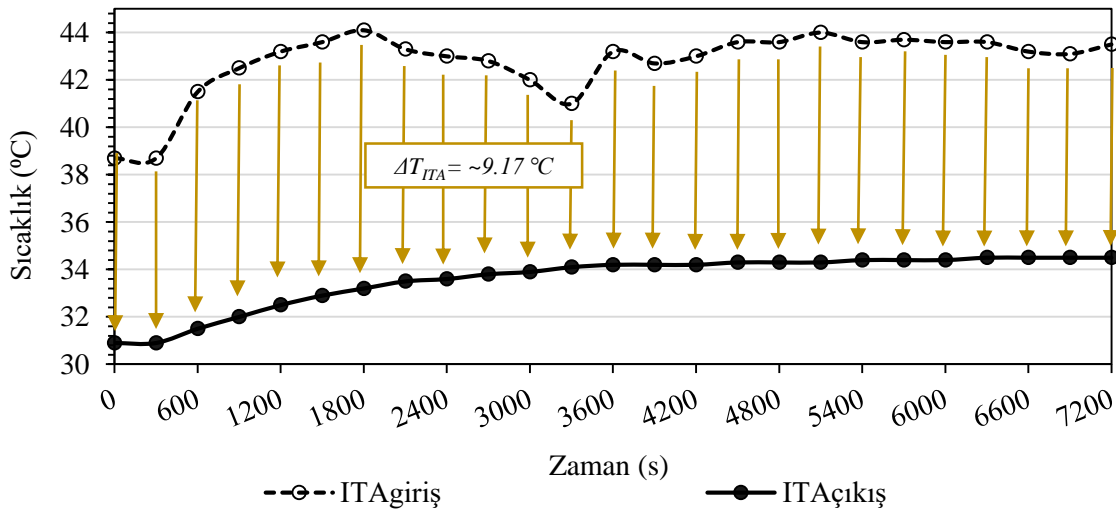
Sabit hatalar, deney sırasında okunan her değer için aynıdır. Bu sorun, uygun kalibrasyon ve düzeltme ile giderilebilir. W , belirsizlik miktarını ve W_p ile W_{cp} , fiziksel özelliklerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek hataları temsil etmektedir. Bunlar; iç sıcaklık için T_{fg} , ortam sıcaklığı için T_c , sıcaklık ölçümünde zaman için T_s , termokupl çiftleri nedeniyle hata için a_1 , dijital termometrenin neden olduğu hata için b_1 , bağlantı elemanları ve noktalar arasındaki hata için c_1 , fan girişindeki sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata için e_1 , ortam veya deneysel ortam sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata için l_1 , zaman değerlerinin okunması sırasında yapılabilecek hata için a_2 ve sıcaklık değerlerinin periyodik olarak alınması sırasında yapılabilecek ortalama hata için c_2 olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada hesaplanan sıcaklık ölçümündeki toplam belirsizlik değeri, 0.1 ila ± 0.756 °C arasında değişmektedir. Tablo 5'te görüldüğü gibi, hesaplanan hata analizi değerleri bu çalışma için kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Tablo 3. Belirsizlik analiz değerleri [26]

Parametreler	Birim	Toplam Hata
Sıcaklık ölçümünde toplam hata		
$W_{T_{fg}}$	°C	± 0.503
W_{T_c}	°C	± 0.756
Zaman ölçümünde toplam hata		
W_{t_s}	saniye	± 0.1
Diğer hatalar	%	$\pm 0.1-0.2$

3. Bulgular ve Tartışma

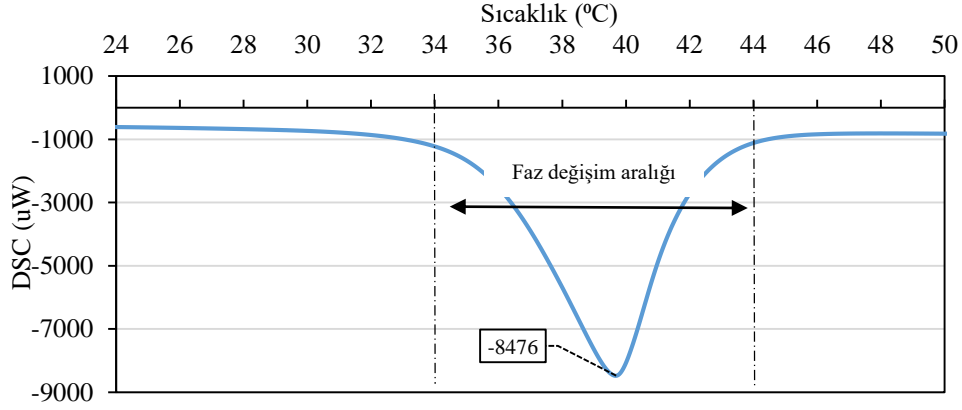
Bu deneysel çalışma ETYS'nin birincil döngüsünde kullanılan sıvı soğutmalı sistemde yer alan hava soğutmalı radyatöre FDM entegre edilmiştir. Böylelikle radyatör üstündeki termal yükün azaltılması hedeflenmiştir. Deney sonuçlarına göre ITA giriş/çıkış sıcaklık farkları (ΔT_{ITA}) zamana bağlı olarak Şekil 7'de incelenmiştir. Alınan verilerde ITA_{çıkış} sıcaklığının azaldığı ve ΔT_{ITA} 'nın 9.17 °C olduğu hesaplanmıştır. Böylelikle bu çalışmada, entegreli TYS için kullanılan radyatördeki soğutma yükünün % 21.45 oranda azaltılması sağlanmıştır (Tablo 4). Bu çalışma, entegre termal yönetim sistemlerinde (ETYS) kullanılan radyatörlere entegre edilen gizli ısı depolama yönteminin mevcut soğutmaya olumlu etki sağlayacağını göstermektedir.



Şekil 7. ITA giriş/çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı dağılımı

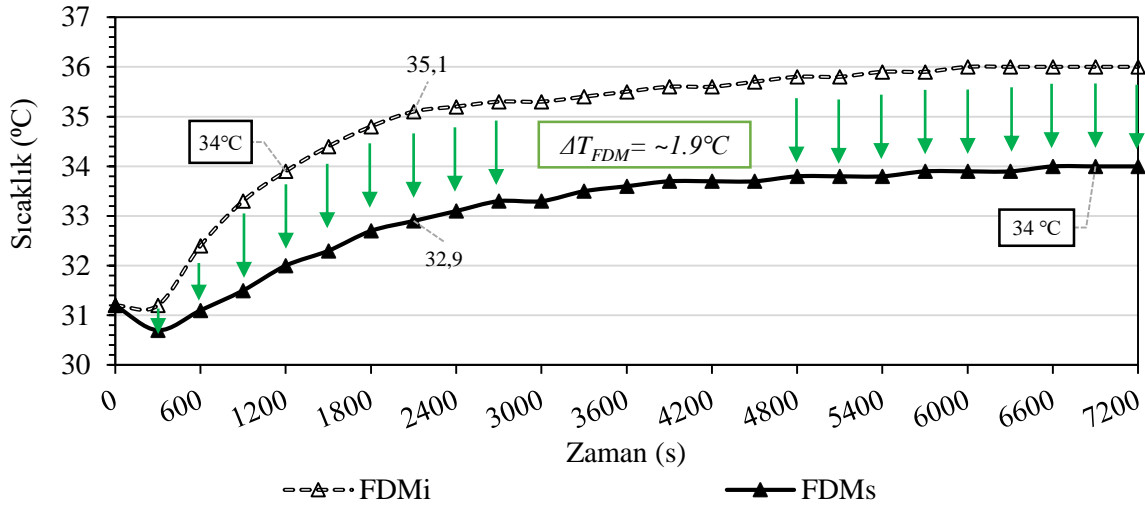
Tablo 4. ITA giriş/çıkış sıcaklık değişimlerinin yüzdesel oranları

ITA	Giriş	Çıkış
Ort. sıcaklıklar	42.8°C	33.6
Ort. sıcaklık farkı	9.17 °C	
Yüzdelerik değişim	% -21.45	



Şekil 8. Deneyde kullanılan FDM'nin DSC Analizi.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), bir malzemenin ısı kapasitesinin (C_p) sıcaklıkla nasıl değiştiğini inceleyen bir termal analiz tekniği olup çalışmada kullanılan FDM'nin DSC analizi Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere FDM 34 °C-40 °C arasında termal kapasitesini en fazla kullandığı aralık olup, 40 °C'den sonra bu ivme düşmektedir [5]. Deney setinde FDM'nin termal davranışı incelendiğinde ilk başta dış ortam sıcaklığı ile termal dengede olduğu Şekil 9'da görülmektedir. Sistemde cebri termal taşınımın artmaya başlaması ile FDM'nin ilk (FDM_i) ve son (FDM_s) hücrelerdeki zamana bağlı termal karakteristiği incelenmiştir. Deneylerde kullanılan FDM'nin gizli ısı depoladığı diğer bir deyişle katıdan sıvıya geçtiği faz değişim bölgesindeki sıcaklık aralığı 34-44 °C'dir. Bu ara faz olan bölge, peltenski bölge olarak isimlendirilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü üzere ITF'nin sistemdeki sirkülasyonu başladığı anda ilk hücredeki sıcaklığın 31 °C'den 34 °C'ye 1200s içinde çıktığı gözlemlenmiştir. 1200 s sonra FDM, gizli ısı depolamaya devam etmekte böylelikle peltenski bölge sıcaklık aralığında kalmayı deney süresince korumuştur. FDM'nin gizli ısı kapasitesi toplam 2407 kJ/kgK olup katılaşma/erime gizli ısı 218.40 kJ/kg'dır. Bu durum birincil döngüden atılan ısının absorbe edilmesi aşamasında FDM'nin katılaşma/erime gizli ısı kapasitesinin sistem için stabil ve dengeli yönde pozitif katkı sağladığını göstermiştir. Radyatör içindeki son havuzdan alınan FDM sıcaklığının da deney süresince 33 °C'nin üzerine çıkmamıştır. Ortalama artış hızları ve sıcaklıkları incelendiğinde FDM için sıcaklık farkının (ΔT_{FDM}) ~ 1.9 °C olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 9. FDM'nin ilk ve son hücredeki sıcaklıklarının zamana bağlı dağılımı

Çalışmadaki veriler Tablo 5'te görüldüğü üzere ilk hücredeki FDM sıcaklığı deney süresince ortalama 34,9 °C'de seyretmiştir. Son hücredeki FDM'nin ise bu sürede ortalama 33,1 °C'de kaldığı hesaplanmıştır. Bu sıcaklık farkının sebebi ise haznelere arası mesafenin 255,6 mm olmasından dolayıdır. Bu sıcaklık farkının sebebi ise haznelere arası mesafenin 255,6 mm olmasından dolayıdır. Tüm sonuçlar ele alındığında hücreler arası mesafe maksimum olduğu halde oluşan sıcaklık farkının çok az olması sistemde homojen termal dağılımın korunduğunu göstermiştir. FDM_i ile FDM_s arasındaki sıcaklık farkının ilk 30 dakika içinde azalan oranda arttığı sonrasında % 5,31'lik fark korunarak durağan hale geçtiği Tablo 5'te sunulmuştur. Bu durum FDM'nin konveksiyon ve konveksiyonla olan ısı transferinde sistem sıcaklığının yükselmesine izin vermemiştir. Özetle radyatöre FDM entegre edilmesiyle, sıcak iklim şartlarında radyatör üstündeki termal yük azaltılmıştır.

Tablo 5. FDM giriş/çıkış sıcaklık farkları

FDM	İlk Hücre	Son Hücre
Ort. sıcaklık	34,9 °C	33,1 °C
Ort. sıcaklık farkı		1,9 °C
Yüzdelerik değişim		% -5,31

Elde edilen sonuçlar, mevcut literatüre uyum sağlamış ve bilgi alanını genişleterek yeni bulguların ve analizlerin sunumuna katkıda bulunmuştur. Örneğin He vd. (2023) [23] çalışmalarında, kabin ve batarya sıcaklığının 40 °C'nin üzerinde olduğu durumlarda, bataryadan çıkan yüksek sıcaklıktaki bir kısım soğutkanın, ikincil döngüde bulunan soğutma suyu ve radyatör aracılığıyla batarya sıcaklığının % 5,8 oranında (40 °C'den 30 °C'ye) daha hızlı soğutulduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında, optimum aralıklardaki üst sıcaklık sınırı olan 30 °C'den daha düşük sıcaklıkların hedeflenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, FDM'nin hızlı sıcaklık emilimi ve ITA'nın 30 °C'nin üstüne çıkmaması, ikincil döngüdeki soğutma suyu pompasının daha az devreye girebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada FDM'nin termal kararlılığa olan pozitif etkisi sayesinde [8], sıcak mevsimlerde de termal kararlılığın sağlanabileceği ortaya konmuştur.

4. Sonuç

Bu çalışmada, entegre TYS'nin önemi ve performansları üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Literatürde sıklıkla kullanılan ikincil döngüdeki sıvı soğutmalı sistemde yer alan radyatöre FDM entegrasyonunun termal yönetim üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel FDM'nin gizli ısı depolama enerjisinden yararlanılarak sıcak iklim şartlarında radyatör üzerindeki termal yükün azaltılması hedeflenmiştir. Bulgularda, ITA giriş/çıkış sıcaklık farkları ve radyatöre

entegre edilen FDM'nin bulunduğu hücreler arasında zamana bağlı değişimi ile sistemdeki termal yönetimin etkinliği değerlendirilmiştir.

Çalışmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

- Entegreli TYS bünyesinde kullanılan radyatör çıkış sıcaklığı % 21.45 oranda azaltılmıştır.
- FDM sıcaklık değerleri ve sıcaklık artış hızları incelendiğinde, peltemsi bölgede gizli ısı depolama enerjisi kullanılmış ve radyatörün son hücresindeki sıcaklık 33 °C'nin üzerine çıkamamıştır.
- Tüm sonuçlar ele alındığında hücreler arası mesafe maksimum olduğu halde oluşan sıcaklık farkının (ΔT_{FDM}) ~1.9 °C olması sistemde homojen termal dağılımın korunduğunu göstermiştir. FDM_i ile FDM_s arasındaki sıcaklık farkının ilk 30 dakika içinde azalan oranda artışı sonrasında % 5.31'lik fark korunarak stabil seyretmiştir.
- Radyatör kanalları boyunca sıcaklık dalgalanmaları görülmemiştir.
- Aşırı ısınma kaynaklı hasar riski azalmış ve T_{amb} 32 °C'de iken $ITA_{çıkış}$ sıcaklığı 35 °C'nin altında kalmıştır.
- Hesaplanan belirsizlik analizi değerleri, çalışmanın kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermektedir. Bu da elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, ikincil döngüdeki radyatörün ısı eşanjörü ile entegrasyonu ve farklı termal özelliklere sahip FDM'lerin kullanılmasıyla termal ve akış dinamiklerinin araştırılması planlanmaktadır. Bununla beraber farklı iklim koşullarında ve farklı FDM türleriyle yapılan daha kapsamlı çalışmalar, entegre termal yönetim sistemlerinin daha da geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Kaynaklar

- [1] A. Lajunen, Y. Yang, A. Emadi, (2018). Recent developments in thermal management of electrified powertrains, IEEE Trans. Veh. Technol. 67, 11486–11499. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2876315>.
- [2] X. Tang, Q. Guo, M. Li, C. Wei, Z. Pan, Y. Wang, (2021). Performance analysis on liquid cooled battery thermal management for electric vehicles based on machine learning, J. Power Sources 494, 229-727. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229727>
- [3] J. Guo, F. Jiang, (2021). A novel electric vehicle thermal management system based on cooling and heating of batteries by refrigerant, Energy Convers. Manag. 237, 114145. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114145>
- [4] Y. Huo, X. Pang, Z. Rao, (2020). Investigation on the effects of temperature equilibrium strategy in battery thermal management using phase change material, Int. J. Energy Res. 44, 7660–7673. <https://doi.org/10.1002/er.5497>.
- [5] G.A. Kilic, E. Yalcin, A.A. Aydin, (2020). Optimum Operating Temperature Range of Phase Change Materials Used in Cold Storage Applications: A Case Study. In: Dincer, I., Colpan, C., Ezan, M. (eds) Environmentally-Benign Energy Solutions. Green Energy and Technology. Springer, Cham, Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20637-6_35
- [6] Y. Lyu, A.R.M. Siddique, S.H. Majid, M. Biglarbegian, S.A. Gadsden, S. Mahmud, (2019). Electric vehicle battery thermal management system with thermoelectric cooling, Energy Rep. 5, 822–827. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.06.016>.
- [7] M. Bernagozzi, A. Georgoulas, N. Mich'e, C. Rouaud, M. Marengo, (2021). Novel battery thermal management system for electric vehicles with a loop heat pipe and graphite sheet inserts, Appl. Therm. Eng. 194, 117061. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.1170>
- [8] S. Kharabati, S. Saedodin, (2024). A systematic review of thermal management techniques for electric vehicle batteries. Journal of Energy Storage, 75, 109586. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109586>

- [9] H. Zou, B. Jiang, Q. Wang, C. Tian, Y. Yan, (2014). Performance analysis of a heat pump air conditioning system coupling with battery cooling for electric vehicles, *Energy Procedia* 61, 891–894. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.989>
- [10] H. Behi, D. Karimi, M. Behi, M. Ghanbarpour, J. Jaguemont, M.A. Sokkeh, F. H. Gandoman, M. Berecibar, J. Van Mierlo, (2020). A new concept of thermal management system in Li-ion battery using air cooling and heat pipe for electric vehicles, *Appl. Therm. Eng.* 174, 115280. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115280>
- [11] X. Kuang, K. Li, Y. Xie, C. Wu, P. Wang, X. Wang, C. Fu, (2020). Research on control strategy for a battery thermal management system for electric vehicles based on secondary loop cooling, *IEEE Access*. 8, 73475–73493. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986814>
- [12] D. Leighton, (2015). Combined Fluid Loop Thermal Management for Electric Drive Vehicle Range Improvement. *SAE Int J Passenger Cars Mech Syst*; 2:711–20. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2015.07.001>
- [13] J. Wang, S. Lu, Y. Wang, Y. Ni, S. Zhang, (2020). Novel investigation strategy for minichannel liquid-cooled battery thermal management system, *Int. J. Energy Res.* 44, 1971–1985. <https://doi.org/10.1002/er.5049>.
- [14] Y. Chung, M.S. Kim, (2019). Thermal analysis and pack level design of battery thermal management system with liquid cooling for electric vehicles, *Energy Convers. Manag.* 196, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.083>.
- [15] A.A. Pesaran, M. Keyser, (2022). Thermal characteristics of selected EV and HEV batteries. 16th Annual Battery Conference on Applications and Advances, 12 Jan 2022, Long Beach, CA, USA. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/905129>. Erişim tarihi: 22 Kasım 2022. <https://doi.org/10.1109/BCAA.2001.905129>
- [16] A.R.M. Siddique, S. Mahmud, B.V. Heyst, (2022). A comprehensive review on a passive (phase change materials) and an active (thermoelectric cooler) battery thermal management system and their limitations. *Journal of Power Sources*, 401, 224-237. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.08.094>
- [17] C. Liu, F. Li, L.P. Ma, H.M. Cheng, (2010). Advanced materials for energy storage. *Advanced Materials*, 22(8), 28-62. <https://doi.org/10.1002/adma.200903328>
- [18] S. Singirikonda, Y. P. Obulesu, (2022). Adaptive secondary loop liquid cooling with refrigerant cabin active thermal management system for electric vehicle. *Journal of Energy Storage*, 50, 104624. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104624>
- [19] H. Yang, J. Wu, X. Xue, Z. Guo, H. Zhang, F. Chen, Y. Chen, (2023). A refrigerant-injection heat pump-based efficient integrated thermal management system for electric vehicles approaching the wide temperature range in China. *Energy Conversion and Management*, 288, 117102. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117102>
- [20] E Bae, J. Hyun, D.J. Han, (2024). Adaptive Integrated Thermal Management System for a Stable Driving Environment in Battery Electric Vehicles. *Batteries*, 10(2), 59. <https://doi.org/10.3390/batteries10020059>
- [21] Emission Test Cycles, (2023). Available online: <https://dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>. Erişim tarihi: 1 Kasım 2023.
- [22] L. He, Z. Gu, Y. Zhang, H. Jing, P. Li, (2023). Control strategy analysis of vehicle thermal management system based on motor heat utilization. *Energy Technology*, 11(10), 2300495. <https://doi.org/10.1002/ente.202300495>
- [23] H. Khalili, P. Ahmadi, M. Ashjaee, E. Houshfar, (2023). Thermal analysis of a novel cycle for battery pre-warm-up and cool down for real driving cycles during different seasons. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(16), 8175-8193. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11601-3>
- [24] G.A. Kilic, (2023). An experimental analysis on the effects of passive liquid cooling system on thermal management system. *International Journal of Thermofluids*, 18, 100370. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100370>.
- [25] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/er.8279?saml_referrer. Erişim tarihi: 29.Ekim.2023.
- [26] J.P. Holman, (1971). *Experimental methods for engineers and scientists*, 37-52, McGraw-Hill Company, USA.



Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyyumfd>



Çimento da Cr (VI) iyonunun indirgenmesi ve çimento özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması

Emre AKKEÇİ^a, Vahap YÖNTEN^{a*}

^a Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5514-404X

^b Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3069-6371

ÖZET

Çimento suyla temas ettiğinde içeriğindeki Cr(VI) suda çözünmekte ve deriye teması sonucunda kontakt dermatite neden olabilmektedir. Çimentodaki Cr(VI) varlığı nedeniyle oluşabilecek sağlık sorunlarını kontrol altına alabilmek ve azaltmak için yasal tedbirler alınmaktadır. Avrupa Parlamentosunca hazırlanan 2003/53/EC direktifinde, hidrasyon sonrası çimentoda Cr(VI) içeriği üst limiti 2 ppm olarak belirlenmiş ve bu değerin üzerinde Cr(VI) içeren çimentonun AB satışı 17 Ocak 2005 tarihinden itibaren yasaklanmıştır. Ülkemizde ise elleçleme esas torbalı çimentolarda Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlaması yönetmeliği Ek 17, 47. maddesinde çimentoda bulunan çözülebilir kromun 2 ppm'den küçük olması gerektiği belirtilmektedir.

Bu çalışmada, indirgen kimyasallar kullanılarak çimentodaki Cr(VI)'yı indirgeme etkinlikleri belirlenmiştir. Çimentodaki Cr(VI) miktarını yasal sınır olan 2 ppm değeri altına indirmek için kimyasal indirgen olarak demir sülfat monohidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), demir sülfat tetrahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), demir sülfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), çimento olarak da 40.26 ppm krom içeriği olan CEM I 42.5 R portland tip çimento kullanılmıştır. İndirgeme sonrasında çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerine yönelik değişiklikler incelenmiştir. Yapılan çalışmada sonuç olarak kullanılan indirgenlerin hepsinin çimentoda Cr(VI)'yı indirgeme etkinliğinin olduğu görülmüştür. Kütlece % 0.2 kullanıldığında Cr(VI) miktarının 0.34 ppm değerlerine kadar düşmesi, diğer kimyasallara göre indirmek için daha az miktarda kullanılması ve çimento özellikleri üzerindeki değişikliklerin makul seviyelerde görülmesi nedeniyle demir sülfat heptahidratın daha etkili indirgen olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Dermatit, İndirgeme, Krom (VI).

Ionic Cr(VI) reduction in production of cement and investigation of its effects on cement properties

Emre AKKEÇİ^a, Vahap YÖNTEN^{a*}

^a Department of Chemical Engineering, The Institution of Science, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5514-404X

^b Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3069-6371

ABSTRACT

When cement comes into contact with water, the Cr(VI) it contains dissolves in water and may cause contact dermatitis as a result of skin contact. Legal measures are taken to control and reduce health problems that may occur due to the presence of Cr (VI) in cement. In the 2003/53/EC directive prepared by the European Parliament, the upper limit of Cr(VI) content in cement after hydration was determined as 2 ppm and EU sales of cement containing Cr(VI) above this value were prohibited as of 17 January 2005. In our country, it is stated that the soluble chromium contained in the cement should be less than 2 ppm in the Article 47 of Annex 17 of the Regulation on Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals in bagged cements for handling.

In this study, reducing activities of Cr(VI) in cement were determined by using reducing chemicals. In order to reduce the amount of Cr(VI) in cement below the legal limit of 2 ppm, iron sulfate monohydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), iron sulfate tetrahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), ferrous sulfate heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), and 40.26 ppm cement as cement. CEM I 42.5 R portland type cement with chromium content was used. Changes in the physical and chemical properties of cement after reduction were investigated. As a result, it was observed that all of the reducers used in the study had a reducing efficiency of Cr(VI) in cement.

It has been determined that ferrous sulfate heptahydrate is a more effective reducing agent, since the amount of Cr(VI) is reduced to 0.34 ppm when 0.2% by mass is used, less amount is used for reduction compared to other chemicals, and changes on cement properties are observed at reasonable levels.

Keywords: *Cement, Dermatitis, Reduction, Chromium (VI).*

1. Giriş

Çimento, hava ve su ile teması sonucunda sertleşebilen, sertleştikten sonra belirli sabit bir dayanımı ve hacmi olan “Hidrolik Bağlayıcı”dır [1]. Çimento, insanlık tarihinde geçmişten bu güne kadar gelişimini sürekli devam ettiren, yapı endüstrisinin ana hammaddesi olup, kullanımı giderek artış göstermektedir. Ülkemizde çimento sektörü 21 öğütme tesisi, 55 entegre fabrika olmak üzere toplamda 76 çimento üretim tesisiyle faaliyetini sürdürmektedir [2].

Yapı endüstrisinde kullanılan çimentoda Cr(VI) içeriği, öncelikli olarak hammaddeden ve ikincil olarak döner fırındaki yüksek sıcaklıkta ve oksijenli ortamda oluşmaktadır. Bu nedenle alternatif hammadde ve kullanılan yakıt içeriğindeki krom muhtevasının kontrolü son derece önemlidir [3]. Bunun yanında, öğütme işlemlerinde ise değirmende krom alaşımli plakalar ve bilyaların kullanılması, katkı olarak puzolan ve yüksek fırın cürufu kullanılması, priz düzenleyici olarak alçıtaşı gibi krom içeren maddeler kullanılması, öğütme kolaylaştırıcılar, çimentonun pH'ı ve çimento çıkış sıcaklığını kontrol altında tutabilmek için sisteme verilen su metalik kromun Cr(VI)'ya yükseltgenmesine sebep olarak gösterilebilir [4]. Cr(VI) toksik özelliği nedeniyle deriye teması sonucunda insan sağlığı için ciddi olumsuz etkiler gösterebilmektedir. Bu nedenle çimentodaki Cr(VI) varlığı dermatit hastalığının en büyük kaynaklarından [5]. İran'da yapılan bir çalışmada çimento fabrikasında çalışan, yaşları 21-60 arasında değişen, 542 çalışandan 153'ünde dermatit tespit edilmiştir. En çok etkilen bölgenin ise avuç içleri olduğu görülmüştür [6]. Bu kapsamda insan ve çevre sağlığını etkileyecek durumlar için yasal tedbirler alınmaktadır. Çimentoda Cr(VI) varlığı nedeniyle meydana gelen sağlık sorunları azaltmak, kontrol altına alabilmek için Avrupa Paramentosu tarafından hazırlanan 2003/53/EC direktifinde, hidrate olmuş çimentoda Cr(VI) içeriği maksimum 2 ppm olarak belirlenmiş ve bu değer üzerinde Cr(VI) içeren çimentonun AB satışı 17 Ocak 2005 tarihinden itibaren yasaklanmıştır. Ülkemizde ise elleçleme esas torbalı çimentolarda Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlaması yönetmeliği Ek 17, 47. maddesinde çimentoda bulunan çözülebilir kromun 2 ppm'den küçük olması gerektiği belirtilmektedir. Literatürde krom kirliliğini önlemek ve bertarafına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Krom kirliliğinin bertarafı için kimyasal çöktürme, adsorbsiyon, iyon değiştirme, indirgeme gibi birçok kimyasal ve fiziksel yöntem uygulanmaktadır.

Kromatın, baryum ve kurşun gibi maddelerle çökeltilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Askorbik asit ve kükürt içeren bileşiklerle krom indirgenmesi yöntemi, Demir sülfatın, teknik ve dermatolojik nedenlerle indirgenmesi. İyon değiştiricilerin (iyon eşanjörü) reçinelerinin, kromatı bağlayıcı özelliği olduğu tespit edilmiştir. EDTA da (etilen diammin tetra asetik asit) aynı şekilde kullanılmıştır [7]. Yapılan bir çalışmada, Manisa-Gördes bölgesine ait klinoptilolit tipi zeolitlerin doğal halde ve aktive edilerek, çimento süspansiyonlarında bulunan Cr +6 ve Cr +3 bileşiklerini adsorblama kapasitesi araştırılmıştır. Adsorbsiyon kapasitesini artırmak amacı ile klinoptilolitlere ısı, asit ve baz aktivasyonu uygulanmıştır. Isıl aktivasyonda kalsinasyon sıcaklıkları 400°C, 500°C ve 600°C olarak seçilmiş ve kalsinasyon sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Asit aktivasyonunda HNO₃ ve H₂SO₄, baz aktivasyonunda KOH ve NaOH kullanılmıştır. Çalışmanın iki amacından biri, demir sülfatla kromu +6'dan +3'e indirgenen çimentoya zeolit ilavesiyle kromun +3 formunda adsorblanarak yeniden oksidasyonunun önlenmesi, diğeri ise +6 formundaki kromun adsorblanmasının araştırılmasıdır. Bu amaçlarla klinoptilolitler, Cr (+ VI) değeri 2 ppm ve 14 ppm olan CEM I tipi katkısız çimentolara % 5, % 10, % 20 ve % 40 oranlarında eklenerek 6 ay süresince krom analizleri yapılmıştır [8].

Çimentodaki Cr(VI)'nın kimyasal indirgenmesi ilk olarak Burchhardt tarafından demir sülfat (FeSO₄) kullanılarak yapılmıştır. Yılmaz ve ark. (2007) tarafından çimento süspansiyonlarında Cr(VI)'nın farklı indirgenler karşısında indirgenme özellikleri konulu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Cem I 42,5 R portland tip çimento kullanılmış, indirgen kimyasal olarak ise demir (II) sülfat heptahidrat, sodyum ditiyonit, sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan her bir kimyasalın Cr(VI)'yı indirgeme kapasitelerinin olduğu yalnız demir (II) sülfat heptahidrat ve sodyum ditiyonit'in diğer kimyasallara göre daha verimli oldukları görülmüştür. Sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat'ın Cr(VI)'yı düşük miktarlarda indirgemesi bu indirgenlerin çimentoda Cr(VI) giderilmesi için kullanılmayacağını göstermiştir. Sodyum ditiyonit kimyasal

indirgeni Cr (VI)'nın giderilmesinde verimli gözükse de raf ömrü süresinde indirgeme verimini kaybetmesi kullanımının uygun olamayacağını göstermiştir. Özetle çalışmada kullanılan kimyasal indirgenler içerisinde demir (II) sülfat heptahidrat'ın diğer indirgenlere göre daha verimli ve kararlı yapıda olması, kullanımın en uygun indirgen olacağını göstermiştir. [9]. Tunç (2007), tarafından çimentolarda çözünebilen Cr(VI) giderimi konulu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Cem I 42,5 R tip çimento kullanılmış, indirgen kimyasal olarak ise demir sülfat heptahidrat, demir sülfat monohidrat, sodyum ditiyonit, lignin, hidrazin monohidrat, kalay(II) klorür dihidrat kullanılmıştır. Bu çalışmada Cr(VI) miktarını 2 ppm değerinin altına düşürebilmek için demir sülfat heptahidrat kullanım miktarı kütlece %0,20, demir sülfat monohidrat kullanım miktarı ise kütlece %0,15 olarak tespit edilmiştir. Kimyasal indirgenlerin kullanımı sonrasında beton dayanımlarına olan etkileri incelenmiş herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır. Aksine beton dayanımlarında olumlu yönde artış sağlandığı belirlenmiştir. Kalay(II) klorür dihidrat kütlece %0,035 ilave edilerek Cr(VI) miktarı 2 ppm değerinin altına düşürülmüştür. İndirgeme sonrasında çimento dayanımında artış, priz sürelerinde ise kısalma olduğu belirlenmiştir. Yalnız kalay elementinin ağır metal olması nedeniyle çevrede olumsuz yönde etki gösterebileceği düşünülerek uygun bir indirgeyici olarak kullanımının zor olacağı belirtilmiştir. Sodyum ditiyonit kütlece %0,12 ilave edilerek Cr(VI) miktarı 2 ppm değerinin altına düşürülmüştür. İndirgeme sonrasında çimento dayanımında artış, priz sürelerinde ise kısalma olduğu belirlenmiştir. Yalnız sodyum ditiyonit indirgeninin kötü, ağır bir kokuya sahip olması nedeniyle kullanımının zor olacağı belirtilmiştir. Hidrazin monohidrat sıvı olması nedeniyle harç suyu içerisine hacimce %0,26-0,27 aralığında ilave edilerek Cr(VI) miktarı 2 ppm değerinin altına düşürülmüştür. İndirgeme sonrasında beton dayanımında düşüş, priz sürelerinde ise uzama olduğu belirlenmiştir. Lignin likörü miktarı kütlece %2,6-2,8 aralığında ilave edilerek Cr(VI) miktarı 2 ppm değerinin altına düşürülmüştür. İndirgeme sonrasında beton dayanımında düşüş, priz sürelerinde ise uzama olduğu belirlenmiştir. Çalışmada lignin katı ve sıvı olarak kullanılmıştır. Katı lignin kullanımı priz sürelerinde uzamaya neden olduğu için indirgeyici olarak kullanılmasının ancak çimentoya bir priz hızlandırıcı ilavesiyle mümkün olabileceği belirtilmiştir. Lignin kullanım miktarının düşük olması, kâğıt fabrikalarından temininin kolay ve ucuz olması gibi avantajları nedeniyle çimentoda krom indirgeyici olarak kullanımının daha uygun olacağı belirtilmiştir. [10]. Oruç (2009), tarafından çimentoda Cr(VI) muhteviyatı konulu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Cem I 42,5 R portland tip çimento kullanılmış, indirgen kimyasal olarak ise demir (II) sülfat heptahidrat, sodyum ditiyonit, sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan her bir kimyasalın Cr(VI)'yı indirgeme kapasitelerinin olduğu yalnız demir (II) sülfat heptahidrat ve sodyum ditiyonit'in diğer indirgenlere göre daha verimli oldukları görülmüştür. Sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat'ın Cr(VI)'yı çimentoya %5 gibi yüksek oranlarda katılmasına rağmen düşük miktarlarda indirgemesi bu indirgenlerin çimentoda Cr(VI) giderilmesi için kullanılamayacağını göstermiştir. Sodyum ditiyonit kimyasal indirgeni Cr(VI)'nın giderilmesinde verimli gözükse de bu maddenin nemli ortamlarda saklandığında indirgeme özelliğini önemli miktarda kaybetmesi kullanımının çok uygun olamayacağını göstermiştir. Özetle çalışmada kullanılan kimyasal indirgenler içerisinde demir (II) sülfat heptahidrat'ın diğer indirgenlere göre daha verimli ve miktar olarak %0,1-0,2 seviyelerinde kullanıldığında tüm kromatın indirgenmesi için yeterli olması nedeniyle en uygun indirgen olacağı belirtilmiştir [11].

Sektörde Cr(VI) sorununu gidermek için kullanılan teknolojik bir yöntem olan indirgeme, uygun indirgenler vasıtasıyla suda çözünebilirliğe sahip olan Cr(VI) bileşiklerinin suda çözünmeyen Cr(III) formuna dönüştürülmesi şeklinde yapılmaktadır [11]. Çimentodaki Cr(VI)'nın kimyasal indirgenmesi ilk olarak Burchhardt tarafından demir sülfat ($FeSO_4$) kullanılarak yapılmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında ise; Çimentoda Cr(VI)'nın indirgenmesi ve beton özellikleri üzerine etkileri konulu çalışmada CEM I 32.5 R tip çimento kullanılmış, indirgen kimyasal olarak ise Demir (II) sülfat tercih edilmiştir. Demir (II) sülfat çimento ağırlığının % 0.2-% 0.6'sı kadar ilave edilmiştir. Kullanılan kimyasal indirgen ile çimentoda bulunan Cr(VI) değeri yasal sınır olan 2 ppm değerinin altına düşürülmüştür. Çimentonun fiziksel, kimyasal özellikleri ve beton çalışmalarında herhangi bir olumsuz bulguya rastlanılmamıştır [12]. Çimento süspansiyonlarında Cr(VI)'nın farklı indirgenler karşısında indirgenme özellikleri konulu çalışmada Cem I 42.5 R portland tip çimento

kullanılmış, indirgen kimyasal olarak ise demir (II) sülfat heptahidrat, sodyum ditiyonit, sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan her bir kimyasalın Cr(VI)'yı indirgeme kapasitelerinin olduğu yalnız demir (II) sülfat heptahidrat ve sodyum ditiyonit'in diğer kimyasallara göre daha verimli oldukları görülmüştür. Sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat'ın Cr(VI)'yı düşük miktarlarda indirgemesi bu indirgenlerin çimentoda Cr(VI) giderilmesi için kullanılamayacağını göstermiştir. Sodyum ditiyonit kimyasal indirgeni Cr(VI)'nın giderilmesinde verimli gözükse de raf ömrü süresinde indirgeme verimini kaybetmesi kullanımının uygun olamayacağını göstermiştir [13]. Çimentoda Cr(VI) muhteviyatı konulu çalışmada Cem I 42.5 R portland tip çimento kullanılmış, indirgen kimyasal olarak ise demir (II) sülfat heptahidrat, sodyum ditiyonit, sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan her bir kimyasalın Cr(VI)'yı indirgeme kapasitelerinin olduğu yalnız demir (II) sülfat heptahidrat ve sodyum ditiyonit'in diğer indirgenlere göre daha verimli oldukları görülmüştür. Sodyum metabisülfid ve sodyum tiyosülfat'ın Cr(VI)'yı çimentoya % 5 gibi yüksek oranlarda katılmasına rağmen düşük miktarlarda indirgemesi bu indirgenlerin çimentoda Cr(VI) giderilmesi için kullanılamayacağını göstermiştir. Sodyum ditiyonit kimyasal indirgeni Cr(VI)'nın giderilmesinde verimli gözükse de bu maddenin nemli ortamlarda saklandığında indirgeme özelliğini önemli miktarda kaybetmesi kullanımının çok uygun olamayacağını göstermiştir [14]. Bu çalışmada temin edilebilirlikleri uygun olan demir sülfat monohidrat, demir sülfat tetrahidrat ve demir sülfat heptahidrat indirgenlerinin Cr(VI)'yı indirgeme etkinliklerinin belirlenmesi, indirgeme sonrası çimentonun kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi ve indirgenme çalışmalarını ekonomik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında çimentoda Cr(VI) iyonunun indirgenmesi, çimento özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için kullanılan malzeme ve yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

2.1.1. Çimento

Çalışmada, Van çimento fabrikasında üretilen TS EN 197-1 [14] uygun CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları aşağıda yer alan Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	
Bileşen	%
SİO ₂	19.73
Al ₂ O ₃	5.17
Fe ₂ O ₃	3.11
CaO	60.45
MgO	3.98
SO ₃	2.8
K ₂ O	0.72
Na ₂ O	0.36
Kızdırma Kaybı	3.58
Fiziksel Özellikler	
Blaine [cm ² /g]	3827
Priz başlama süresi [dak.]	170
Priz sonu süresi [dak.]	220
Özgül Ağırlık [g/cm ³]	3.09

Basınç Dayanımı[MPa]	
1 günlük	14.3
2 günlük	30.6
7 günlük	49.0
28 günlük	56.6

2.1.2. İndirgeyici Kimyasallar

Bu çalışmada Ekmekçioğulları ve ERD kimya firmalarından temin edilen kimyasal indirgenler, Demir Sülfat Heptahidrat, Demir Sülfat Tetrahidrat ve Demir Sülfat Monohidrat kullanılmıştır. İndirgenlerin kimyasal analizleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İndirgenlerin kimyasal özellikleri

Bileşen [%]	Demir Sülfat Monohidrat	Demir Sülfat Tetrahidrat	Demir Sülfat Heptahidrat
SiO ₂	0.16	0.08	0.06
Al ₂ O ₃	0.06	0.05	0.04
Fe ₂ O ₃	44.22	37.57	40.72
CaO	0.65	0.85	0.73
MgO	0.51	0.38	0.49
SO ₃	2.41	2.61	1.63
K ₂ O	0.03	0.05	0.08
Na ₂ O	0.02	0.01	0.04
KK	51.91	58.21	55.82

2.1.3. Kullanılan cihazlar

Çalışma kapsamında tartım işlemleri için SARTORIUS marka CP 224 S model hassas terazi kullanılmıştır. Kimyasal tüm analizler için PANALYTICAL marka CUBIX model floresan spektrometre cihazı kullanılmıştır. Cr(VI) analizleri için HACH DR 2700 marka taşınabilir model UV-VIS spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Cr(VI) tayininde BIOSAN marka MHS 300 model manyetik karıştırıcı, THERMO marka ORIUN model pH metre, KNF marka vakum pompası kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel özelliklerinin tayini ve beton çalışmalarında ise, ASTEK marka AS-BL01 model blaine cihazı, ASTEK marka MVP-6DC model piknometre, ASTEK marka ASV8 model vicat havuzu, ATOM TEKNİK marka 2005 model harç karıştırma cihazı, ASTEK marka ŞM-196 model beton sarsma cihazı, WEISS marka WK 111-60 model rutubet kabini, KERN marka PCB 6000 model terazi, ASTEK marka kür havuzu, ASTEK marka çimento beton presi kullanılmıştır.

2.2. Metot

Çalışmada öncelikli olarak Van Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R portland tip çimento referans kabul edilmiş, tüm kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak suda çözünen Cr(VI) miktarı tespit edilmiştir. Referans çimentoda belirlenen Cr(VI) miktarına yönelik, yasal sınır olan 2 ppm değeri altı için, temin edilen kimyasal indirgenler yüzde ağırlıkça ikame edilerek numunelendirme yapılmıştır. Kullanılan kimyasal indirgenler için optimum miktar belirlenmiştir. Referans çimento dâhil olmak üzere toplamda 10 adet numune oluşturulmuştur. Hazırlanan numunelerin homojenizasyonu sağlanarak Cr (VI) miktarları tespit edilmiştir. Cr (VI) tayini TS EN 196-10 [15] standardına göre, difenil karbazit metoduyla gerçekleştirilmiştir. Referans ve hazırlanan numuneler için TS-EN 196-3 [16] kapsamında priz süresi tayini, TS EN 196-1 [17] kapsamında basınç dayanım Tayini, TS EN 196-2 [18] kapsamında çimentonun kimyasal analizleri yapılmıştır.

2.3. Krom (VI) Tayini

Çimentoda suda çözünen Cr(VI) tayini TS EN 196-10 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunelerden her biri için 25 ± 0.01 gr çimento tartılarak (M) 100 ml'lik behere konulmuştur. Üzerine 50 ml saf su ilave (V1) edilmiştir. Beher içindeki çözeltinin içine manyetik balık bırakılmış, beher saat camı ile kapatılarak manyetik karıştırıcı ile 15 ± 1 dakika karıştırılmıştır. Sonrasında çözelti mavi bant filtre kağıdından geçirilerek süzüntü elde edilmiştir. Süzüntünün renginin çok açık sarı olup olmadığı kontrol edilerek seyreltme işlemi süzüntünün rengine göre belirlenmiştir. İki adet 50 ml'lik beher hazırlanarak birinin içine 5 ml süzüntü (V2) diğerine ise 5 ml su konulmuştur. Sonrasında ise iki beherin içerisine 5 ml difenil karbazit indikatörü ilave edilmiştir. Su ile indikatör karıştırılan beher, referans olarak ayrılmıştır. 20 ml saf su iki behere de eklenerek pH 2.10-2.50 olacak şekilde 1.0 molar hidroklorik asit ile pH düzeyi ayarlanmıştır. Uygun hacimde balon joje kullanılarak (V3) beherler balon joje içine dökülmüş, pH tampon çözeltisi ile istenilen hacme tamamlanmıştır. Absorbans değeri spektrometrede ölçülerek kalibrasyon grafiğinden konsantrasyon değeri (C) otomatik olarak hesaplatılmıştır. Çimentonun Cr(VI) miktarı ağırlıkça (kuru) yüzde olarak aşağıdaki formülle elde edilmiştir. Hesaplanan değeri ppm cinsinden göstermek için % kütle 10.000 ile çarpılmıştır.

$$\text{Cr(VI)} = C \times (V1/M) \times (V3/V2) \% \text{ ppm}$$

M: Çimento ağırlığı, g

C: Spektrofotometrede okunan değer, mg/L

V1:Çimento içerisine eklenen su, ml

V2:Beher içerisine alınan süzüntü miktarı, ml

V3:karışımın seyreltildiği balon hacmi, ml

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde referans olarak kabul edilen CEM I 42.5 R portland tip çimentosuna ait suda çözünen Cr(VI) miktarı, farklı kimyasal indirgenler ikame ederek hazırlanan numunelere ait suda çözünen Cr(VI) miktarları, fiziksel ve kimyasal analizleri, basınç dayanım tayinleri, priz süresi tayinleri ve kullanılan indirgenler için maliyet analizleri belirlenmiş elde edilen sonuçlar verilmiştir. Referans çimento için priz süresi tayinleri yapılmıştır. Priz başlangıç süresi 170 dakika, priz bitiş süresi ise 220 dakika olarak tespit edilmiştir. Sonrasında üç farklı kimyasal indirgen kullanılarak hazırlanan 9 adet numune için priz süresi tayinleri yapılmıştır. Referans numuneye göre hem priz başı hem de priz sonu süreleri uzamıştır. Priz sürelerindeki değişim, indirgeyici olarak kullanılan referans çimento ya ağırlıkça % olarak ilave edilen kimyasal miktarına göre, priz başı süresinde %3-18 aralığında, priz sonu süresinde ise %3-15 aralığında artış göstermiştir. TS EN 197-1 standardına göre priz başlama süresi en az 1 saat, priz bitiş süresi ise en fazla 10 saat olup indirgeme çalışmalarında standart dışı bir değerle karşılaşılmamıştır [14].

3.1. Cr (VI) Tayini

İlk olarak referans çimento için suda çözünen Cr(VI) tayini yapılmıştır. Cr(VI) miktarı 40.26 ppm olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan numuneler için homojenizasyon sağlanarak suda çözünen Cr(VI) miktarları belirlenmiştir.

3.1.1. Demir sülfat monohidrat kullanımı ile Cr(VI) indirgeme

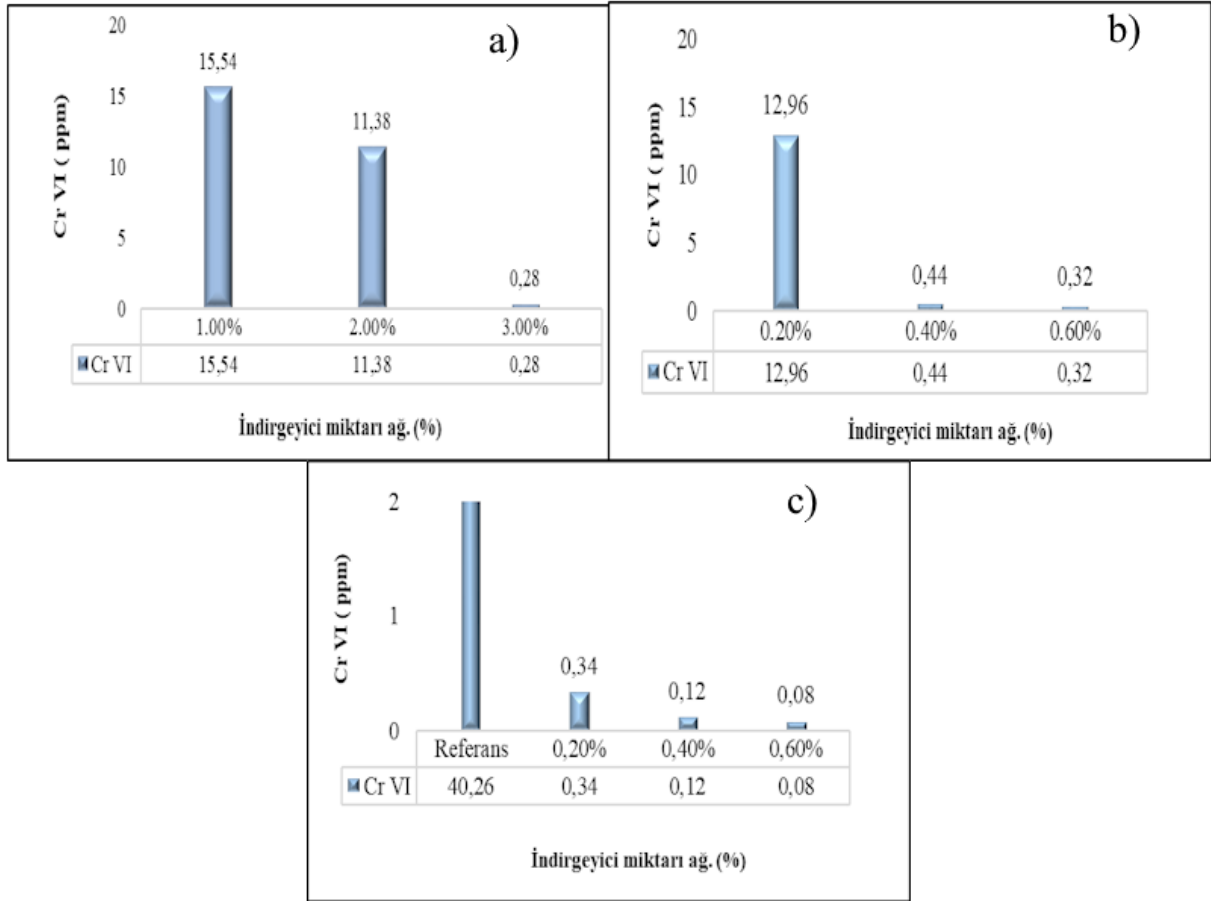
Referans çimentoya demir sülfat monohidrat ağırlıkça % 1, % 2, % 3 olarak ilave edilerek numunelendirme yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin homojenizasyonu sağlanarak suda çözünen Cr(VI) miktarları belirlenmiştir. Ağırlıkça % 3 olarak ilave edilen indirgeyici ile Cr(VI) miktarı 2 ppm'in altına düşürülmüş ve 0.28 ppm olarak tespit edilmiştir. Kullanılan kimyasal indirgeyici yüzdesine bağlı olarak tespit edilen Cr(VI) miktarlarına ait veriler Şekil 1 a) 'da gösterilmiştir.

3.1.2. Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ile Cr(VI) indirgeme

Referans çimentoya demir sülfat tetrahidrat ağırlıkça % 0.2, % 0.4, % 0.6 olarak ilave edilerek numunelendirme yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin homojenizasyonu sağlanarak suda çözünen Cr(VI) miktarları belirlenmiştir. Ağırlıkça % 0.4 olarak ilave edilen indirgeyici ile Cr(VI) miktarı 2 ppm'in altına düşürülmüş ve 0.44 ppm olarak tespit edilmiştir. Kullanılan kimyasal indirgeyici yüzdesine bağlı olarak tespit edilen Cr(VI) miktarlarına ait veriler Şekil 1 b) 'de gösterilmiştir.

3.1.3. Demir sülfat heptahidrat kullanımı ile Cr(VI) indirgeme

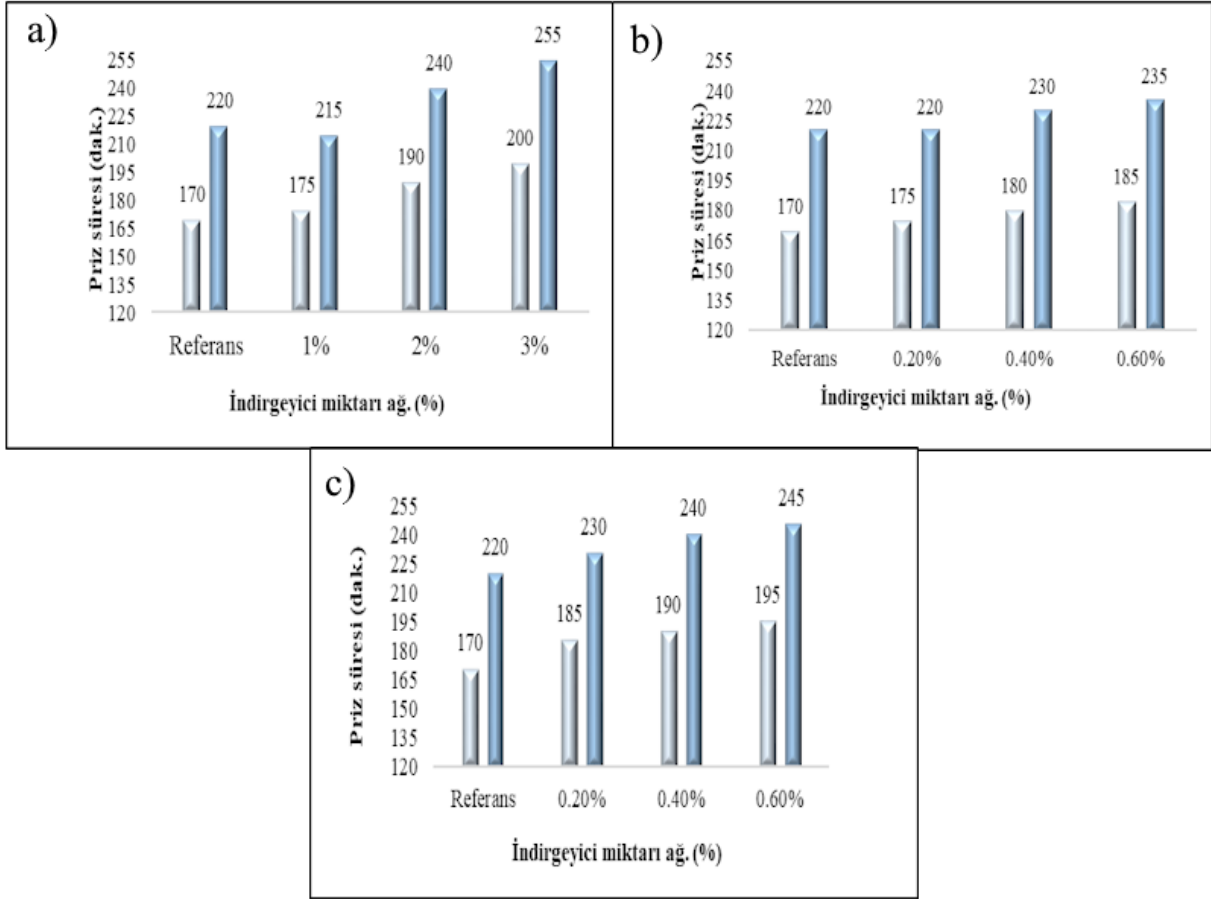
Referans çimentoya demir sülfat heptahidrat ağırlıkça % 0.2, % 0.4, % 0.6 olarak ilave edilerek numunelendirme yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin homojenizasyonu sağlanarak suda çözünen Cr(VI) miktarları belirlenmiştir. Ağırlıkça % 0.2 olarak ilave edilen indirgeyici ile Cr(VI) miktarı 2 ppm'in altına düşürülmüş ve 0.34 ppm olarak tespit edilmiştir. Kullanılan kimyasal indirgeyici yüzdesine bağlı olarak tespit edilen Cr(VI) miktarlarına ait veriler Şekil 1 c) 'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kimyasal indirgenlerin Cr(VI) indirgeme grafikleri a) Demir sülfat monohidrat kullanımı ile b) Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ile c) Demir sülfat heptahidrat kullanımı ile indirgeme.

3.2. Priz Süresi

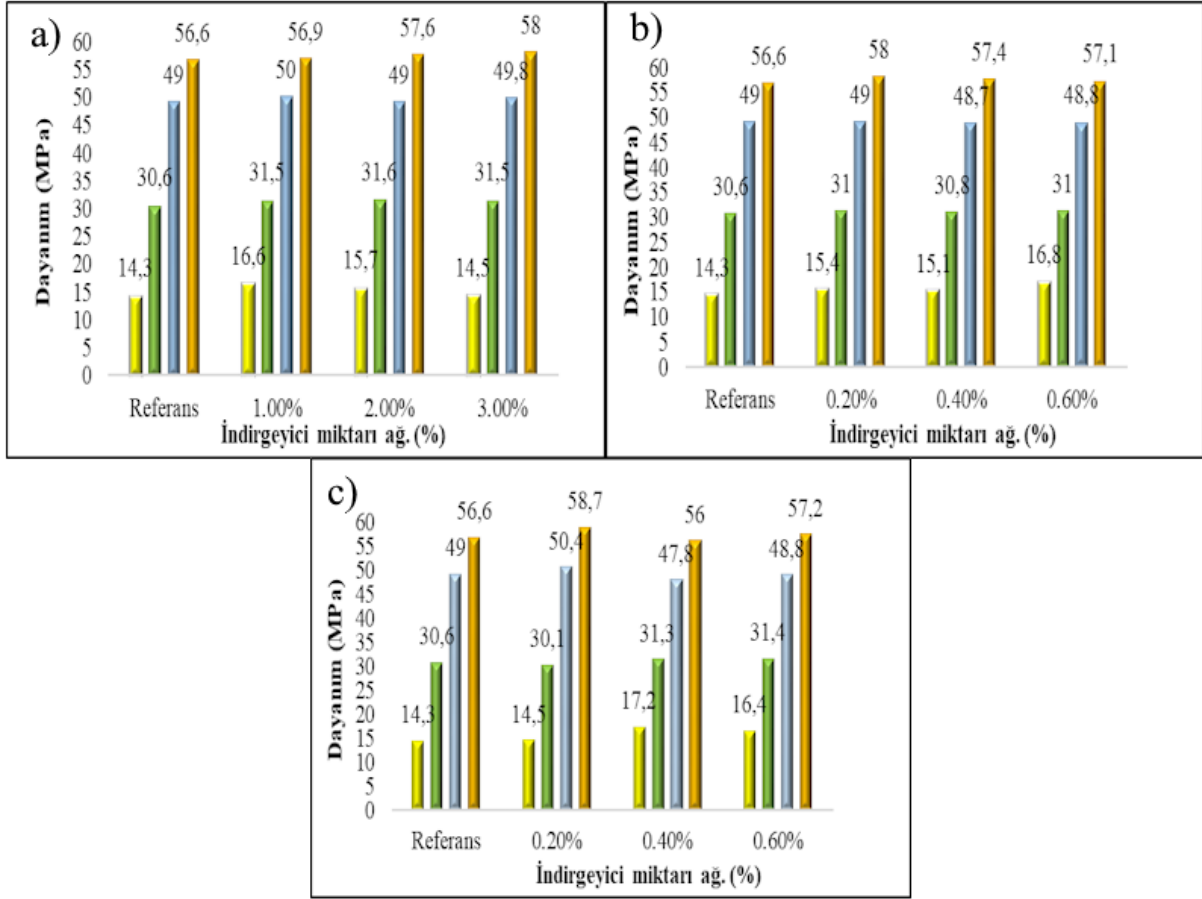
Referans çimento için priz süresi tayinleri yapılmıştır. Priz başlangıç süresi 170 dakika, priz bitiş süresi ise 220 dakika olarak tespit edilmiştir. Sonrasında üç farklı kimyasal indirgen kullanılarak hazırlanan 9 adet numune için priz süresi tayinleri yapılmıştır. Referans numuneye göre hem priz başı hemde priz sonu süreleri uzamıştır. Priz sürelerindeki değişim, indirgeyici olarak kullanılan referans çimento ya ağırlıkça yüzde olarak ilave edilen kimyasal miktarına göre, priz başı süresinde % 3-18 aralığında, priz sonu süresinde ise % 3-15 aralığında artış göstermiştir. Referans çimento ve indirgeme çalışması yapılan numuneler için priz süresi tayinlerine ait veriler Şekil 2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kimyasal indirgenlerin kullanımı ile priz süresi değişimi Cr(VI) indirgeme grafikleri a) Demir sülfat monohidrat kullanımı ile b) Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ile c) Demir sülfat heptahidrat kullanımı ile priz süresi değişimi.

3.3. Dayanım Tayini

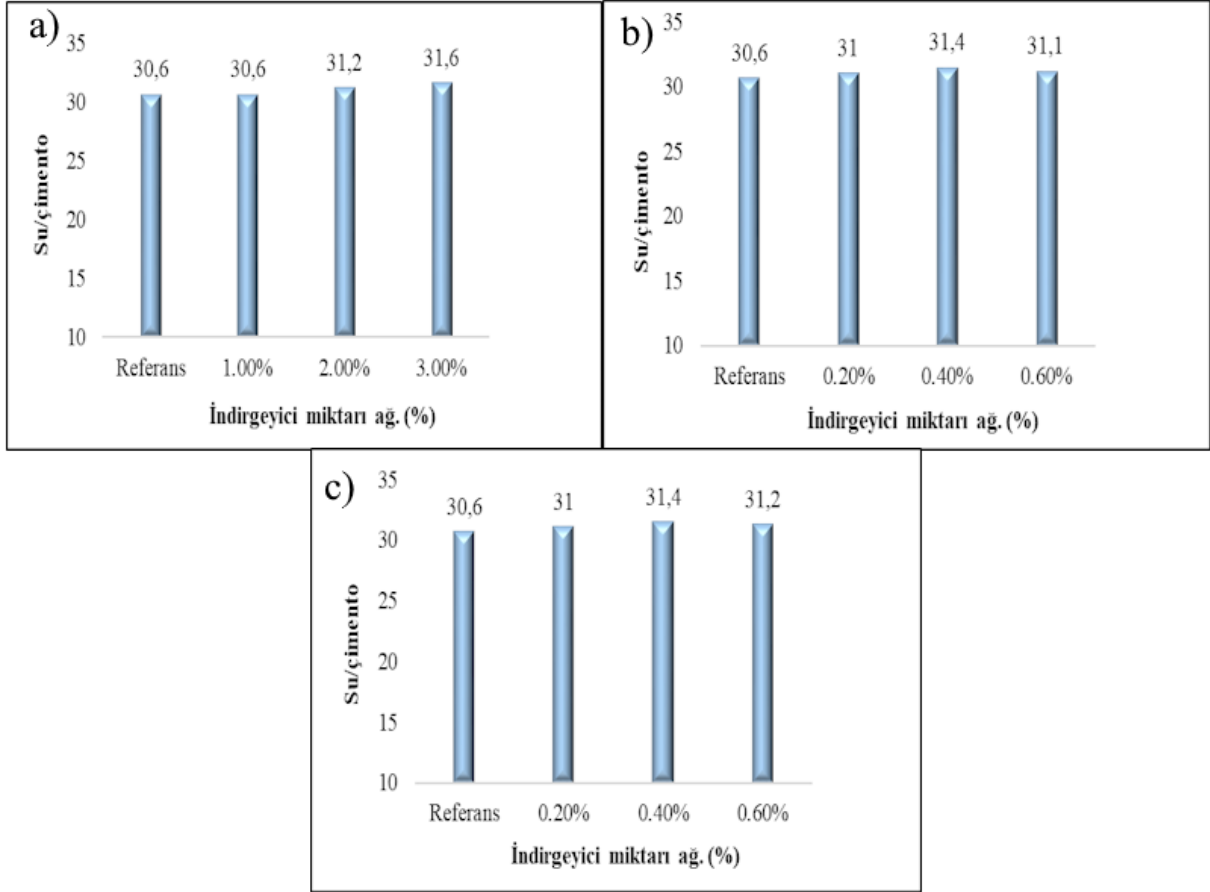
Referans numune için harç ile yapılan çalışmalarda 1,2,7,28 günlük basınç dayanım tayinleri belirlenmiştir. 1 günlük 14.3 MPa, 2 günlük 30.6 MPa, 7 günlük 49 MPa ve 28 günlük dayanımı 56.6 MPa olarak tespit edilmiştir. Sonrasında her indirgen için 3 adet olmak üzere toplamda 9 adet numune için basınç dayanım tayinleri yapılmıştır. Referans çimento dayanımlarına kıyasla diğer hazırlanan numunelerin dayanımlarında herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır. Kullanılan indirgeyici ile suda çözünen Cr(VI) değerleri yasal sınır olan 2 ppm değerinin altına düşürüldüğü numunelerde 28 günlük son dayanımları, demir sülfat monohidrat indirgeyicisi için % 2.5, demir sülfat tetrahidrat için % 1.5, demir sülfat heptahidrat için ise % 3.7 artış gösterdiği tespit edilmiştir. Referans çimento ve indirgeme çalışması yapılan numuneler için basınç dayanım tayinlerine ait veriler Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kimyasal indirgenlerin dayanım değişim grafikleri a) Demir sülfat monohidrat kullanımı ile b) Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ile c) Demir sülfat heptahidrat kullanımı ile dayanım değişim grafiği.

3.4. Su/Çimento Oranı

Referans çimento için su/çimento oranı 30.6 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan deneme numuneleri için su/çimento oranları belirlenmiştir. Su/çimento oranları kullanılan indirgeyici yüzdesine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Suda çözünen Cr(VI) miktarının 2 ppm değerinin altına indirildiği miktarlar için, demir sülfat monohidrat kullanıldığında su/çimento oranı 31.6, demir sülfat tetrahidrat kullanıldığında 31.4 ve demirsülfat heptahidrat kullanıldığında ise 31 olarak belirlenmiştir. Referansa göre su/çimento oranları % 1.3-3.2 aralığında artış göstermiştir. Su/çimento oranındaki artış fazlalığı sertleşmiş çimento hamurundaki gözenek oranının artmasına bağlı olarak basınç dayanımı üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Referans çimento ve indirgeme çalışması yapılan numuneler için su/çimento oranlarına ait veriler Şekil 4' te gösterilmiştir.

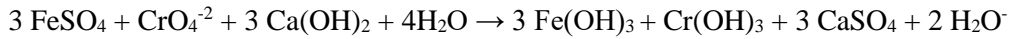


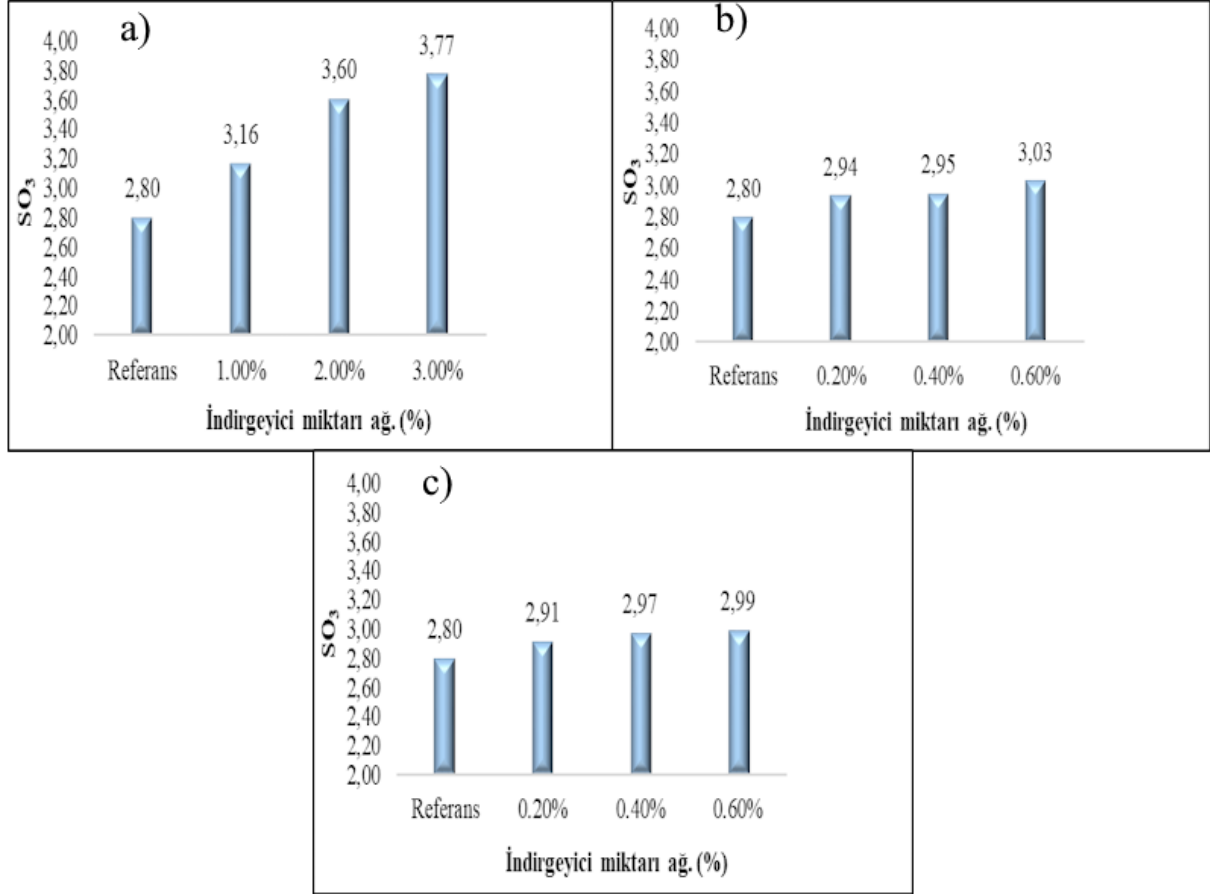
Şekil 4. Kimyasal indirgenlerin kullanımı ile su/çimento değişimi grafikleri a) Demir sülfat monohidrat kullanımı ile b) Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ile c) Demir sülfat heptahidrat kullanımı ile su/çimento değişimi.

3.5. SO₃ Miktarı

Referans numune için SO₃ değeri 2.80 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan deneme numuneleri için SO₃ miktarları belirlenmiştir. Referans çimento ve indirgeme çalışması yapılan deneme numuneleri için SO₃ miktarlarına ait veriler Şekil 5' te gösterilmiştir.

Demir Sülfatın indirgeme reaksiyonu aşağıdaki redoks tepkimesine göre verilmiştir.





Şekil 5. Kimyasal indirgenlerin kullanımı ile SO₃ değişim grafikleri a) Demir sülfat monohidrat kullanımı ile b) Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ile c) Demir sülfat heptahidrat kullanımı ile SO₃ değişim grafiği.

3.6. Kullanılan İndirgenler İçin Maliyet Analizi

Yapılan indirgeme çalışmalarında kullanılan indirgeyici miktarları kütlece yüzde olarak belirlenmiş ve ton çimento için maliyet hesabı yapılmıştır. Kütlece, demir sülfat monohidrat için % 3, demir sülfat tetrahidrat için % 0.4 ve demir sülfat heptahidrat için % 0.2 olarak optimum yüzdeler belirlenmiştir. Kullanılan indirgeyiciler için maliyet verileri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan kimyasal indirgenlerin maliyet analizi

MALİYET ANALİZİ			
Kullanılan İndirgeyici	Miktar (Ağırlık %)	Cr (VI) (ppm)	TL/ton çimento
Demir Sülfat Monohidrat	3	0.28	269.9
Demir Sülfat Tetrahidrat	0.4	0.44	28.6
Demir Sülfat Heptahidrat	0.2	0.34	15

4. Sonuç

Çimento içerisindeki suda çözünen Cr(VI) miktarının prosese ve hammadde kaynaklarına yapılacak müdahalelerle makul seviyelere getirileceği yalnız indirgeyiciler kullanılmadan 2 ppm değerinin altına düşürülemeyeceği görülmektedir. Bu çalışmada referans olarak kabul edilen Cem I 42.5 R tip portland çimento için suda çözünen Cr(VI) değeri 40.26 ppm olarak tespit edildi. İndirgeyici olarak demir sülfat hidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) kristalinde farklı oranlarda kristal su kapsayan, demir sülfat monohidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), demir sülfat tetrahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), demir sülfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) kullanıldı. Kimyasal indirgenler CEM I 42.5 R portland tip çimentoya kütlece ilave edilerek Cr(VI) indirgeme etkinlikleri belirlendi.

Çimentoda suda çözünen Cr(VI) miktarının 2 ppm değerinin altına düşürülmesi için indirgenler optimum miktarda kullanıldıklarında, çimentonun kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkileri incelendi. Çalışmada, kullanılan tüm kimyasal indirgenlerin çimentoda suda çözünen Cr(VI) miktarını 2 ppm değerinin altına indirdikleri görülmüştür. İndirgemek için kütlece kullanım miktarları demir sülfat monohidrat için % 3, demir sülfat tetrahidrat için %0.4 ve demir sülfat heptahidrat için ise % 0.2 olarak belirlenmiştir. Yapılan indirgeme çalışmaları sonrasında çimento dayanımı üzerinde herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmadığı aksine olumlu yönde dayanımlarda artış sağlandığı belirlenmiştir.

Kullanılan indirgenler içinde demir sülfat monohidrat ile yapılan çalışmalarda çimentonun fiziksel özellikleri üzerinde daha fazla değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Referans çimentodaki tespit edilen Cr(VI) miktarının fazla olması nedeniyle indirgen kimyasalın kullanım yüzdesinin fazlalığı çimento SO_3 'lerinde artışa neden olmuş buda priz süreleri üzerinde olumsuz yönde etki göstermiştir. Priz başlangıç süresinde 30 dakika, priz bitiş süresinde ise 35 dakika uzama olmuştur. Su/çimento oranında ise % 3'lük artış göstermiştir. Bu değişkenlikler hazır beton üretimi sırasında tercih edilmeyen durumlardır. Demir sülfat tetrahidrat kullanımı ise demir sülfat monohidrat kullanımına göre çimentonun fiziksel özellikleri üzerinde daha az değişkenlik göstermiştir. Kullanım miktarı kütlece daha az olmuştur. Referans çimentoya göre priz başlangıç süresinde 10 dakika, priz bitiş süresinde ise 10 dakika uzama olmuştur. Su/çimento oranında ise % 2.6'lık artış göstermiştir. Demir sülfat heptahidrat kullanımı ise demir sülfat tetrahidrat kullanımına göre kullanım miktarı açısından kütlece daha az olmuştur.

Referans çimentoya göre priz başlangıç süresinde 15 dakika, priz bitiş süresinde ise 10 dakika uzama olmuştur. Su/çimento oranında ise % 1.3'lük artış göstermiştir. Kullanılan kimyasal indirgenler ekonomik açıdan değerlendirildiğinde çimento üretimindeki ton çimento maliyeti en düşük olan indirgeyicinin demir sülfat heptahidrat olduğu belirlenmiştir. Diğer indirgenlere göre demir sülfat heptahidrat indirgeninin kullanım miktarının daha az olması, indirgeme maliyetinin düşük olması, çimentonun kimyasal ve fiziksel özelliklerine yönelik makul seviyedeki etkileri nedeniyle verimli bir indirgen olduğunu görülmüştür.

5. Kaynaklar

- [1] N. Kıyık, (2015). Çimento Üretimi El Kitabı. Eskişehir. 171.
- [2] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği Verileri, (2021).
- [3] M. Yazıcıoğlu, (2021). Krom VI. CemenTürk Çimento ve Beton Bileşenleri Dergisi, 77: 70.
- [4] L. Hills, V.C. Johansen, (2007). Hexavalent Chromium in Cement Manufacturing. Portland Cement Association PCA R&D, 2983.
- [5] H.Güngörmüş, (2015). Çimentodaki Suda Çözünen Cr(VI)'nın Farklı İndirgenler Yardımıyla İndirgenmesi (yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [6] E. Khodaeiani, M. Amirnia, S. Babajnejad, (2006). Survey of Dermatitis Cases Due to Cement In Suffian Cement Factory. Ege Tıp Dergisi, 45(3) : 179-183.
- [7] D. Oruç, (2009). Çimentoda Cr(VI) Muhteviyatı, (Yüksek Lisans Tezi), Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.

- [8] B. Şen, (2006). Çimento Süspansiyonlarında Cr + Bileşiklerinin Zeolitle Adsorbsiyonunun Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [9] T. Tunç, (2007). Çimentolarda Çözünebilen Cr(VI) Giderimi, (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [10] B. Yılmaz, T. Ertün, F. Yalçın, (2007). Çimento Süspansiyonlarında Cr VI'nın Farklı İndirgenler Karşısında İndirgenme Özellikleri. 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu. 12-13 Nisan 2007, Ankara. 366-373.
- [11] F. Yalçın,(2006). Çimentolu Sistemlerde Cr(VI)'nın Farklı İndirgenler Kullanarak İndirgenmesinin Araştırılması (yüksek lisans tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [12] R. Haerdtl, M. Dietermann, G. Bolte, (2008). Chromate Reduction of Cement-Effect on Concrete Properties. Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 13 : 61-69.
- [13] B. Yılmaz, T. Ertün, F.Yalçın, (2007). Çimento Süspansiyonlarında Cr VI'nın Farklı İndirgenler Karşısında İndirgenme Özellikleri. 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu. 12-13 Nisan 2007, Ankara. 366-373.
- [14] TS EN 197-1, 2012. Çimento-Bölüm:1 Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15] TS EN 196-10, 2011. Çimento-Bölüm:10 Çimentonun Suda Çözünebilir Krom (VI) Muhtevasının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] TS EN 196-3, 2013. Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm:3 Piriz Süreleri ve Genleşme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TS EN 196-1, 2009. Çimento Deney Metotları-Bölüm:1 Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] TS EN 196-2, 2013. Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm:2 Çimentonun Kimyasal Analizi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyyumfd>



Ağır Sanayide Örnek bir Çalışma ile Gürültü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi ve Önlemler

Erhan Engin Erbaş^a, Muharrem Kemal Özfirat^{b,*}

^aİş Sağlığı ve Güvenliği Böl. Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, ORCID: 0009-0009-9593-9873

^bMaden Mühendisliği Böl., Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4074-1965

ÖZET

6331 sayılı İş sağlığı ve güvenliği kanununun yürürlüğe girmesiyle birlikte yayımlanan Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına dair Yönetmelik tüm sektörlerde çalışma anındaki gürültünün kontrolünü ve azaltılmasını hedefler. Bu nedenle birçok sektörde günlük veya haftalık gürültü düzeyinin ölçülmesi zorunlu hale getirilmiştir. Gürültü, aralarında uyum bulunmayan düzensiz, insanı rahatsız eden ve hoş gitmeyen seslerin bütünü olarak tanımlanabilir. Gürültünün insan üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır. En önemli etkisi işyeri ortamında dikkat eksikliğini oluşturması ve insanlar arasındaki çalışma iletişimini bozmasıdır. Bu çalışmada, ağır bakım tesislerinde karşılaşılan gürültü faktörü incelenerek, mevcut iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliklerine göre alınması gereken önlemler ele alınmıştır. 2019 yılında yapılan 135 adet gürültü ölçümünde 39 noktada gürültü düzeyi en yüksek maruziyet eylem değeri olan ($L_{EX,8\text{saat}} = 85 \text{ dB(A)}$) düzeyinden yüksek çıkmıştır.

Bu nedenle çalışmada, gürültüye maruziyetten kaynaklanan risklerin kaynağında, ortamda ve kişide (toplu olarak) yok edilmesini veya en aza indirilmesini sağlayan önlemlerin geliştirilmesi yapılarak gürültünün oluşturduğu risk önlenmiştir. 2021'de yapılan ölçümlerde alınan teknik önlemler olumlu sonucunu göstermiştir. En yüksek maruziyet eylem değeri olan ($L_{EX,8\text{saat}} = 85 \text{ dB(A)}$) düzeyinden yüksek ölçüm sonucu 13 ölçüm noktasına düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, Gürültü, Önlem, Ağır bakım tesisleri.

Evaluation of Noise Measurements and Precautions with a Case Study in Heavy Industry

Erhan Engin Erbaş^a, Muharrem Kemal Özfirat^{b,*}

^aDep. of Occ. H. and Safety, Gra.Sc.of Nat and Ap. Sci., Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey ORCID: 0009-0009-9593-9873

^bDepartment of Mining Eng., Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey, ORCID: 0000-0003-4074-1965

ABSTRACT

Regulation on the protection of employees from noise-related risks, published with Occupational Health and Safety Law No. 6331, aims to control and reduce noise during work in all sectors. For this reason, measuring daily or weekly noise levels has become mandatory in many sectors. Noise can be defined as the whole of irregular, disturbing and unpleasant sounds that are not harmonious. Noise has many adverse effects on humans. Its most important effect is that it creates a lack of attention in the workplace environment and disrupts communication between people. This study examined the noise factor encountered in heavy maintenance facilities, and the precautions that should be taken according to current occupational health and safety regulations were discussed. In 135 noise measurements made in 2019, the noise level was higher than the highest exposure action value ($L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$) at 39 points.

For this reason, in the study, the risk posed by noise was prevented by developing measures that ensure the elimination or minimization (collectively) of the risks arising from noise exposure at the source, environment and person. The technical measures taken in the measurements made in 2021 have given positive results. The number of measurements results higher than the highest exposure action value ($L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$) is reduced to 13 measurement points.

Keywords: Occupational health and safety, Noise, Precaution, Heavy maintenance facilities.

1. Giriş

Gürültü, makine, araç-gereç vb. ekipmanların yapay olarak ortaya çıkardığı, nitelik ve niceliği bozulmuş, rahatsız edici ve istenmeyen seslerdir. Uluslararası Çalışma Örgütüne (ILO) göre gürültü, işitme kaybına yol açan veya sağlığa zararlı olan başka tehlikeleri ortaya çıkaran bütün seslerdir. Gürültünün olumsuz etkileri kişiden kişiye değişkenlik gösterebilir. Değişiklik göstermeyen en önemli etkisi ise işitme kaybıdır. Fiziksel risk etmenleri işyerinde, çalışanın sağlığını ve güvenliğini olumsuz olarak etkileyen fiziki faktörlerdir. Her işyeri ve her sektörde çalışma ortamı aynı olmamakla birlikte, yapılan işe özgü riskler vardır. Genel olarak riskler gürültü, titreşim, termal konfor, basınç, aydınlatma ve radyasyon şeklinde sayılabilir [1-6].

Gürültünün zararlı olup olmadığını tespit edebilmek için gürültü seviyesi ölçülmelidir. Gürültü seviyesi genel olarak desibel (dB) birimi ile ölçülmektedir. İşitme eşiği 0 dB, Ağrı eşiği 130 dB ve ortalama bir ev ise 50 dB gürültü düzeyindedir (Tablo 1). İnsan kulağı, 20-20000 Hz ya da 0-140 dB aralığındaki ses titreşimlerini, 20 μ Pa (mikropaskal) basınç düzeyinden itibaren algılamaya başlayan oldukça duyarlı bir organdır. Ses basıncının ölçülmesinde, birimi desibel (dB) olan logaritmik oransal bir ölçek kullanılır. Gürültü düzeyinin ölçülmesi için dozimetre adı verilen cihazlar kullanılır. Bunlar ortam gürültüsünü ölçebileceği gibi çalışan üzerinde belirli bir süre tutularak kişisel maruziyet değerleri de ölçülebilir.

Tablo 1. Gürültü türü ve karşılık gelen ses basıncı ve ses şiddeti değerleri [7]

Gürültü Türü	Ses basıncı seviyesi (dBSPL)	Ses Basıncı (Pa)
Jet uçağı, 50 m uzakta	140	200
Ağrı eşiği	130	63,2
Rahatsızlık eşiği	120	20
Testere, 1 m uzakta	110	6,3
Eğlence alanı, hoparlörden 1 m uzakta	100	2
Dizel kamyon, 10 m uzakta	90	0,63
Caddenin yaya kaldırımı, 5 m uzakta	80	0,2
Elektrik süpürgesi, 1 m uzakta	70	0,063
Sohbet, 1 m uzakta	60	0,02
Ortalama ev	50	0,0063
Sessiz kütüphane	40	0,002
Gece uyku alanı	30	0,00063
Televizyon stüdyosunda arka plan	20	0,0002
Yaprak hışırdaması	10	0,000063
Duyuma eşiği	0	0,00002

*dBSPL: Ses basıncı seviyesi (SPL), bir referans değere göre bir sesin etkili ses basıncının logaritmik bir ölçüsüdür. Standart bir referans seviyesinin üzerinde desibel (dB) cinsinden ölçülür.

Gürültü kirliliği artan teknoloji ve nüfus ile şehir hayatında giderek büyüyen bir problemdir [8-9]. Kentsel alanlardaki insanlar farklı türde etkilere maruz kalmaktadır. Trafik gürültüsü, tren gürültüsü, havaalanı gürültüsü gibi çevresel gürültüler ve endüstriyel gürültü ve kontrolü son yıllarda çalışanların gürültüden korunması ile çalışılan konuların başında gelmektedir [10]. İşyerlerinde Dünya Sağlık Örgütü'ne göre (WHO), gürültü kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri son yıllarda giderek artmaktadır [11]. Sürekli yüksek seviyede gürültüye maruz kalan insanların işitme kaybı, endişe ve hassasiyet artışı, nabız ve kan basıncı artışı gibi sağlık sorunları yaşadıkları bilinmektedir. Ayrıca yüksek gürültülü iş ortamı, çalışanın dikkatini dağıtarak verimini düşürür. Bu nedenle gürültü ölçümü fazlasıyla önemli bir konudur. Pek çok fiziksel ve zihinsel sağlık sorunu gürültüye maruz kalma ile bağlantılıdır. Bu olumsuz sağlık etkilerinden bazıları iskemik felç riskinde artış olan işitme kaybını içerir.

Hipertansiyon, kardiyovasküler hastalık, miyokart enfarktüsüne yol açan ilişkili riskler, duygusal ve psikolojik etkiler, huzursuzluk, baş ağrıları, yetersiz uyku, psikolojik etkilerde bozulma ve çalışma performansında azalma gibi gürültü kirliliğinin sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin endişeler son yıllarda iş güvenliğinde konu edilen başlıklardan olmuştur [12-26]. Girvin [12] dünyada havacılık sektöründe yürürlükte olan gürültü politikalarını ve gürültü azaltma önlemlerini ele almıştır. Çalışmasında yerel, ulusal ve bölgesel hükümetlere uçak ve havaalanı gürültüsüne yönelik iyileştirme önerilerini sunmuştur. Guarnaccia [13] gürültü oluşumunun ve yayılmasının uygun şekilde modellenmesinin karayolu trafik gürültüsünde zorlu bir konu olduğunu belirtmiş ve olağan trafik gürültüsü tahmin modelleri ve eşitlikleri önermiştir. Noh [14] tarafından yüksek hızlı trenlerde iç gürültü ölçülmüştür ve yalıtım bariyerleri kullanımının gürültüyü 10 dB veya daha fazla azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir. Dobie vd. [15] inşaat işçilerinde gürültüye bağlı işitme kaybı riskini araştırmışlardır. Dratva vd. [16] hipertansiyon, diyabet veya kardiyovasküler hastalığı olan işçilerde gürültünün ciddi sağlık etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Licitra vd. [17], demiryolu işçilerinde çalışma ortamında geleneksel gürültü haritalaması yapmış ve gürültünün rahatsızlığı artıran tehlikeli faktör olduğunu belirtmiştir. Minichilli vd. [18] öğrencilerin gürültü endişeleri ile onların okuldaki maruziyetlerini değerlendirmiş ve gürültü ölçümleri ile öğrencilerin sağlık durumlarını araştırmıştır. Rossi vd. [19] gelecekte gürültünün insanlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde kişilik özelliklerinin önemli bir faktör olarak dikkate alınmasının gerektiğini belirtmiştir. Lu ve Davis [20] gürültünün insanların önlem kararları üzerindeki etkisini araştırmak için sanal bir inşaat simülatörü geliştirmiştir. Yılmaz ve Bilici [21] çalışmalarında gürültüyü fiziksel ve psikolojik tehlikeler sınıfında göstermişlerdir. NIOSH [22] gürültü kontrolü üzerine yönetmelik yayımlamıştır. Ning [23], gürültü kirliliğinin azaltulmasını inşaat öncesi aşamada saha düzeni optimizasyon problemlerinde modellemiştir. Özkan vd. [24] gürültü ile mücadele rehberi hazırlamışlar ve gürültünün kontrolü ile ilgili önerilerde bulunmuşlardır. Petri vd. [25], kentsel bağlamda farklı gürültü kaynağı türlerinin (karayolu, demiryolu, havaalanı ve eğlence amaçlı) kan basıncı değişiklikleri ve hipertansiyon üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Mir vd. [26] yeni bir inşaat gürültüsü yönetimi modeli önermiş ve inşaat gürültüsü yönetimi alanındaki yapılmış çalışmaları sınıflandırmıştır. Eyüboğlu ve Özırat [27] rüzgâr enerjisi santrallerinde fiziksel risk etmenlerini analiz etmişlerdir. Bu nedenle Haziran 2012'de yayımlanan 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu, iş kazaları ve meslek hastalıklarına proaktif önlem yaklaşımları getirmiştir. 6331'de yer alan Madde 14, işverenin sorumluluklarında meslek hastalıkları ile ilgili gözetimi ve bildirimini yapmasını, Madde 15 ise sağlık gözetimini (işe giriş ve iş değişikliklerinde) yapmasını zorunlu kılmıştır [28-30].

Bu çalışmada, 1943 yılından beri otobüsler ile toplu ulaşım hizmeti veren işletmenin ağır bakım tesisleri atölyesinde, ortaya çıkan gürültü ve gürültünün azaltılması için çözüm önerileri araştırılmıştır. İşletmelerde gürültünün azaltılması hem çalışmalarda verimlilik seviyesini artıracaktır hem de çalışma ortamını daha iyi hale getirecektir. Çalışmanın amacı karoser tesislerinde gürültülü noktaların alınan önlemler ile gürültü riski taşımayan hale getirilmesi ve çözüm önerilerinin oluşturulmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

İşletmede gürültü ölçümleri yapılmıştır. Ortam ölçümleri, çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunması Hakkında Yönetmelik kapsamı dikkate alınarak, kişisel maruziyet gürültü ölçümü şeklinde yapılmıştır. Ölçümlerde Cirrus marka Dozimetre gürültü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

CIRRUS 110 A DoseBadge kişisel gürültü dozimetresi özellikleri aşağıdaki şekildedir;

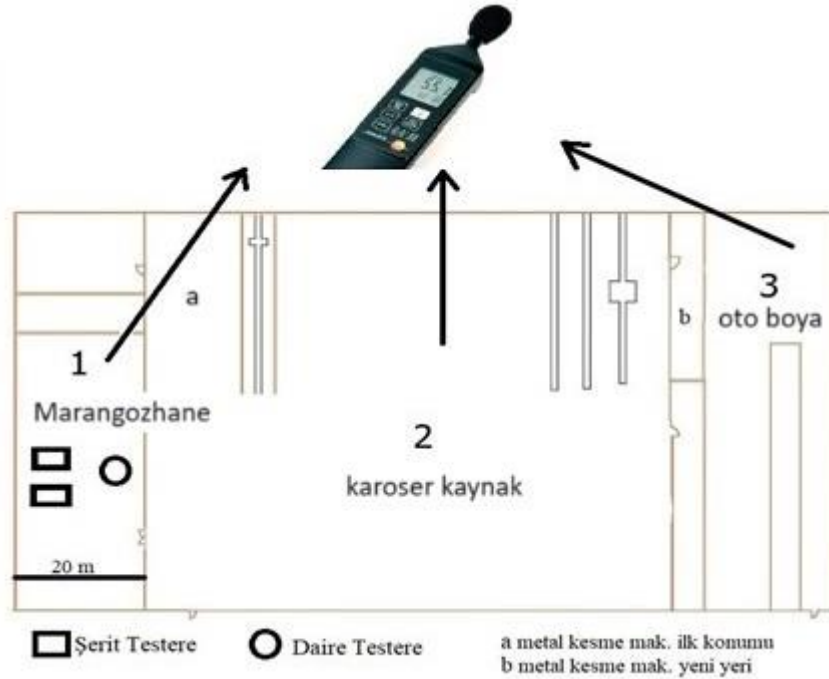
- Kompakt, 51 gram ağırlığında,
- Kritik ses seviyeleri 80 dB, 85 dB, 90 dB,
- 8 saatlik ölçüm süresince birer dakikalık 93 adet veri kaydı,
- 8, 12, 16 ve 18 saatlik zaman dilimlerine ait ölçümler yapabilir,
- Kızılötesi iletişim sayesinde ölçüm yapılan personelin cihaza müdahalesini azaltır,
- Tehlikeli ortamlar için ATEX, IECEx ve FM sertifikasyonları bulunmaktadır.

Her ölçümden önce ve sonra bütün sistemin akustik kontrolü, ölçüm yapılacak iş yerinde yapılır. Ölçümler öncesinde “C faktörü” belirlenmesi ve “SPL” (Ses Basınç Seviyesi) ölçümü yapılır. Ölçümler tamamlandığında ise sadece “SPL” ölçümü cihaz kullanım talimatlarına uygun yapılarak ilgili formlara yazılır. Ölçüm öncesi ve sonrası okunan “SPL” değerleri arasında 0,5 dB veya daha fazla fark varsa ölçüm geçersiz sayılır, yeniden ölçüm alınması gerekir ve ilgili cihaz kullanılmaz.

Gürültü ölçümleri sırasında; cihazın ölçümlerini etkileyecek ölçüde herhangi bir gürültü çıkarılmaması sağlanır. Ölçüm cihazı, seçilen personelin üzerine takılırken çalışmasına engel olmayacak şekilde takılır. Ölçümün, personelin mesai süresince sekiz saat süre ile yapılmasına dikkat edilir. Dozimetre, hafif ağırlıkta, kritik ses seviyeleri 80 dB, 85 dB, 90 dB’i ölçebilen, 8 saatlik ölçüm süresince birer dakikalık 93 adet veri kaydı yapabilen, kızılötesi iletişim sayesinde ölçüm yapılan personelin cihaza müdahalesini azaltan, tehlikeli ortamlar için ATEX belgesine sahip bir cihazdır. Ölçümler, dozimetre mikrofonu maruz kalan kulağa en az 10 cm uzaklıkta kişinin omuz kısmına takılarak yapılmıştır.

3. Metot

Ölçüm yapılan atölye bölgelere ayrılmış, çalışan personele ortam ölçümü cihazı takılarak 8 saatlik çalışma süresi boyunca her dakika kayıt alınmıştır. 8 saat sonunda alınan kayıtlar ile günlük gürültü maruziyet düzeyi ve en yüksek ses basıncı değerleri tespit edilmiştir. Araştırmada yapılan ölçümler işletmenin üç noktasında Şekil 1’deki gibi yapılmıştır. 1 numaralı bölge marangoz atölyesi, 2 numaralı bölge karoser ve kaynak atölyesi, 3 numaralı bölge oto boya atölyesidir (Şekil 1).



Şekil 1. İşletmenin genel bölümleri ve ölçüm noktaları

6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu [22] ve Çalışanların Gürültü ile ilgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik uyarınca [28]; işverenler, gürültüye bağlı olan herhangi bir işitme kaybında erken tanı konulması ile yükümlüdür. Bu nedenle çalışanların işitme sağlığının korunması amacıyla iş yerlerinde gürültü ölçümlerini iş güvenliği uzmanı ile işçilerin sağlık durumlarını ise işletmede bulundurduğu iş yeri hekimi ile kontrol etmek durumundadır. Çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmeliğin 8. maddesi Maruziyetin önlenmesi ve azaltılması hedefine göre (1) İşveren, risklerin kaynağında kontrol edilebilirliğini ve teknik gelişmeleri dikkate alarak,

gürültüye maruziyetten kaynaklanan risklerin kaynağında yok edilmesini veya en aza indirilmesini sağlar. (2) İşveren, maruziyetin önlenmesi veya azaltılmasında, 6331 sayılı İş sağlığı ve Güvenliği Kanununun 5. maddesinde yer alan risklerden korunma ilkelerine uyar ve özellikle; Gürültüye maruziyetin daha az olduğu başka çalışma yöntemi seçilmeli, yapılan işe göre mümkün olan en düşük düzeyde gürültü yayan uygun makine seçilmeli, çalışma ortamı gürültüyü önleyecek şekilde düzenlenmeli, makinelerin doğru kullanımı için bilgi ve eğitimler verilmeli, gürültünün yayılması teknik yollarla azaltılmalıdır. Bunun için hava yoluyla yayılan gürültü, bölümlenme, kapatma, gürültü emici yapı malzemeleri ile azaltılmalıdır. Yapı elemanları yoluyla iletilen gürültü, yalıtım ve sönümleme ile azaltılmalıdır. İşyeri ortamı ve makineler için bakım onarım planlamaları yapılmalıdır [28]. Buna göre elde edilen sonuçlar, bulgular ve tartışma bölümünde teknik önlemler kapsamında değerlendirilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada yapılan ölçümler çalışanların gürültüden etkilenmeyecek şekilde çalışması açısından alınabilecek önlemler ile değerlendirilmiştir. Şekil 1’de verilen 1 numaralı bölge marangoz, 2 numaralı bölge karoser ve kaynak atölyesi, 3 numaralı bölge oto boya atölyesidir. 3 numaralı oto boya atölyesinde yapılan ölçümlerde ortam ölçümü değerleri yönetmeliğe göre normal çıkmıştır. Bu nedenle bu bölgede sürekli olarak ölçümler yaparak ve mevcut çalışma durumuyla devam edilmesine ve ortamın izlenmesine karar verilmiştir. Ancak, 1 ve 2 numaralı bölgelerde yapılan ölçümlerde en yüksek maruziyet eylem değerini geçen ölçümlerinin olması sebebi ile 8 saat süre ile çalışanın maruz kaldığı değerler ölçülmüştür. Çalışma esnasında, çalışan bağlı bulunduğu bölgenin tamamında bulunan tezgâh ve ekipmanları kullanmakta olup sabit bir noktada kalmamış tüm bölgede bulunmuştur.

2019 yılında yapılan ortam ölçümlerinde, 1 ve 2 numaralı bölgede yapılan ölçümlerde, çalışan 39 personelde gürültü düzeyi kabul edilebilir düzey olan 8 saat – 85 dB(A) düzeyinden yüksek çıkmıştır (Tablo 2). İşyerlerinde 85 dB(A) ve daha üst ses seviyesinde günde 8 saatten fazla maruz kalınması işitme kaybına yol açması nedeniyle önlemler alınmasını gerektirir.

Çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik uyarınca [28] Madde 5’e göre yönetmeliğin uygulanması bakımından, maruziyet eylem değerleri ve maruziyet sınır değerleri sektörlerde yapılan denetimlerde aşağıdaki şekilde incelenmektedir. Burada, $L_{ex,8saat}$ en yüksek ses basıncının ve anlık darbeli gürültünün de dahil olduğu A-ağırlıklı bütün gürültü maruziyet düzeylerinin, sekiz saatlik bir iş günü için zaman ağırlıklı ortalamasını tanımlamaktadır.

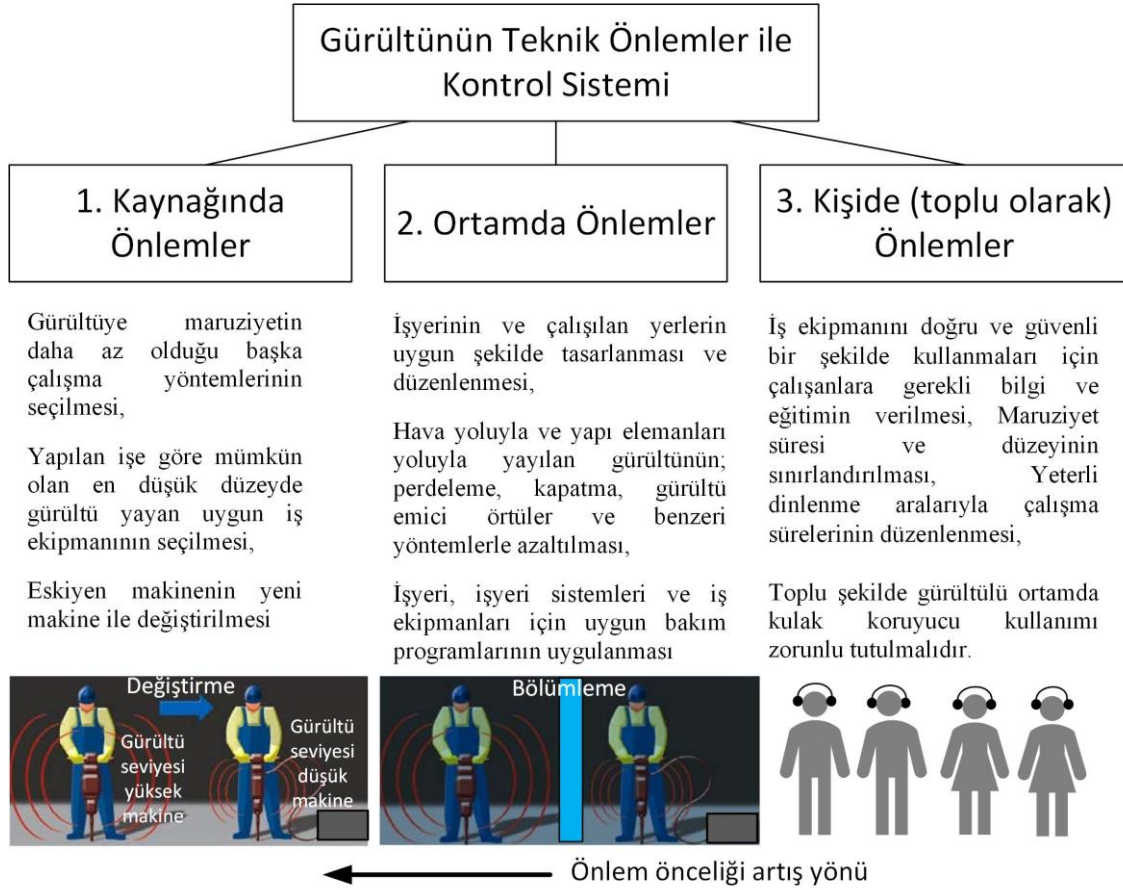
- En düşük maruziyet eylem değerleri: ($L_{ex,8saat}$)=80 dB(A) veya tepe (P_{tepe})= 112 Pa [135 dB(C)]
- En yüksek maruziyet eylem değerleri: ($L_{ex,8saat}$)=85 dB(A) veya tepe (P_{tepe})= 140 Pa [137 dB(C)]
- Maruziyet sınır değerleri: ($L_{ex,8saat}$) = 87 dB(A) veya tepe (P_{tepe}) = 200 Pa [140 dB(C)]

İlgili maddeye ek olarak yönetmelikte maruziyet sınır değerleri uygulanırken, çalışanların maruziyetinin tespitinde, çalışanın kullandığı kişisel kulak koruyucu donanımların koruyucu etkisi de dikkate alınmaktadır. Maruziyet eylem değerlerinde kulak koruyucularının etkisi dikkate alınmamaktadır. Burada alınması gerekli teknik önlemler yönetmeliğe göre ve işyeri ortamlarında öncelik sırasına göre aşağıdaki şekilde ele alınmalıdır.

- Kaynağında önlemler
- Ortamda önlemler
- Kişide (toplu olarak) önlemler (Şekil 2).

Tablo 2. İşletmede Yapılan Gürültü Ölçüm Sonuçları

Ölçüm Bölgesi	En yüksek maruziyet eylem değeri dB(A)	2019 yılı ölçülen maruziyet değeri dB(A)	Değerlendirme	2021 yılı ölçülen maruziyet değeri dB(A)	Değerlendirme
1	85	88.2	Önlem alınmalı	83.7	Uygun
1	85	95.1	Önlem alınmalı	84.7	Uygun
1	85	99	Önlem alınmalı	84.2	Uygun
1	85	91.9	Önlem alınmalı	82.9	Uygun
1	85	87.2	Önlem alınmalı	83.3	Uygun
1	85	91.1	Önlem alınmalı	84.8	Uygun
1	85	93.6	Önlem alınmalı	87	Önlem alınmalı
1	85	87.7	Önlem alınmalı	83.9	Uygun
1	85	88.7	Önlem alınmalı	84.7	Uygun
1	85	99.7	Önlem alınmalı	92.6	Önlem alınmalı
2	85	92.4	Önlem alınmalı	84.5	Uygun
2	85	85.2	Önlem alınmalı	77.2	Uygun
2	85	98.5	Önlem alınmalı	97.1	Önlem alınmalı
2	85	88.9	Önlem alınmalı	91.6	Önlem alınmalı
2	85	97.8	Önlem alınmalı	86.7	Önlem alınmalı
2	85	91.7	Önlem alınmalı	88.5	Önlem alınmalı
2	85	88.5	Önlem alınmalı	88	Önlem alınmalı
2	85	96.6	Önlem alınmalı	91.4	Önlem alınmalı
2	85	88.3	Önlem alınmalı	95.6	Önlem alınmalı
2	85	91.2	Önlem alınmalı	85.4	Önlem alınmalı
2	85	84.7	Önlem alınmalı	86.1	Önlem alınmalı
2	85	86.7	Önlem alınmalı	87	Önlem alınmalı
2	85	87.9	Önlem alınmalı	86.1	Önlem alınmalı
2	85	85.9	Önlem alınmalı	78.7	Uygun
2	85	91.6	Önlem alınmalı	78.2	Uygun
2	85	95.9	Önlem alınmalı	79.2	Uygun
2	85	90.1	Önlem alınmalı	84.2	Uygun
2	85	88.7	Önlem alınmalı	82.5	Uygun
2	85	87.7	Önlem alınmalı	81.4	Uygun
2	85	86.3	Önlem alınmalı	79.1	Uygun
2	85	85.7	Önlem alınmalı	84.4	Uygun
2	85	89	Önlem alınmalı	84.5	Uygun
2	85	93.1	Önlem alınmalı	81.2	Uygun
2	85	86.8	Önlem alınmalı	79.8	Uygun
2	85	96.2	Önlem alınmalı	83.5	Uygun
2	85	89.7	Önlem alınmalı	79.5	Uygun
2	85	93.2	Önlem alınmalı	84.6	Uygun
2	85	87.4	Önlem alınmalı	79.3	Uygun
2	85	87.6	Önlem alınmalı	77.5	Uygun



Şekil 2. Gürültünün kontrolü için teknik önlem sistemi

Kişisel Koruyucu Donanımların (KKD) CE belgesi olmalı, ergonomik olmalı, işitme ile ilgili riski ortadan kaldıracak veya en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Dikkatli kullanılmalı ve her kullanımdan sonra temizliği yapılmalıdır (Şekil 3). KKD'lerin Türkçe kullanma kılavuzu olmalı ve kullanımları eğitimlerle anlatılmalıdır.



Şekil 3. Gürültünün teknik kontrolünde kişide önlem sistemi

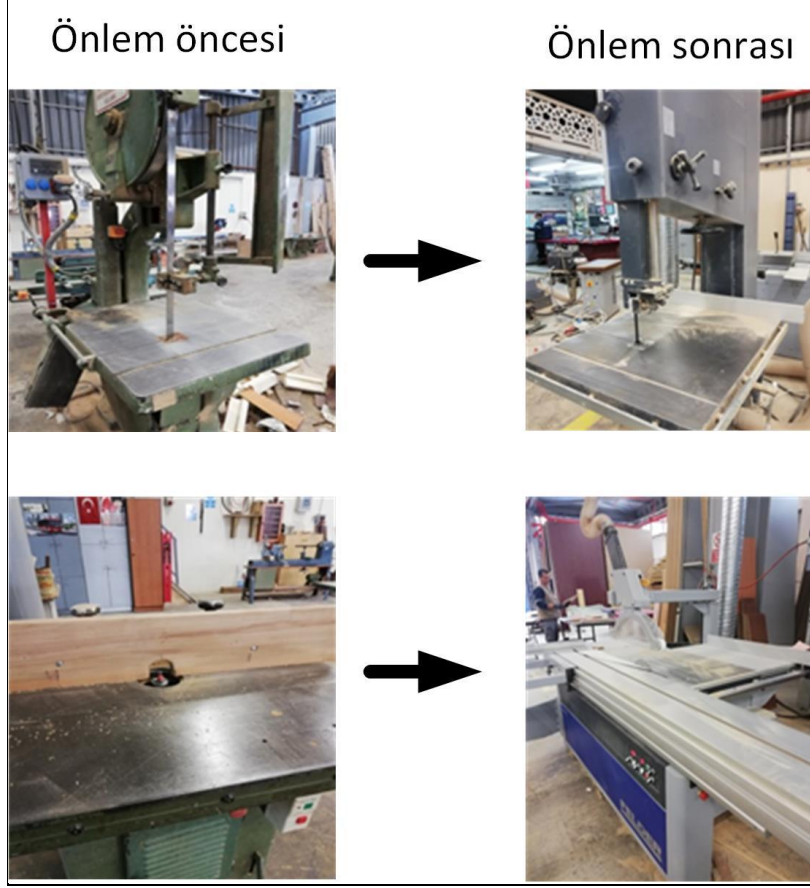
Gürültüyü teknik olarak azaltma yöntemleri çalışmada üç ana madde halinde incelenmiştir.

- İş organizasyonuna yönelik uygulamalar olarak çalışma süresine ve çalışma şekline yönelik düzenlemeler, iş ekipmanı satın alınması noktasında gürültü seviyesinin göz önünde bulundurulması, makinelerin bakım-onarımı şeklinde ele alınmıştır.
- Gürültünün kaynağındaki uygulamalar olarak gürültülü ekipman üzerinde yapılacak değişiklikler, gürültü kaynağında uygulanacak çözümler ve makinelerin değiştirilmesi olarak ele alınmıştır.
- Gürültü iletimine yönelik uygulamalar olarak yayılan gürültünün yayılmasını önlemeye yönelik çözümler olarak ortamda yalıtım sağlayacak bölümlenmeler olarak ele alınmıştır.

Bu kapsamda çalışmada, Şekil 2’de önerilen sisteme uygun olarak, öncelikle kaynağında önlemler olarak makinelerde iyileştirmeler planlanmış, çalışma ortamında yalıtım önlemleri planlanmış, personeli gürültüden korumak amacı ile uygun kişisel koruyucu donanımlar temin edilmiş ve çalışanların verilen eğitim sonrası kullanımı sağlanmıştır. Ölçüm yapılan birimlerde maruziyet değeri en fazla 99.7 dB(A) çıkması nedeni ile kulak tıkacı kullanılması uygun görülmüştür. EN352-2 standardında tekrar kullanılabilir, yumuşak ve dayanıklı termoplastik elastomerden imal edilmiş ve gürültü seviyesini 25 dB(A) kadar düşüren kulak tıkaçları tercih edilmiştir. Ayrıca çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmeliğin 8. maddesi maruziyetin önlenmesi ve azaltılması kısmı f(1) maddesinde “Maruziyet süresi ve düzeyinin sınırlandırılması” kuralına dayanarak işletmede gürültülü ortamlarda çalışma sürelerinin, 90 dB(A)’da 8 saati, 92 dB(A)’da 6 saati, 95 dB(A)’da 4 saati ve 97 dB(A)’da ise 3 saati aşmaması planlanmıştır.

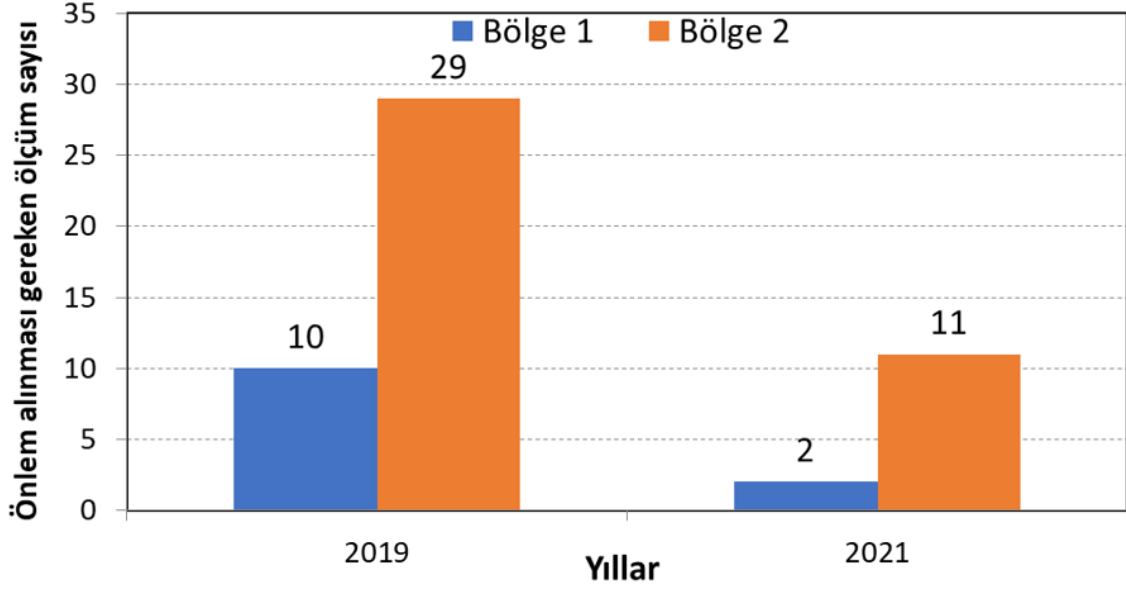
Çalışma ortamında iyileştirme çalışmaları kapsamında, öncelikle makine parkı incelenmiştir. Ortamda yüksek gürültü ile çalışan makineler tespit edilmiştir. Ekonomik kullanım ömrünü tamamladığı görülen makinelerin, eski teknoloji ile çalıştığı hem gürültülü ortam oluşturduğu hem de yüksek enerji tükettiği tespit edilmiştir. Ayrıca makine üzerinde bulunan iş güvenliğine yönelik önlemlerin yetersiz olduğu görülmüştür. Bu nedenle makine parkında yenilemeye gidilmiştir. Marangoz biriminde bulunan, marka ve imal tarihi tespit edilemeyen (1950 öncesi olduğu tahmin edilen) iki adet şerit testere yerine yeni iki adet şerit testere alınmıştır. Eski makinelerde çalışma sırasında 1 metre mesafeden yapılan ölçümlerde 102 dB(A) olan gürültü değeri yeni makinelerde 90 dB(A) olarak ölçülmüştür. Ayrıca bir adet daire testere makinası yerine yeni bir daire testere makinası ikame edilmiştir. Bu değişim sonrası 96 dB(A) olarak ölçülmüş olan değer 88 dB(A) değerine düşmüştür (Şekil 4).

Karoser ve kaynak biriminde gürültünün önlenmesine yönelik çalışma yapılmış olup alanın çok geniş olması ve ara bölümlenmelerin yetersiz olması sebebi ile (yaklaşık 4800m²) akustik önlemlerin etkili olmayacağı düşünülmüş, ortamda gürültülü çalışma yapan metal kesme makinası kapalı ortama alınmıştır (Şekil 1). Çalışanın bu kapalı ortamda kısıtlı zaman çalışması sağlanmıştır. Böylece makinadan etkilenen çalışan sayısı 30 kişiden 2 kişiye düşmüştür. Fakat kapalı ortamda çalışan makinanın gürültü düzeyi 102 dB(A)’dan 106 dB(A) değerine çıkmıştır. Etkilenen çalışan sayısı azaltılmış, ama etki artmıştır. Artan etki ise EN352-2 standartlarına uygun kulak tıkacından daha üst düzey kulak koruması sağlayan manşonlu kulaklıklar ile kabul edilebilir düzeye indirilmiştir.



Şekil 4. Makinelerde yapılan yenilemeler ile gürültü kaynağında önlem örneği

Yaşanan Covid-19 pandemisi dolayısıyla 2019 yılındaki yapılan ölçümlerden sonra toplu alanlarda çalışma seviyelerinin düşürülmesi ve toplumsal izolasyon sebebi ile 2020 yılında ölçümler yapılamamıştır. Bu sürede çalışma ortamındaki makineler yenilenmiş hem sessiz hem de daha az enerji tüketen çevreci ve ekonomik makineler kurulmuş olup daha sonra 2021 yılında 1 ve 2 numaralı bölümde ölçümler tekrarlanmıştır (Tablo 2). Kabul edilebilir düzeyi aşan 39 ölçümün 13'e düştüğü tespit edilmiştir. Bölge 1'de 2 tane önlem alınması gerekli ölçüm, Bölge 2'de 11 tane önlem alınması gerekli ölçüm sonucu, yapılan önleme çalışmalarının önceki ölçümlere göre daha olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bölge bazında elde edilen ölçüm sonuçlarının sütun grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Yapılan ölçümlerde önlem alınması gereken ölçüm sayıları

5. Sonuç

Çalışma ortamında, çalışan sağlığını ve güvenliğini etkileyen faktörlerden olan fiziksel risk etmenleri, çalışma ortamında önlem almayı gerektirir. Gürültü, en önemli fiziksel risk etmenlerinden biridir. Bu nedenle çalışma alanında 2019 yılında yapılan 135 adet gürültü ölçümünde, 39 noktada gürültü düzeyi, 8 saatlik ortalama kabul edilebilir düzey olan 85 dB(A) üzerinde bulunmuştur. Bunun üzerine, önlem hiyerarşisine uygun olarak kaynağında önlem, ortamda önlem ve kişide (toplu olarak) önlem çalışmaları yapılmıştır. Gürültü kaynağında ve ortamda önlem olarak makinelerin yenileriyle değiştirilmesi ve ortamda yalıtım çalışmaları, kişide toplu olarak kişisel koruyucu donanım kullanırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İşletmede 1 numaralı bölgede marangoz işleri yapılması nedeni ile makine ağırlıklı çalışma olmaktadır. Bu nedenle, makine parkında iyileştirme yapılarak gürültü değerleri düşürülmüştür. 2 numaralı bölgede ise karoser ve kaynak işleri yapılması sebebi ile ortamın gürültülü olduğu tespit edilmiştir. Ortamda gürültülü çalışma yapan metal kesme makinası kapalı ortama alınmıştır. Böylece makinadan etkilenen çalışan sayısı 30 kişiden 2 kişiye düşürülmüştür. 2021 yılında yapılan çalışmalar ve geliştirilen önlemler ile 2019 yılına oranla gürültü ölçümleri ve gürültü seviyesi açısından çalışma ortamı daha olumlu hale getirilmiştir. İlerleyen dönemde gürültü ile ilgili çalışmalarda, yapılan teknik önlem çalışmalarının kararlılıkla sürdürülmesi, çalışanların işitme sağlığı, çalışma refahı ve çalışma verimliliği açısından oldukça önemlidir.

Kaynaklar

- [1] E. Ateş, M.G. Alagöz, (2018). Tarım Makinaları İmalatı Yapan Bir Firmada Gürültü Analizi, *kisgd*, 2(1), 13-22, doi: 10.33720/kisgd.418615.
- [2] H. Doğan, Ö.A. Çataltepe, (2018). Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, *Journal of Health and Sport Sciences (JHSS)*, 1, No.1-2-3.
- [3] Z. Bozkurt, Z. Selek, (2019). Karayolu ulaşımında farklı yol kaplamalarının çevresel gürültü seviyesine katkılarının incelenmesi: Adana örneği. *Politeknik Dergisi*, 22(2), 415-429.
- [4] D. Cansaran, (2019). Gürültü kirliliği düzeyini belirlemeye yönelik bir Çalışma: Amasya örneği, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 74(1), 89-108.
- [5] P.M. Özfirat, M.K. Özfirat, M. Yetkin, Ç. Pamukçu, (2022). Risk evaluation of belt conveyor accidents using failure modes and effects analysis and event tree analysis. *ITEGAM-JETIA*, 8(36), 24-31.

- [6] N. Moroe, P. Mabaso (2022). Quantifying traffic noise pollution levels: a cross-sectional survey in South Africa. *Sci Rep.*, 2;12(1), 3454. doi: 10.1038/s41598-022-07145-z.
- [7] <https://www.okco.com.tr/gurultu-olcumu/> erişim tarihi:2024.
- [8] J. Dratva, H.C. Phuleria, M. Foraster, J.M. Gaspoz, D. Keidel, N. Künzli, et al. (2012). Transportation noise and blood pressure in a population-based sample of adults. *Environ Health Perspect* 120(1), 50.
- [9] D. Ouis (2002). Annoyance caused by exposure to road traffic noise: an update. *Noise and Health* 2002. 4(15), 69.
- [10] E. Murphy, E. King (2014). *Environmental noise pollution: noise mapping, public health, and policy*. Newnes; 2014.
- [11] WHO (2018). *Environmental noise guidelines for the European region, the World Health Organization (WHO)*, available at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>.
- [12] R. Girvin (2009). Aircraft noise-abatement and mitigation strategies. *J Air Trans Man.* 15(1), 14-22.
- [13] C. Guarnaccia (2013). Advanced tools for traffic noise modelling and prediction. *WSEAS Trans Syst*, 12(2), 121–30.
- [14] H.M. Noh (2020). Noise reduction in high-speed train gangways using fairings and side barriers, *Advances in Mechanical Engineering*, SAGE Publications Sage UK: London, England, 12(7), p. 1687814020946131.
- [15] R.A. Dobie, W.W. Clark, D. Kallogjeri, E.L. Spitznagel (2018). Exchange rate and risk of noise-induced hearing loss in construction workers, *ANN Work Expos Health*, 62(9), 1176–8.
- [16] J. Dratva, E. Zemp, D.F. Dietrich, P.O. Bridevaux, T. Rochat, C. Schindler, M.W. Gerbase (2010). Impact of road traffic noise annoyance on health-related quality of life: results from a population-based study. *Qual Life Res.*, 19(1), 37-46. doi: 10.1007/s11136-009-9571-2.
- [17] G. Licitra, L. Fredianelli, D. Petri, M.A. Vigotti (2016). Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. *Sci Total Environ*, 568, 1315–25.
- [18] F. Minichilli, F. Gorini, E. Ascari, F. Bianchi, A. Coi, L. Fredianelli et al. (2018). Annoyance judgment and measurements of environmental noise: a focus on Italian secondary schools. *Int J Environ Res Public Health*, 15(2), 208.
- [19] L. Rossi, A. Prato, L. Lesina, A. Schiavi (2018). Effects of low-frequency noise on human cognitive performances in laboratory, *Build Acoust*; 25(1), 17–33.
- [20] X. Lu, S. Davis (2016). How sounds influence user safety decisions in a virtual construction simulator. *Saf Sci*, 86, 184–94.
- [21] Ş. Yılmaz, M. Bilici, (2020). Üniversitelerin mühendislik fakülteleri bünyesinde bulunan laboratuvarlarda iş sağlığı ve güvenliği. *OHS Academy*, 3(2), 102-113.
- [22] NIOSH, (2018). *Reducing Noise Exposure: Noise Controls*, U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH).
- [23] X. Ning, J. Qi, C. Wu, W. Wang, (2019). Reducing noise pollution by planning construction site layout via a multi-objective optimization model. *J Cleaner Production*, 222, 218–30.

[24] M.O. Özkan, S.E. Çiftçi, A.Ö. Akbaş, F.E.P. Bozcan, (2024). Çalışma Yaşamında Gürültü ile Mücadele Rehberi, T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.

[25] D. Petri, G. Licitra, M.A. Vigotti, L. Fredianelli, (2021). Effects of exposure to road, railway, airport and recreational noise on blood pressure and hypertension. *Int J Environ Res Public Health*, 18(17), 9145.

[26] M. Mir, F. Nasirzadeh, S.H. Lee, D. Cabrera, A. Mills, (2022). Construction noise management: A systematic review and directions for future research, *Applied Acoustics*, 197, 108936, ISSN 0003-682X.

[27] A.K. Eyüboğlu, M.K. Özfırat, (2023). Rüzgâr Enerjisi Tesislerinde Başlıca Tehlikelerin HTEA Risk Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-11.

[28] İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Kanun Numarası: 6331, (2012). Kabul Tarihi: 20/6/2012, Yayımlandığı Resmî Gazete Tarihi: 30/6/2012, Sayı: 28339, Ankara.

[29] Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına dair Yönetmelik, (2013). Resmî Gazete Tarihi: 28.07.2013. Resmî Gazete Sayısı: 28721, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

[30] Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, (2022). Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2022 Resmî Gazete Sayısı: 32029, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.