

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

YIL: 2019 CİLT:2 SAYI:1
ISSN: 2651-3544

İçindekiler

Her Alanda Ergonomi
Ayhan Köksüz

Substitute Material of Cement: Glass Fiber Reinforced
ABDULGADER MOHAMED AHMED BERRANI

Fracture Mechanics of Steel Fiber Reinforced Concrete
ABDULGADER MOHAMED AHMED BERRANI

Kimyasal katkı malzemelerinin biyomineralizasyon ile kendiliğinden
iyileşen çimento-esaslı malzemelerin performansına olan etkisi
ZEYNEP BAŞARAN BUNDUR, ALI AMIRI

Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin (ÖTL) Sıvılaştırılarak
Geri Dönüşümünün Araştırılması
Hasan ERYILMAZ, Kazım Onur DEMİRARSLAN

Yarışlı Gölü (Burdur) Yakın Çevresindeki Mermer Sahalarının
Jeolojik Özelliklerinin ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması
Muhammet YILMAZ, Şemsettin CARAN

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi ulusal bilimsel
hakemli bir dergidir.

Haziran ve Aralık Aylarında yılda 2 defa çevrimiçi olarak yayınlanır.

Taranmakta olduğumuz indeks:



Haziran - 2019

Her Alanda Ergonomi

Ergonomics in Every Area

¹Ayhan Köksüz

*¹ Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

Geliş Tarihi : 06.12.2018

Kabul Tarihi : 10.01.2019

ÖZET

Günümüzde insanların günlük yaşamları içerisinde yer alan ancak insanların bilmedikleri çok önemli kavramlar vardır. Ergonomi de bu kavramlardan birisidir. Bu makalede ergonomi kavramını, kullanım alanlarını, faydalarını, kullanılma amacını ve insan-çalışma arasındaki ilişki konularını ele alınmıştır. Bu makale de ergonomik hareketlerinin nasıl yapılacağını göstererek herhangi bir hareket esnasındaki oluşabilecek zararları en aza indirmek amaçlanmıştır. Çünkü birçok insan günlük hayatta yaptıkları en ufak bir kaldırma, taşıma, yükleme işinde dahi kendilerine zarar verebilmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden birisi de yaptıkları işi alışlagelmiş bir şekilde yapmalarıdır. İşte bu noktada ergonomi devreye girerek insanların yaptıkları işten hem en az zararla hem de en az efor harcayarak işlerini tamamlamalarını sağlar. Buradaki önemli bir faktör de efordur. Çünkü insanlar yaptıkları işleri en az eforla tamamlamak isterler. İşte bu faktörlerin hepsini ergonomi en iyi şekilde karşılamaya çalışır. Sonuç olarak ergonomi kavramı günlük hayatımızda bilmemiz ve kullanmamız gereken bir kavramdır. İşte bu makale de ergonomi kavramını günlük hayatımıza yerleştirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, efor, insan(çalışan), çevre

ABSTRACT

Nowadays, there are very important concepts in people's daily lives that people do not know. Ergonomics is one of these concepts. In this article, the concept of ergonomics, usage areas, benefits, the purpose of use and the relationship between man and work are discussed. In this article, it is aimed to show how to do ergonomic movements and to minimize the damages that may occur during any movement. Because many people in their daily life, even the smallest lifting, carrying, loading work can even harm themselves. One of the biggest reasons for this is that they do their work in a customary way. At this point, ergonomics enables people to complete their work by doing both the least damage and the least effort. An important factor here is effort. Because people want to complete their work with minimal effort. This is all factors best way meet all of ergonomic. As a result, the concept of ergonomics is a concept that we need to know and use in our daily lives. In this article, the concept of ergonomics has been tried to be placed in our daily life.

Keywords: Ergonomics, effort, human(working), environment

ERGONOMİ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birçok alanda değişimler gözlenmektedir. Bu değişimler beraberinde birçok sıkıntıyı da yanında getirmektedir. Bu sıkıntılar insanların(çalışanların) antropometrik, fizyolojik ve psikolojik açıdan zorlanmasına neden olur. Bunlardan dolayı da verimlilik, kalite gibi önemli ölçütlerde kötüleşmeler meydana gelir.

İşte ergonomi tam bu alanda devreye girer. Ergonomi, insanın fiziksel ve psikolojik özelliklerini inceleyerek insanın makine ve çevre ile olan uyumunu doğal ve teknik olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları topluluğudur. Yunanca'da Ergo iş, nomos ise yasa anlamına gelmektedir. İnsanın anatomik, antropometrik, fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik açıdan inceleyen katlanabileceği sınırları ölçen bilim dalıdır. İşin insana, insanın işe uyumunu araştırır. Ergonomide asıl amaç maksimum verimliliğe minimum yorgunluktur. İş gören ile teknik sistem arasındaki ilişkiyi inceleyen ve en iyi şekilde getirmeye çalışan bilim dalıdır. Ergonomiye işveren açısından bakarsak işveren, çalışanlarının rahatsız olmasını istemez. Çalışanların konforu en az işveren kadar önemli konumdur. Çünkü çalışanların konfor seviyesi arttıkça verimlilik artar, bu da üretimde iyileştirmeye gider. İşte ergonomi bu konfor alanında olaya dâhil olur. Ergonomi çalışanların bu konforunu en iyi şekilde sağlayarak verimliliği en iyi seviyeye çıkarır. Yani ergonomi insan-makine-çevre etkileşimini en iyi şekilde sağlar. Ya çalışma ortamını insana(çalışana) göre düzenler ya da insanı(çalışanı) yapabileceği ortamlarda istihdam eder. Ergonomi bunları yaparken birçok etmeni göz önünde bulundurur ve birçok konuyu ele alır. İşte bu ergonominin bir bilim dalı olmasını sağlar.

Ergonomi Tarihçesi

Ergonomi tarihinde genellikle ve öncelikle F.W. Taylor'dan söz edilir. Yaratıcı bir makina mühendisi olan Taylor, 18'inci yüzyıl ikinci yarısında, "İŞ DÜZENİ" anlayışını geliştiren ve iş görenlerin daha üstün bir verim ile çalışabilmesi için de, çeşitli teoriler ortaya atarak bunları deneyen teknik bir zekâydı. Anatomi ve fizyoloji bilgileri eksik olduğu için çeşitli yanlışlar içinde bulunduğu ima edilen Taylor ayrıca, iş hevesini ve işçilerin verimini artırmak için 'işçi seçme ve ücret artırma' yaklaşımları nedeni ile de eleştirilmiştir. Taylor'un geliştirdiği el aletleri ve hızlı çalışma temposu ise, daha fazla ücret almalarına rağmen iş görenleri de memnun etmemiştir. Yine de, insan faktörüne ve insanların kullandıkları araç ve gereçlere deneysel yaklaşımlar getiren Taylor, sosyal psikolojide ve ergonomide 'iş hevesi konusuna ücret yaklaşımını' öneren ilk araştırmacı olarak anılmaya değer.

1910'larda ergonomik yaklaşımlara öncülük eden iki yeni metot girişimi dikkati çekmiştir. Bunlardan birincisi, Mühendis Gilbreth ile bir Psikolog olan hanımının geliştirdikleri İş ve Zaman Etüdü (Time and Motion Study), ikincisi ise, işbaşında enerji harcamayı ölçmek için, Oksijen Tüketimi (Oxygen Uptake) formülünü geliştiren ve gaz geçirmez örnek alma torbaları ile tanınmış Douglas'ın çalışmalarıdır. Günümüzde her iki yaklaşım da geliştirilmiş metotları ile kullanılmaktadır. Bu arada, bazı kaynaklar Gilbreth Ailesi'nin ergonomi yaklaşımının öncüleri olduğunu kabul ederler.

Ergonomi bilim alanının ilk adımları uygulamalı psikoloji uzmanlarınca atılmıştır. Munsterberg'in 1913 yılında yayınladığı 'Endüstriyel Etkinliklerde Psikoloji' yapıtı, bu konuda öncü bir eser olmuştur. 1921 yılında ise Cambridge Üniversitesinde ilk Deneysel Psikoloji Laboratuvarı kurulmuştur. Birinci Dünya Savaşı ardından İngiltere'de bir Yorgunluk Araştırmaları Kurulu oluşturulmuş ve Ulusal Endüstri Psikolojisi Enstitüsü'nün kurulmasına kadar, adı geçen kurul, deneysel çalışmaları ve uygulamalı araştırmaları desteklemiştir.

İkinci Dünya Savaşında, savaşan ülkeler, pek çok yeni harp silah ve araçlarını hizmete sokmuş fakat makinelerin yetenekleri abartılarak, insan-makina sistemleri düşüncesi önemsenmediğinden, savaş suresince, insan ya da makina hataları nedeni ile pek çok kişi hayatını kaybetmiştir. Konunun derinliğine incelenmesi sonucunda da geliştirilecek her türlü araç ve gerecin tasarımında insan faktörünün dikkate alınmasının ne derece önemli olduğu anlaşılmıştır. Savaşın ardından İngiltere'de Oxford Medical Research Unit ile Cambridge Applied Psychology Unit kurulmuştur.

Amerika Birleşik Devletleri'nde de. Dayton Aeromodical Laboratory Psychology Branch kurularak çeşitli araştırmalar başlatılmıştır. İngiliz Kara Kuvvetleri aynı ta-rihlerde, kendi gereksinimlerine göre ayrıca örgütlenmiştir. Bu kuruluşlarda insan ve iş psikolojisi yaklaşımlarından çok insan - makina ara kesiti sorunları dile getirilmiş ve araştırmalar bu yöne kaymıştır.

İngiltere'de bu gelişmeler olurken, ABD Hava Kuvvetlerinden Fitts ve Deniz Araştırmaları Bürosu'ndan Taylor, 1940'larda yaptıkları araştırmalar ile araç-gereç ve malzeme tasarımlarına önemli yenilikler getirmişlerdir. ABD'de John Hopkins, Tafts ve Princeton Üniversitelerinin de katkıları ile yapılan benzer çalışmalar önceleri, İnsan Mühendisliği adı altında toplanmış, daha sonra İnsan Faktörü Mühendisliği deyimi kullanılmaya başlanmıştır. Son zamanlarda ise ABD kaynakları sadece İnsan Faktörü ismini kullanmaktadırlar.

Aynı süreç içinde, İngiliz Silahlı Kuvvetleri, daha çok ekipman tasarımlarına önem vermiş ve bu amaçla bir araştırmalar komitesi kurmuştur. Deniz Kuvvetlerinde de Applied Research Unit ile yakın ilişkiler içinde çalışan bir Operasyon Etkinlikleri Komitesi teşkil edilmiştir. Aynı tarihlerde Kara Kuvvetleri Komutanlığınca Army Operation Research Group kurulmuş ve Hava Kuvvetlerinde ise benzer çalışmaları Farbourg Air Force Institute of Aviation Medicine üstlenmiştir. Bu dönemler, ergo-nomi tarihinde Knobs and Dials Ergonomics Era (Düğmeler ve Göster-geler Ergonomisi Çağı) olarak anımsanır.

1940'lara kadar yapılan çalışmaların dağınık oluşu çeşitli güçlükler yarattığından, 1949'da Oxford Üniversitesinde ve Murrell'in başkanlığında bir toplantı yapıldı. Anatomi, antropoloji, fizyoloji, psikoloji, mühendislik bilimleri, tasarımcılar gibi, çeşitli uzmanlık alanlarından gelen araştırmacılar ile yapılan bu toplantıda ergonomi terimi önerildi. Bu arada tüm uzmanlar arasında köklü bir işbirliği kararı da desteklendi. Yunanca' da İş(Ergo) ve YASALAR (Namos) kelimelerinden üretilen bu yeni isim ile iş yaşamı ve iş görmenin doğal yasalarını ilgi alanında gören tüm meslek adamlarının çabalarını tek bir başlık altında toplamak olanağı doğmuştu. ABD'de Human Factors Engineering, İsveç'te Biotechnology, İngiltere'de Applied Psychology ve Almanya'da da Arbeit Physiology gibi ilgi alanlarını ve farklı yaklaşımları içine alan ve ayrıca; Industrial Psychology, Work Study, Human Biodynamics gibi uğraş alanlarını da çatısı altında toplayabilen bir bilimsel yaklaşım da böylece doğmuş oluyordu. 1949'dan bu yana, ergonomi biliminin gelişmesi farklı boyutlara ulaşmıştır. İlk zamanlar, ekipman tasarımı araştırmalarında sadece uygulamalı psikoloji yaklaşımının yeterli olmayacağı görülerek, çok disiplinli bir kapsam benimsenmiştir. O zamana kadar genellikle düğmeler, kontrol düzenekleri, göstergeler, makina boyutları ve paneller gibi konularla uğraşılırken, Oxford toplantısından sonra konu, daha geniş bir perspektif içinde ele alınmaya başlanmıştır. Bunu gerçekleştirmede ilk adım ise "Ergonomics Research Council" Ergonomi Araştırmaları Konseyi'nin kurulması olmuştur. Bu kuruluşun çalışmaları uluslararası bir işbirliğini de amaçladığı halde, böyle bir birleşme ancak 1961 yılında Stockholm'de yapılan uluslararası bir toplantıda gerçekleştirilebilmiştir. Bu toplantı vesilesiyle "International Ergonomics Society" kurulmuş ve merkezi İngiltere'de bulunan bu uluslararası cemiyetin önemli bir birleştirici etkisi olmuştur.

Yurdumuzda konu oldukça yeni sayılır. Ergonomi düşüncesi, dolaylı yollardan da olsa, en önce Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde "Ziraatta Canlı Kuvvet Kaynakları" kürsüsünün kurulması ile konu edilmeye başlanmıştır. 1969 yılına kadar bu kürsüde genellikle mekanik kuvvet kaynakları üzerinde çalışılmış ve Kadayıfçıların başlattığı bu çalışmalar Dinçer'in "İnsan Emeği ve Ziraattaki Prodüktivitesi", "Çalışma Şekli ve Kas Yorgunluğu" yapıtları ile insan faktörü konusunu da uğraş alanı içine almıştır. Ergonomi, 1969 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde "İşbilim" ders konuları içinde okutulmaya başlanmış ve bu dersin uygulamalı çalışmalarında endüstride antropometrik araştırmalara önem verilmiştir. Bu amaçla temeli atılan laboratuvar da giderek artan sayıda uygulamalı araştırmalar yapılmaktadır. 1970'lerde, işçi sağlığı ve iş güvenliği alanında ergonomik yaklaşım görüşü Ankara'da Refik Saydam Hıfzısıhha Enstitüsü'nde C.Erkan'ın çabaları ile gündeme gelmiş ve 1968 yılında Çalışma Bakanlığı ve Dünya Çalışma Teşkilatı (ILO) işbirliği ile modern bir İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Merkezi kurulması için çalışmalara başlanmıştır. Bu merkezin, modern cihazlar ile donatılmış ergonomi ünitesi ancak 1972 yılında kurulabilmiştir. Ergonomi ünitesi kuruluş aşamasında sınırlı sayıda da olsa bazı uygulamalı araştırmalar yaptığı gibi, Çalışma Bakanlığı'nın eğitim etkinliklerinde bu yeni ilgi alanını tanıtmaya da çaba göstermiştir. Daha sonra, bina ve kadro değişiklikleri ergonomi laboratuvarının dağılmasına ve çalışmaların, aksamasına neden olmuştur.

Ergonomi, 1971 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Human Factors Engineering adı altında eğitim programına alınmış ve ilk iki yıl dersler İSGÜM'ün (İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Merkezi) ILO Danışmanı Dr. Korinek tarafından yürütülmüştür. Bölümde, 1975 yılından itibaren, yurt dışından getirilen cihazlar ile bir de laboratuvar kurulmuştur. Halen bu bölümde iki dönem okutulan Human Factors Engineering derslerinde öğrenciler laboratuvar araştırmaları ve endüstride gözlemler yaparak bu cihazlardan yararlanmaktadırlar. Endüstri Mühendisliği Bölümü, öğrencilerin saha incelemelerini değerlendirmek için 1980'lerde iki "Öğrenci Sempozyumu" düzenlemiş ve Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) tarafından desteklenen bu sempozyumlar çok yararlı olmuştur.

1980'lerde Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, yurt dışından getirilen çok sayıda çağdaş laboratuvar cihazları ile desteklenen "Ergonomi" derslerini eğitim programlarına almakla kalmamış, 1984 ve 1986 yıllarında İzmir Batı Alman Kültür Ataşeliği ile yardımlaşarak 1'inci ve 2'inci Türk-Alman Ergonomi Sempozyumlarını düzenlemiştir. Bu sempozyumların tebliğleri kitap olarak basılmış ve önemli birer kaynak oluşturmuşlardır.

Ülkemizde ergonomi görüşünün iş dünyasına tanıtılmasında, Milli Prodüktivite Merkezi'nin önemli katkılar olmuştur. Kurumca düzenlenen "Ergonomi", "İşyerlerinde Fiziksel Ortamın İyileştirilmesi", "Endüstri Mühendisliğinin İşletmelere Katkısı" gibi seminerlerde, ergonomi düşüncesinin vurgulanması yanısıra, MPM Uzmanlarından G. İncir tarafından hazırlanarak, kurumca yayınlanan "Endüstriyel İşyerlerinde Çevre Koşullarının Etkileri (1976)" ve "Ergonomi (1980)" kitapları da yararlı kaynaklar olarak, halen pek kısır olan ergonomi literatürüne öncülük etmişlerdir. Milli Prodüktivite Merkezi 1987 yılının Kasım ayında, İstanbul Teknik Üniversitesi ile yardımlaşarak ilk ulusal ergonomi kongresinin toplanmasına da katkılarda bulunmuştur. Bu tarihten sonra, her iki yılda bir düzenlenen Ergonomi Kongrelerine; Çukurova, ODTU, Dokuz Eylül ve HÜ'nün büyük ölçüde bilimsel katkıları olmuştur. İnsan-makine ilişkileri açısından ergonomi bilim alanı ile yakından ilgilenen Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), çeşitli sempozyum ve kongrelerde düzenlemektedir.

Ergonominin Görevleri

Ergonomi, işi insana ve insanı işe uyarlamak için bir araştırma ve eylem programı içerir.

İşin insana uyumu

- Çalışılan ortamın ve üretim malzemelerinin düzenlenmesi (çalışma alanı, makinalar, göstergeler, kontroller vb.)
- İşin yapıldığı yerin analizi edilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması (ses, gürültü, aydınlatma, titreşim, iklim vb.)
- İş yönetiminin gözden geçirilmesi, analizi ve düzenlenmesi (işin kapsamı, çalışma ve dinlenme zamanları vb.)

İnsanın işe uyumu

Kişinin işin içeriğine bireysel yatkınlığı (yaş, cinsiyet, bedensel ve zihinsel özellikler vb.)

İş öğretimi ve işe alıştırma

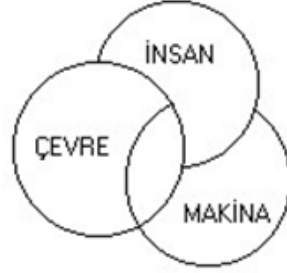
Ergonomi, insan, makine-teçhizat ve donanımı, iş ortamı ve iş yöntemi sisteminin mühendisliği ve tasarımı ile ilgilenen disiplinler arası bir çalışma alanıdır. Günümüzde, ergonomik çalışmalarla ulaşılmak istenen amaç, çalışma ortamını, insana gelebilecek kimi tehlikelerden ve kazalardan korumanın ötesinde, çalışma ortamını insanın hoşuna gidecek ve onu mutlu edecek bir ortama dönüştürmektir. İnsanca çalışma ortamı olarak tanımlanabilecek böyle bir ortamda aşağıdaki özellikler bulunacaktır;

- Makine, teçhizat ve donanımı, insan özelliklerine ve yeteneklerine göre tasarlanırlar.
- Çalışma yöntemleri(biçimi) ve çevre koşulları insana uygun duruma getirilir.
- Yapılan kolaylıkla anlaşılması ve algılanması sağlanır.
- Çalışanlara yeteneklerini kullanma ve kendilerini kanıtlama olanağı verilir.
- Çalışanların kendilerini bir değer olarak görmeleri sağlanır.

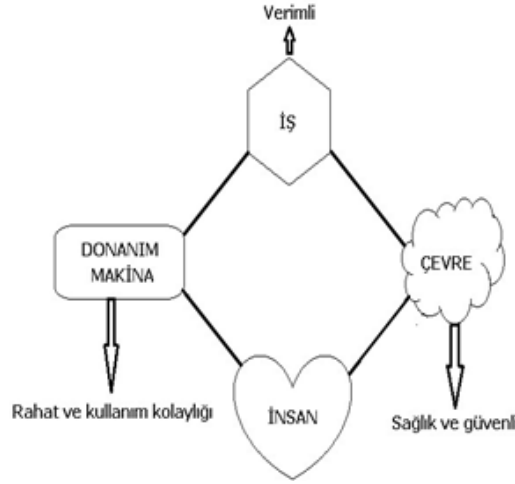
Böyle bir ortamın oluşturulması halinde, iş sisteminin insan üzerinde yarattığı fizyolojik ve psikolojik zorlanma en aza indirilebilir. Ergonomi, "Verimli, güvenli, konforlu ve etkili insan kullanımı için aletlerin, makinaların, sistemlerin, görevlerin, işlerin ve çevrenin tasarımına insanın davranışı, yetenekleri, sınırları ve diğer özellikleri hakkındaki bilgiyi uygulamak ve keşfetmektir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere, ergonomi üretim verimliliğinin artırılması konusunda önemli bir uğraş alanıdır.

Ergonominin Kapsamı

Ergonomi, iş ve işi yapan arasındaki tüm ilişkileri incelerken, bu ilişkileri etkileyen çevresel faktörleri de ele alır. Ergonominin konusu genel anlamda insan-makina-çevre ilişkileri olup, Şekil 1'de ergonominin elemanları Şekil 2'de ilişkileri gösterilmiştir.

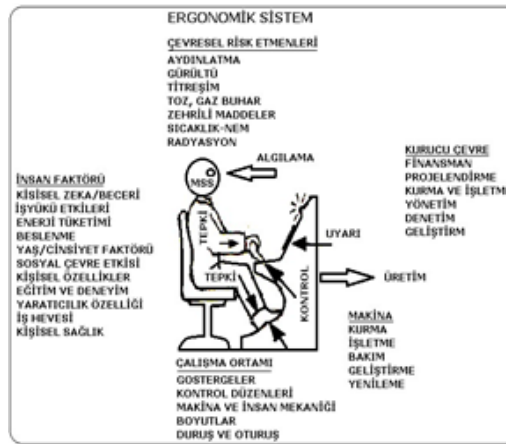


Şekil 1. Ergonominin elemanları



Şekil 2. Ergonomi kapsamı

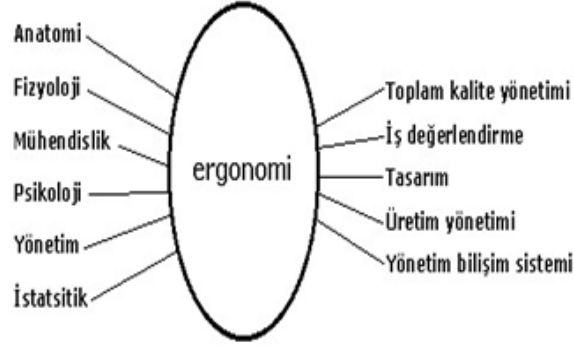
Ergonominin ana elemanları olan insan, makina ve çevre sistemi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Ergonomik sistem

Ergonominin diğer bilimlerle katkı-ihtiyaç ilişkisi Şekil 4'de gösterilmiştir. Ergonomi verimlilik amacını gerçekleştirmek üzere iş-insan uyumu çabasını gerçekleştirmede anatomi, fizyoloji, mühendislik, psikoloji, yönetim, istatistik vb. bilimlerden yararlanır.

Aynı şekilde toplam kalite yönetimi, iş değerlendirme, tasarım, üretim yönetimi, yönetim bilişim sistemlerine katkılar sağlar.



Şekil 4. Ergonominin diğer bilimlerle katkı-ihtiyaç ilişkisi

Ergonomi Türleri

1. Mikro Ekonomi: Sosyo-tekniik anlamda çalışma yeri ve insan ilişkilerinin optimize edilmesi için çalışır. (çevre koşulları, insan-makine)

2. Makro Ergonomi: Bir işletmenin yapısal organizasyonuna baştan aşağıya bir sosyo-tekniik iş sistemi gibi bakarak işletmenin bütünü için ergonomik çalışmaları yürütmektedir(İş ve zaman etüdü, iş ve iş yeri düzenleme). Makro ergonominin amacı iş sisteminin süreçlerini ve yapısını dış çevre, personel alt sistemi ve organizasyonun teknolojik alt sisteminin ana karakteristikleriyle uyumunu sağlamaktır. İkinci olarak da, iyi tasarılanmış iş sistemi karakteristiklerini mikro ergonomik unsurların tasarımına taşıyarak sonuçta tam olarak uyumlu bir iş sistemi oluşturabilmektedir. Tam uyumlu bir iş sistemi kötü tasarılanmış bir sistemle karşılaştırıldığında değişik organizasyonel performans ölçüleri %60-90 seviyelerinde geliştirilebilir (örneğin, kazalardan kaynaklanan kayıp zamanların ve incinmelerin azaltılması, şikâyet ve ıskartaların düşürülmesi gibi, Hendrick 1997a, b).

Ergonomik Yaklaşım: Ergonomi, sistem yaklaşımını, insan ve makine arasındaki ilişkiyi inceler, üretimin etkinliğini artırır, çalışanların iş yükünü azaltır.

Ergonominin Amaçları

- Sağlık koşullarına uygun, güvenli ortam oluşturmak
- İşin, insanın antropometrik ölçülerine uygun olarak tasarlamak
- Tüm araç, makine ve donanımı insana uygun yapmak
- Psikososyal açıdan olumlu ortam oluşturmak
- İşçi sağlığı ve güvenliğini sağlamak
- Yorgunluk ve stresi azaltmak
- İş kazalarını azaltmak

Ergonominin Çalışma Konuları

- Vücut duruş ve hareketleri (kaldırma, taşıma, itme)
- Fiziksel çevre koşulları (gürültü, iklim, havalandırma, aydınlatma)
- İş organizasyonu (çalışma ve mola)
- Zihinsel çalışma ve enformasyon
- İş görev tanımları analizi

Ergonominin Alt Konuları

Makro Ergonomi: Kadro planları, görev paylaşımları ve hiyerarşik yapının ergonomik prensiplere göre belirlenmesidir.

Katılımcı Ergonomi: Üretim sistemlerinin problemlerinin tespiti, çözüm geliştirmesi ve çözümlerin hayata geçirilmesi aşamaların hapsinde çalışanların fikirlerine yer vermek amacındadır.

Yazılım Ergonomisi: Yazılımların ve web sayfalarının insanın daha rahat, kolay ve kısa sürede algılayabileceği şekilde tasarlanmasıdır.

Bilimsel Ergonomi: İnsan davranışları, algılama ve psikoloji konularıyla birlikte zihinsel ağırlıklı görevleri değerlendirme ve analizlerinin çok daha etkin yapılabildiği çalışmadır.

Kansei Mühendisliği: Müşterinin aklındaki ürün imajını uygun bir ürün tasarlamak.

Ergonomi Yararları

- Maliyeti azaltır.
- Verimliliği artırır.
- Gereksiz, fazla hareketleri ortadan kaldırarak zamandan tasarruf sağlar.
- Daha güvenli üretimi sağlar.
- Çalışanlar arası iletişim bağlarını kuvvetlendirerek, etkileşimi artırır.
- İş kazalarını önler.
- Çalışanlarda zaman içerisinde oluşabilecek sorunları önler.
- Kaza ve incinme oranlarında azalmalar olur.
- Kullanımı daha kolay ürün, hizmet ve sistemlere kavuşulur.
- Organizasyonda estetik duygular artar.
- Sağlık kalitesi artar.
- Ürünlerin ve hizmetlerin rekabet güçleri artar.
- Verimlilik ve etkinlik artar.
- Yorgunluk ve streslerde azalmalar olur.

Ergonomik Bilginin Kullanılmasının Maliyeti

- Üretim miktarında azalma olur.
- Zaman kaybı artar.
- İşe devamsızlık artar.
- Çalışanların motivasyonu azalır.
- Verim azalır.
- Hata ve kazalar artar.

Ergonomi ve Verimlilik

Bir işi daha kolay getirerek verimliliğe katkıda bulunur. İşe değer katmaya iş adamlarını ortadan kaldırarak veya azaltarak işin daha çabuk ve daha az işçiyle yapılmasını sağlar.

- Bir ürünü meydana getiren parça sayısını minimuma getirerek ürünü hem daha hızlı hem de daha güvenli üretilmesini sağlar.
- İş veya iş ortamının parametrelerini optimize ederek gereken kuvvetli/güçlü enerjiyi azaltır.

Ergonomik İş: İş, insanın bir değer yaratmaya yönelik her türlü bedensel ve zihinsel faaliyetlerdir.

- Mavi yakalılar: Endüstriye dayalı işler
- Beyaz yakalılar: Bilgiye dayalı işler

Ergonomi Açısından İş Kriterleri

- İşte sosyal uyum sağlanmalıdır.
- İş memnuniyet verici olmalı
- İş beklenebilir olmalı
- İş dayanılabilir olmalı
- İş zararsız ve yapılabilir olmalı

Ergonomik Ölçütler

Ergonomi insan çakılmasında iki ölçüt vardır. Bu ölçütler ergonomik çalışmaların amacını ve içeriğini belirler. Yapılan işler bu ölçütlere göre ele alınır ve çalışma ele alınan ölçüte göre şekillenir. Ele alınacak ölçütler şunlardır;

1. İnsansal Ölçüt: İnsandan beklenen işin onun yeteneklerinin sınırları içinde yer alması. Bu ölçüt hem çalışan açısından hem de iş açısından verimliliği maksimum edebilecek bir ölçüttür. Burada işverenin çalışanını iyi tanınması gerekir, işveren-çalışan arasındaki ilişkinin iyi olması gerekir ki işveren çalışanın yeteneklerine göre iş verebilsin. Günümüzde çalışana iş atama ya da çalışanı işe atama en büyük problemlerdendir. Genel olarak çalışanın yetenekleri gözetilmeksizin iş verilir, bu da hem çalışan hem de iş açısından büyük problemler oluşturmaktadır. İşte bu ölçüt, bu ve benzeri problemleri ortadan kaldırmaya yarar.

2. Ekonomik Ölçüt: İnsanın yeteneklerinden en uygun düzeyde yararlanmayı sağlar. Bu ergonomik ölçüt sağlandığı taktirde çalışan en uygun pozisyonda/işte çalışmış olur, bu da işin daha verimli, düzenli, sorunsuz olmasını sağlar. İşveren açısından da iyi bir durumdur. Çünkü işveren işlerinde her zaman maksimum verimliliği hedefler bu ölçüt ile de hedefine ulaşmış olur.

ERGONOMİ HAREKETLERİ

Çalışanların birçoğu ya meslek alışkanlığı ya da bilinçsiz olarak yaptıkları işlerde işlerini yapış hareketlerine dikkat etmemektedir. Aslında yaptıkları iş hareketlerini biraz daha dikkat etseler hem sağlıkları hem de verimlilik açısından maksimumu sağlayacaklardır. İşte ergonomi hareketleri burada devreye girmektedir. Ergonomi hareketleri, çalışanların işlerini kolay, kısa zamanda ve verimli yapmalarını sağlar. Ayrıca bu hareketler iş güvenliği ve sağlığı kapsamında da çalışanları olumlu etkiler.

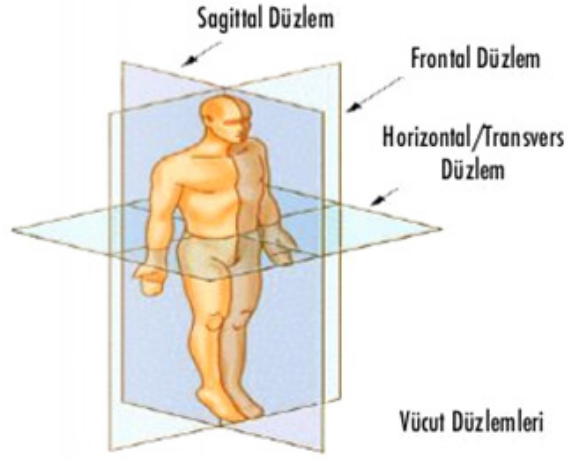
Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi

Çalışanlar gün içerisinde birçok pozisyonda çalışmaktadırlar. Bu pozisyonların genelinde yaptıkları çalışmaları ergonomi kurallarına uymaksızın yapmaktadırlar. Ergonomi bu pozisyonların hepsi için en sağlıklı çalışma ölçülerini incelemiş ve analizini yapmıştır.

İnsan hareket sistemi düzlem ve eksenlerden oluşmaktadır. İnsan vücudu üç farklı düzlemden ve üç farklı eksenenden oluşmaktadır.

Eksenler;

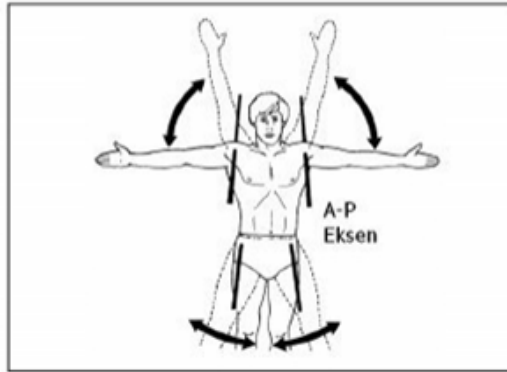
1. Sagittal düzlem: Karşı yöne doğru ok atmaya hazırlanan bir kişide yay tarafından oluşturulan bir düzlemdir. Vücudu sağ ve sol olmak üzere iki eşit parçaya böler.
2. Frontal düzlem: Dikey olarak alın bölgesine paralel, yukarıdan aşağıya geçen tüm düzlemlerdir. Vücudu ön ve arka olmak üzere iki eşit parçaya böler.
3. Horizontal(transversal) düzlem: Yere paralel ve diğer düzlemlere dik olarak geçen düzlemlerdir. Vücudu alt ve üst olmak üzere iki eşit parçaya böler.



Şekil 5. İnsan vücudu düzlemleri

Düzlemler;

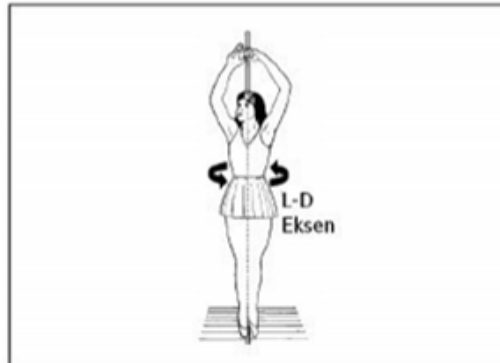
1. Anteroposterior eksen(A-P): Vücudun önünden arkasına doğru geçer.
2. Mediolateral eksen(M-L): Vücudun sağından soluna doğru geçer.
3. Longitudinal eksen(L-D): Vücudun altından üstüne doğru geçer.



Şekil 6. Anteroposterior Eksen



Şekil 7. Mediolateral Eksen



Şekil 8. Longitudinal Eksen

Bu tür sınıflandırmaların yapılmasının en önemli nedenlerinden biri ergonomi koşullar hakkında yapılacak matematiksel çalışmalarda işlem yükünü azaltmak, kolaylık sağlamak ayrıca hangi bölge için yapılacak olan çalışmaları kolaylıkla seçmektir. Yani eğer frontal düzlem üzerinde bir çalışma yapılacaksa insan hareket sistemlerinin tamamına değil de sadece frontal düzlem üzerinden işlemler yapılmasını hedefler. Bu da işlemlerde hem kolaylık hem de zaman tasarrufu sağlar.

Eklem Hareketleri

Hareketli eklemler, konumlarına ve eklem başının merkezinden geçtiği kabul edilen eksene göre; bir, iki ya da üç yönde hareket edebilirler. Eksenlerin hareketleri basit ölçme araçları olan goniometre ve primetre veya daha hassas ölçme yapan çok yönlü film analizleri ile belirlenebilir.

Eklemlerin hareketliliği ve işlerliği çeşitli nedenlerle kaybedilebilir. Öncelikle tüm eklemler; şiddetli darbeler, zorlanmalar ve son sınırlarına kadar zorlanmalardan etkilenir. Çeşitli hastalıklar ve yaşlanma ile de eklem işlemleri azalabilir. Eklem hareketlerinin sınırları üzerinde anatomik özelliklerin etkileri vardır. Hareket sınırları, eklem kapsülünün yapısına, eklem etrafındaki dokulara ve yapılan hareketin doğrultusuna göre değişir. Ayrıca, yaş, cinsiyet, kalıtsal özellikler, çeşitli hastalıklar gibi çeşitli etkenler de eklemlerin hareket sınırlarında değişiklikler yapabilir.

Eklem Hareketlerinin Boyutları

Abdükasyon: Ayakta duran bir insanın kolları yana sarkık ve el ayası vücuduna dönük duruşta, kolunu yandan omuz yüksekliğine kaldırması.

Addükasyon: Yana kaldırılmış kolun aşağı indirilerek gövdeye yaklaştırılması.

Elevasyon: Kolun omuz yüksekliğinin üstünde bir açısal hareket yapması. **Fleksiyon:** Kolun önden omuz yüksekliğine kaldırılması veya her türlü bükme hareketi, boyunun öne doğru bükülmesi.

Ekstansiyon: Kolun arkadan omuz yüksekliğine kaldırılması veya germe hareketi.

Hiperekstansiyon: Eklemlerdeki germe hareketlerinin zorlanarak yapılması. **Rotasyon:** Başın boyun omurları arası eklemlerini çalıştırarak sağa veya sola döndürülmesi.

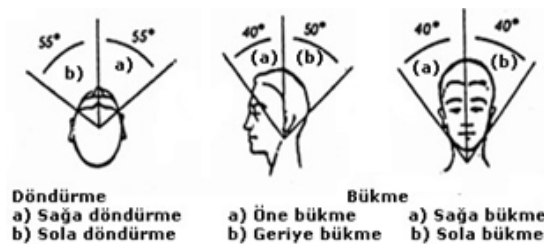
Palmer fleksiyon: El bileğinin bükülmesi ile elin avuç içi doğrultusunda bükülmesi. **Dosfleksiyon:** Elin sırt kısmına doğru bükülmesi.

Süpinasyon: Alt kolun kendi eksen etrafında döndürülerek avuç içinin yukarı döndürülmesi.

Pronasyon: Alt kolun aynı eksen etrafında döndürülerek avuç içinin aşağı bakacak şekilde çevrilmesi.

Baş Hareketleri

Başın sağa ve sola (rotasyon) açısı ortalama 55°'dir. Başın sağa ve sola dönüşü, boyun omurlarının işlemleri ve boyundaki kas ve bağ dokularının esnekliğine bağlıdır.

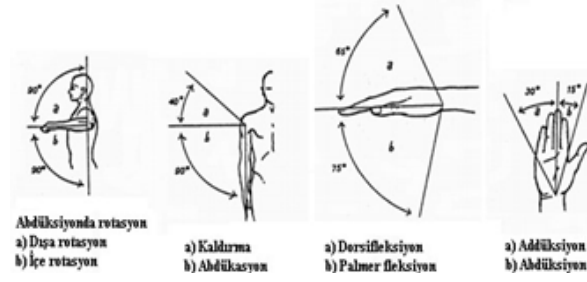


Şekil 9. Başın boyun ekleminde hareketliliği

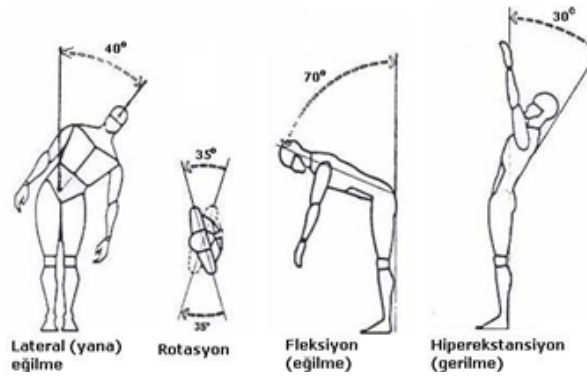
Ergonomik açıdan gözlerin yuvalarındaki dönme açıları da dikkate alındığında daha geniş bir görüş açısı kazanılabilir. Başın geriye bükülme açısı 50° , öne bükülme açısı 40° dir.

Gövde ve Üst Etraf Hareketleri

Üst etraf hareketlerinin büyük bölümünde gövde hareket sınırlarının kullanım ile çalışma söz konusudur. Gövdenin sağa ve sola dönüş hareketleri 40° dir.



Şekil 10. Üst taraf eklemleri hareket boyutları



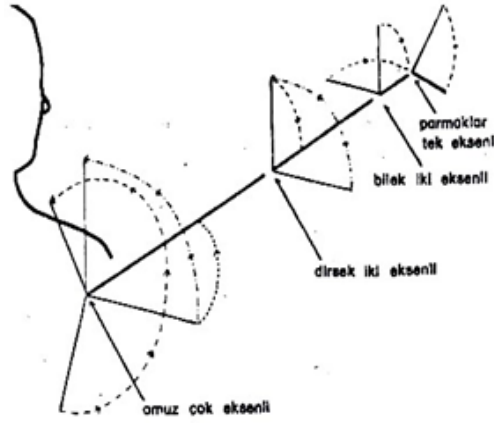
Şekil 11. Gövde ve üst etraf hareketleri

Dik duran bir insanın, gövdesini bu açısal değerler içinde hareket ettirmesi, ardından üst etraf hareketlerini gerçekleştirmesi mümkündür. Ancak, bu tür gövde döndürme hareketleri statik bir şekilde uzun süreli olmamalıdır. Gövdenin öne ve geriye bükülmesi konusunda da aynı sakınca geçerlidir. Özellikle, gövdenin öne bükülü duruşunda, sağa ve sola döndürme hareketleri ve kuvvet gerektiren kas zorlanmaları yapmak sakıncalıdır. Omuz eklemi hareketine dirsek ve el bileği hareketleri de katıldığı taktirde, gövde etrafında geniş bir erişme alanı oluşur.

Dik duran bir insanın, gövdesini bu açısal değerler içinde hareket ettirmesi, ardından üst etraf hareketlerini gerçekleştirmesi mümkündür. Ancak, bu tür gövde döndürme hareketleri statik bir şekilde uzun süreli olmamalıdır. Gövdenin öne ve geriye bükülmesi konusunda da aynı sakınca geçerlidir. Özellikle, gövdenin öne bükülü duruşunda, sağa ve sola döndürme hareketleri ve kuvvet gerektiren kas zorlanmaları yapmak sakıncalıdır. Omuz eklemi hareketine dirsek ve el bileği hareketleri de katıldığı taktirde, gövde etrafında geniş bir erişme alanı oluşur.

Omuz Hareketleri

Omuz eklemi hareketlerine dirsek ve el bileği hareketleri de katıldığında, gövde etrafında geniş bir erişme alanı oluşur. Normalde kolların duruşu omuzdan sarkık ve avuç içi gövdeye dönük bir duruştur. Oturan bir insanın rahat çalışma pozisyonu ise kolun dirsekten 90° bükülü, alttan desteklenmiş ve parmakların hafifçe bükülü ve avuç içlerinin de birbirine dönük bulunduğu bir duruştur.

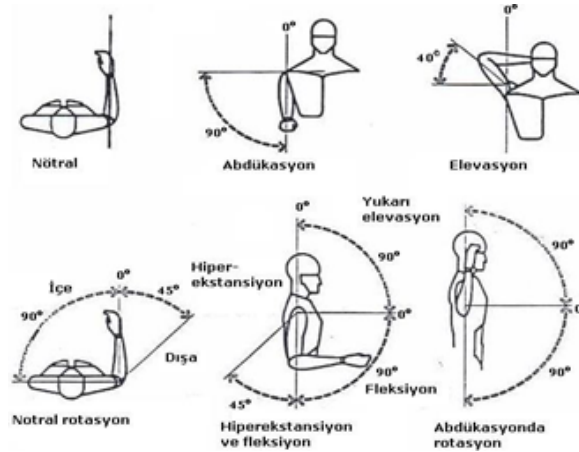


Şekil 12. Omuz – parmak hareketi

Alt Etraf Hareketleri

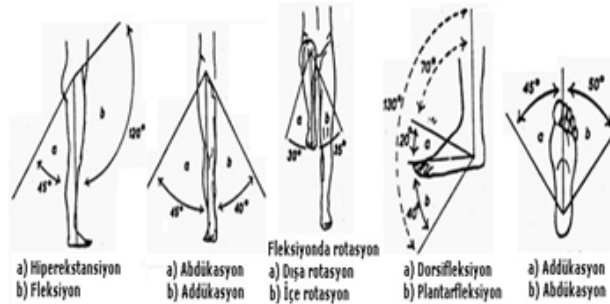
Ayakta dururken dizlerin normal duruşu, vücut ağırlığını taşıyan kemiklerin düşey doğrultuda tutulabilmesi için tam gergin bir duruştur. Oysa otururken ve sırtüstü yatarken dizlerin en rahat pozisyonu 70° - 130° açılar içinde fleksiyon halindeki duruşudur.

Bacağın, kalça ekleminde fleksiyon hareketi 120° civarındadır. Ancak, çoğu insan bu hareketi diz bükülü iken gerçekleştirebilir. Kalçadan gerçekleştirilebilen hiperekstansiyon ise 45° civarındadır. Ayakta duran bir insanın bir kontrol pedalı üzerine uygulayabileceği kuvvet kişinin ağırlığı ile ilişkili olduğu gibi, ayak pedallarının yerleştirilme alanı da sınırlıdır.



Şekil 13. Omuz hareketleri

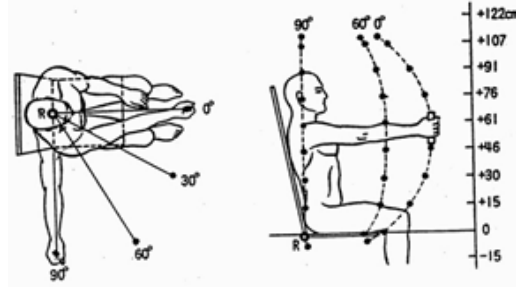
Oturan bir operatörün sırt bölgesine uygun bir destek sağlandığında, dizin ve kalça açılarının farklı değerlerinde oldukça önemli kuvvet uygulanabilir. Otururken dizin 1650° lik bir açıda ayak pedalına uygulayacağı kuvvet maksimum olup, 350 kg 'dır. Diz açısı değiştiğinde bu kuvvet azalır. Ergonomik açıdan kuvvet uygulamanın yanında, kuvvetin uygulanabilme süreleri de önemlidir.



Şekil 14. Alt taraf eklemleri hareket boyutları

Maksimum Kavrama Kuvveti

İnsanların üst etraf boyutları ve eklemlerinin işlerliği ile orantılı olan maksimum kavrama noktaları, ergonomik yaklaşım için bir örnek oluşturur ve endüstriyel uygulama açısından da önemli tasarım boyutlarını ortaya koyar.



Şekil 15. Kavrama noktaları

YÜK KALDIRMA VE TAŞIMA

İş yerlerinde çalışanlar, çalışma/ iş yapma esnasında birçok kuvvet uygularlar. Bu kuvvetleri yük kaldırma ya da taşıma esnasında ortaya koyarlar. Ancak bu kuvvetleri uygularken yani yük kaldırma veya taşıma işlemi yaparken doğru bir şekilde kuvvet uygulamadıkları için birçok sağlık problemleri ile karşılaşır. İşte tam da bu noktada işe ergonomi dahil oluyor. Ergonomi, yük kaldırma ve taşıma esnasında nelere dikkat etmemizi, nasıl kuvvet uygulamamız gerektiğini bizlere bildirerek o işi en az kuvvet harcayarak bitirmemizi sağlıyor.

Yük Kaldırma

Kaldırma, bir nesneyi manuel olarak iki elle kavrayarak hareket ettirmeye denir ve bu hareket mekanik yardım olmaksızın dikey yönde hareket ettirmektir. Kas sisteminin ve iskelet rahatsızlıklarının çoğunluğu kaldırma, indirme ve taşımadan dolayı oluşur. Bu sorunlar kadınların %75'ini, erkeklerin ise %99'unu kapsar. İşte bu tür sorunları en aza indirmek için ergonomi devreye girer. Gövdenin pozisyonu ve çeşitli anatomik bölgelerin bu hareketlerden etkilenmesi kaldırılan yükün ağırlığına, yükün kaldırıldığı yüksekliğe ve tutuş pozisyonlarına bağlıdır. Yerde bulunan bir yükü kaldırmak için ilk yapılan hareketler, gövde gerici kaslarının tam olarak gevşetilmesi ve böylece gövdenin öne bükülmesi ile başlar. Yük kaldırılırken, omurgayı dikleştirilen kaslar kuvvetle kasılarak gövdenin tam dikleştiği noktaya kadar giderek azalan kas eforu ile çalışırlar.



Şekil 16. Yük kaldırmada doğru hareketler

Gövdenin öne eğilme hareketlerini karın kasları başlatır. Ancak, oturan ya da ayakta duran bir insanın öne eğilmesi, hafif bir pozisyon değişikliği ile ve pek sınırlı ölçülerde kas çalışması sonrası başlar ve yer çekimi etkisi ile devam eder. Gövde denge durumundan öne eğilmeye geçer geçmez, esas yük gövde gerisindeki kaslara biner.

Belli yükleri yüksek bir yerden alarak yere indirmek ya da önemsiz ölçülerdeki yükleri yerden kaldırmak, sırt ve bel kasları ile omurgaya aşırı yük getirmemekle birlikte, biyomekanik açıdan sakıncalıdır. Yükün artması halinde bel ve kalça leğeni arasındaki eklemi ve bel omurları arasındaki fibroelastik kıkırdak dokularını zedeleyebilir. Ani ve şiddetli zorlanmalarda bel omurları arasındaki kıkırdak diskleri kayabilmekte, bazen bu kıkırdak doku içindeki destek sıvı keseciği dışarı fırlamaya zorlanabilmektedir.

Gövdesini öne bükerek 40 kg ağırlığındaki bir yükü yerden kaldıran normal bir insanın omurları arasındaki fibro-elastik kıkırdak dokusu üzerine 450 kg yük binebilmektedir. Bu durum, uzun dönemde disk kayması, disk fıtığı gibi sakıncalı sakatlıklara neden olabilir. Bu nedenle, ergonomik açıdan uygun kaldırma teknikleri geliştirilmiştir. Yük kaldırmada, fonksiyonel anatomi açısından zayıf olan bel kasları yerine, daha kuvvetli ve biyomekanik açıdan daha avantajlı olan bacak kasları kullanılmalıdır. Gövdenin olabildiğince dik kalmasına sağlayıp, dizleri bükerek yükleri yaklaştırmak ve bacakların gücü ile yükü kaldırmak endüstride temel prensiptir. L3-L4 omurları arasındaki diske gelen kuvvetin konuma ve yüke bağlı olarak alabileceği değerler Tablo 1’de verilmiştir. İnsanların kemiklerinden oluşan iskeleti, bütün insan varlığının üzerinde veya içinde yerleştiği ve taşındığı bir destek doku oluşturur. İskelet, kollar, bacaklar ve gövde omurlarından oluşmuş eklemler etrafında hareket eder. Bütün hareketli kısımlar çeşitli kaldıraç yasalarına göre görev yaparlar.

Tablo 1. L3-L4 omurlarına konuma göre etkiyen kuvvetler

Konum	Yük (N)
Dik durma	860
Yavaş yürüme	920
Gövde yan tarafa 200 eğik	1140
Gövde 450 dönmüş	1140
Gövde 300 öne eğik	1470
Gövde 300 öne eğik, 20 kg yük	2400
Her elde 10 kg ile dik durma	1220
Kırılmış diz ve dik sırt ile 20 kg yük kaldırma	2100
Diz kırılmamış, öne eğilmiş sırt ile 20 kg yük kaldırma	3270

Eklem noktalarından birbirine bağlı olan kemiklerin bütün hareketleri için gerekli kuvvet iskelet kaslarından sağlanır. Kasların dengeli bir şekilde uzaması ya da kısılması ile insan vücudu bütün biyomekanik yeteneklerini ortaya koyar. Kemikler ve kasları birbirine bağlayan kuvvetli bağ dokuları, kaslar, bütün bu kasları uyaran sinirler, kasların beslenmesini sağlayan kan damarları ve bütün bu temel dokuları örten bir deri çok mükemmel yapısal özellikler gösterirler. İnsan vücudundaki kaldıraç sistemlerinin verimi ya da zayıf noktaları basit mekanik kurallarla kolayca belirlenebilir. Kol ve bacakların eklemlerinde kas gücü ile gerçekleştirilen hareketler akıcı bir şekilde ve kolayca oluştuğu halde, kuvvet kolu ve yük kolu ilişkilerine göre mekanik özellikleri zayıf olan bel bölgesindeki omurlar arasındaki kaldıraç hareketleri önemli sorunlar çıkarabilmektedir.

Yük Kaldırma ve Taşımada Sınır Değerler

REFA'nın da önerdiği, kadınlar ve erkekler için yaşları da dikkate alınarak kaldırmaları veya taşımalarına izin verilen maksimum yük değerleri Hettinger tarafından Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Sirtın dik konumunda ve maksimum kuvvet uygulayarak kaldırma ve taşımada sınır değerler

Taşıma şekli	Cinsiyet	Yaş	Yükün kütlesi (kg)		
			Nadir	Tekrarlayan	Çok sık
Kaldırma	Erkek	16 – 19	35	25	20
		19 – 45	55	30	25
		> 45	50	25	20
	Kadın	16 – 19	13	9	8
		19 – 45	15	10	9
		> 45	13	9	8
Yatay taşıma	Erkek	16 – 19	30	20	15
		19 – 45	50	30	20
		> 45	40	25	15
	Kadın	16 – 19	13	9	8
		19 – 45	15	10	10
		> 45	30	9	8

Yük kaldırma, tutma ve taşıma insanı çok çabuk yorar, zorlar ve sağlık sorunlarına yol açar. İşçinin cinsiyeti, yaşı, kaldırılacak yükün geometrisi, kişinin hareket serbestliği, yükü tutmaya yarayan tutamakların varlığı ve şekli yük kaldırma sınır değerleri belirleyen faktörlerdir. Yükün bedene yakın, orta veya çok uzak olması da yük sınırını etkilemektedir.

ANTROPOMETRİ KAVRAMI

Antropometri, insan vücudunun boyutları ile ilgilenen özel bir bilim dalıdır. Ayrıca antropometri, istenilen kalite ve hızda, düşük maliyetle, işçinin normal performans şeklini aşmayacak şekilde ve iş güvenliğini sağlayarak iş yeri düzenleyerek işbiliminin insanca çalışma ve ekonomiklik hedeflerine ulaşmasıdır. Yunanca anthropo (insan) ve metrikos(ölçme) sözcüklerinden türetilmiştir. Antropometri bilimi, bireyler veya gruplar arasında, anatomi, coğrafi bölge ve meslek grupları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan farklılıkları ve benzerlikleri saptayarak daha geniş bir insan kitlesine uygun tasarımlar yapma imkânı sağlar. Bu tasarımlar için belirlediği vücut ölçüleri arasında, vücut hareketsiz ve belirli bir standart pozisyondayken alınan yapısal vücut ölçüleri ve vücut hareket halindeyken alınan fonksiyonel vücut ölçüleri bulunur.

Antropometrinin Uygulama Alanları

Antropometrinin belli başlı özellikleri;

- İnsan vücudunun tümünün ve iş açısından baş, el, kol, ayak, bacak gibi önemli organlarının boyutları
- Vücudun doğal konumu
- Eklemlerin hareket alanı, eklemlerle birbirine bağlı elemanların boyutları ve buradan elde edilen ulaşım mesafeleri

• Ulaşılabilen hacim içerisinde uygulanabilen kuvvetler

Antropometrinin belli başlı uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır;

- Anatomik-optik, bakış ve görüş alanlarının sınır şartlarını ve gözün rahat bakış eksenini de dikkate alarak hacimsel olarak görülebilecek bölgenin belirlenmesi
- İnsan topluluklarının fiziksel yapı itibarıyla göstermiş olduğu benzerlik ve farklılıkların araştırılması
- İnsan tarafından kullanılan her türlü araç-gereç ve mekânların o toplumun yapısına uygun biçimde düzenlenmesi için topluma özgü fiziksel standart ve normların oluşturulması
- Gerek bireysel düzeyde, gerek toplumsal düzeyde genel sağlık durumunun belirlenmesi amacıyla uygun antropometrik standart ve normların oluşturulması
- Çocukların vücut yapılarına göre başarılı olabilecekleri spor dallarına yönlendirilmesi ve yetişkin sporcuların performanslarının ölçülmesi.
- İnsanın evrim sürecinde geçirdiği fiziksel değişimlerin anlaşılması ve pratik uygulamalara (adli tıp, adli antropoloji vb.) yönelik laboratuvar çalışmaları.

Antropometrik Veriler

- Uzunluk
- Genişlik
- Yükseklik ağırlık
- Çevre boyutları

Antropometrik Açıdan Farklılıklar

- Bireyler arasındaki farklılıklar
- Ruhsal ve bedensel farklılıklar
- Beslenme ve fiziksel etkinlik farkları
- Meslek farkları
- Sakat-sağlam farklılıkları
- Milliyetler arası farklılıklar

Antropometrik Veri Türleri

Ergonomik amaçlarla antropometri veri türlerinde yapısal, fonksiyonel ve Newton ile ilgili antropometrik veriler olarak bilinen üç farklı metot geliştirilmiştir.

1. Yapısal antropometrik veriler: Vücudun hareketsiz halindeki alınan standart ölçülerdir. Mesela, eklemlerin yerden yüksekliği veya diz arkasının yerden yüksekliği gibi.

2. Fonksiyonel antropometrik veriler: Vücut hareket halinde iken alınan ölçülerdir. İnsanın fiziksel işle meşgul olduğu esnasında alınan ölçüdür. Mesela elin hareketleriyle taranabilen alan "iş alanı hacmi" gibi.

3. Newton ile ilgili antropometrik veriler: İnsan vücudu üzerindeki yüklemelerin mekanik analizine ait verileri içerir.

Antropometrik Ölçüm Türleri

Ergonomik amaçlarla antropometri ölçüm türlerinde statik ve fonksiyonel ve dinamik antropometrik ölçüler olarak bilinen iki farklı metot geliştirilmiştir.

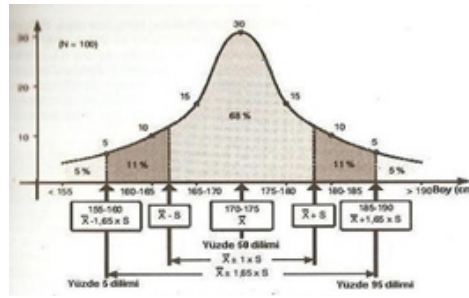
1. Statik ölçüm türleri: İnsan vücudunun boyutlarına ait pasif ölçümlerdir. Bu ölçümler iş ortalamalarının boyut ve alan gereksinimlerine ilişkin bilgileri kapsar.

2. Dinamik ölçüm türleri: İnsan vücudunun dayanım, mukavemet gibi dinamik özelliklerine ilişkin ölçümlerdir. Farklı eklemlerin hareket aralıklarını, bacakların itme kuvveti, parmakların mukavemeti gibi konuları inceler.

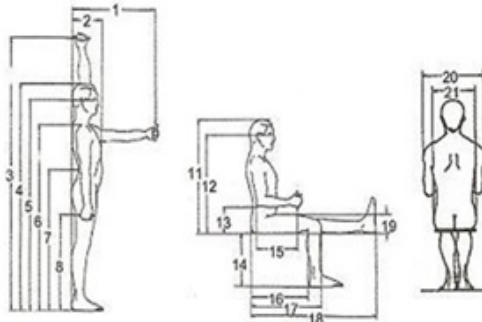
Tasarımcıların Dikkat Etmesi Gereken Üç Altın Kural

- Kim için tasarım yapılacak?
- Tasarımda hangi vücut ölçümleri kullanılacak?
- Ortalama veya uç değerler için mi tasarım yapılacak?
- 5. , 50. ve 95. yüzdelerle hangisiyle çalışılacağı kararı neyin için tasarlandığına bağlıdır.
- Uç değerlere göre tasarımda; hacimle ilgili tasarımlarda %95'lik dağılım değerleri, erişimle ilgili tasarımda ise %5'lik dağılım değerleri ele alınır.
- Minimum Ölçüler: Uygun antropometrik ölçünün yüksek yüzdelik oranı seçilir. (%95 veya %99), kapının boyu toplumdaki en uzun bireye göre seçilir.
- Maksimum Ölçüler: Uygun antropometrik ölçünün düşük yüzdelik oranı seçilir. (%1 veya %5), kapı kolunun maksimum oranı toplumdaki en kısa bireye göre belirlenir.
- İnsanların boyları normal dağılıma (Gauss dağılımı) uyar. Normal dağılımda ortalama (X) yanında standart sapma (S) değerinin de bilinmesi gerekir. Normal dağılım eğrisinde X-S ve X+S değerleri arasında toplam ölçümlerin %68'i yer alır. Benzer şekilde, X-1,65S ve X+1,65S arası bölge tüm ölçüm değerlerinin %90'ını içerir ve sadece %5 en küçükler ile %5 en büyükler bu alanın dışında kalır. Şekil 17'de normal dağılım eğrisi gösterilmiştir.

• İnsanların boyları normal dağılıma (Gauss dağılımı) uyar. Normal dağılımda ortalama (X) yanında standart sapma (S) değerinin de bilinmesi gerekir. Normal dağılım eğrisinde X-S ve X+S değerleri arasında toplam ölçümlerin %68'i yer alır. Benzer şekilde, X-1,65S ve X+1,65S arası bölge tüm ölçüm değerlerinin %90'ını içerir ve sadece %5 en küçükler ile %5 en büyükler bu alanın dışında kalır. Şekil 17'de normal dağılım eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 17. Normal dağılım eğrisi



Şekil 18. Vücut ölçüleri

Boyut	Yüzdelerine göre boyutlar (mm)					
	Erkek			Kadın		
	% 5	% 50	% 95	% 5	% 50	% 95
1. Önde tutuş	662	722	787	616	690	762
2. Gövde derinliği	233	278	318	238	285	357
3. Yukarıda tutuş	1910	2051	2210	1748	1870	2000
4. Boy	1629	1733	1841	1510	1619	1725
5. Göz yüksekliği	1509	1613	1721	1402	1502	1596
6. Omuz yüksekliği	1349	1445	1542	1234	1339	1436
7. Dirsek yüksekliği	1021	1096	1179	957	1030	1100
8. El tutuş yüksekliği	728	767	828	664	738	803
9. Kalça genişliği	310	344	368	314	358	405
10. Sandalye üstü boy	849	907	962	805	857	914
11. Otururken göz yüksekliği	739	790	844	680	735	785
12. Otururken omuz yüksekliği	561	610	655	538	585	631
13. Otururken dirsek yüksekliği	193	230	280	191	233	278
14. Diz yüksekliği	493	535	574	462	500	542
15. Diz altı yüksekliği	399	442	480	351	395	434
16. Dirsek-avuç arası	327	362	389	292	322	364
17. Oturmada gövde derinliği	452	500	552	426	484	532
18. Kalça genişliği - diz arası	554	599	645	530	587	631
19. Kalça genişliği - bacak arası	864	1035	1125	955	1044	1126
20. Baldır yüksekliği	117	136	157	118	144	173
21. Dirsekler arası mesafe	389	451	512	370	456	544
22. Oturmada kalça genişliği	325	362	391	340	397	451

Şekil 19. Orta Avrupalılarda vücut ölçüleri

Antropometrik Çalışma Ortamı İlkeleri

Çalışma alanı iş görenlerin işini yaptıkları alan veya bölgedir. Bu alanda makinalar, göstergeler, masa ve sandalye veya bilgisayar bulunabilir. İyi planlanmış çalışma alanı kötü koşulların oluşturduğu olumsuzlukları önler. Çalışma alanı iş gören ile birlikte işin gerektirdiği koşullara göre etkin bir şekilde tasarlanmalıdır. Uygun biçimde tasarlanmayan alanlarda önemli sağlık sorunları ile karşılaşılır. Çalışma ortamında oluşan sağlık sorunlarının muhtemel sebepleri şunlardır:

- Kötü tasarlanmış sandalye
- Uzun süre ayakta durma
- Uzak bölümlere uzanma
- Yetersiz aydınlatma nedeniyle işçinin işine yakın durması

Bir çalışma ortamı düzenlenirken vücut ölçülerinin bilinmesi çok önemli olup, bu konuda uyulması gereken ilkeler aşağıda verilmiştir:

Baş yüksekliği: En uzun boylu işçinin çalışabilmesi için gerekli alan hazırlanmalıdır. İş görenler aşağıya doğru daha rahat bakabildikleri için görüntü ekranları ve göstergeler göz seviyesinin altına yerleştirilmelidir.

Omuz yüksekliği: Kontrol panelleri insanın beli ile omuz arasına yerleştirilmeli, sık kullanılan malzemelerin omuz seviyesinin üstünde olmamasına dikkat edilmelidir.

Kol uzanma mesafesi: Malzemeler en kısa kolun yetişebileceği uzaklıkta olmalı ve malzemelere uzanırken eğilme veya bükülme yapılmamalıdır. Uzun boylular malzemelere ulaşırken aşağıya doğru eğilmemelidir. Malzemeler vücudun ön kısmına yakın olmalıdır.

Dirsek yüksekliği: Çalışma yüzeyi yüksekliği yapılan işin niteliğine göre ayarlanarak masanın altında veya üstünde olmalıdır.

El yüksekliği: Kaldırılan malzemelerin el ve omuz yüksekliği arasında olduğuna dikkat edilmelidir.

Ayak uzunluğu: Sandalye yüksekliği ve çalışma yüzeyi yüksekliği (masa veya tezgâh) bacak uzunluğuna göre ayarlanmalıdır. Özellikle uzun ayaklılar için rahat hareket edebileceği ve uzanacağı yeterli alan bırakılmalıdır. Ayarlanabilir ayak koyma (istirahat) sayesinde ayaklar sarkmaktan kurtulacak ve vücudun pozisyonu kolay değişebilecektir.

El büyüklüğü: Kullanılan araç – gereçler ele tam olarak oturmalıdır. Büyük eller için büyük, küçük eller için küçük malzemeler seçilmelidir. Büyük eller için yeterli hareket alanı sağlanmalıdır.

Vücut ölçüleri: Geniş vücutlu işçiler için çalışma alanı yeterli büyüklükte olmalıdır.

Oturarak Çalışma

Eğer bir iş yapılırken yeterli çalışma alanı yok ise ve fazla fiziksel aktivite gerekmiyorsa o iş oturarak gerçekleştirilebilir. Bütün gün oturarak çalışmak vücut ve özellikle sırt için iyi değildir. Bu nedenle çalışanlar bazen görev değişikliği yaparak ayakta çalışma imkânına sahip olmalıdırlar. Oturarak çalışma için iyi seçilmiş bir sandalye şarttır. Sandalye işçinin bacak ve genel pozisyonunu kolayca değiştirebileceği özellikte olmalıdır. Oturarak çalışma sırasında uyulması gerekli antropometrik kurallar şunlardır:

- İşçi tüm alanlara rahatlıkla ulaşabilmeli ve bu sırada vücudu eğilip bükülmemelidir.
- İyi oturma pozisyonu işçinin önündeki yerin, yanındaki çalışma alanına karşı dik olmasıdır.
- Çalışma masası ve sandalye iyi dizayn edilmeli ve çalışma düzeyi ile dirsek aynı düzlem içinde (aynı yükseklikte) olmalıdır.
- Sırt dik ve omuzlar rahat olmalıdır.
- Mümkünse, dirsekler, eller ve kollar için ayarlanabilir destekler kullanılmalıdır.

Ergonomik gereksinimler için uygun sandalye seçimi gereklidir. Bu amaçla aşağıdaki ergonomik özellikler izlenmelidir; Sandalye, çalışma masası ve çalışma tezgâhı yüksekliğine ve işin performansına uygun olmalıdır. İdeal olarak, oturma yeri ile sırt desteği ayarlanabilmelidir. Ek olarak sırt desteği tilt hareketi yapabilmelidir.

- Sandalye, işçinin ileri ve geri hareketini kolayca sağlamalıdır.
- İşçinin masa altında ayaklarını uzatabileceği ve vücut hareketini kolayca değiştirebileceği alan olmalıdır.
- Ayaklar rahatça yere basmalıdır. Bu mümkün değilse ayak desteği kullanılmalıdır. Ancak ayak desteği diz ve bacak kaslarına uygulanan basıncı elimine etmelidir.
- Sandalye, vücudun alt sırt kısmını destekleyen sırt desteğine sahip olmalıdır.
- Sandalye, rahatça dönmelidir.
- Sandalyedeki ayak sayısı dengeyi sağlamak amacıyla beş adet olmalıdır.
- Mümkünse kol destekleri çıkarılabilir olmalıdır. Çünkü bazı işlerde kol desteği rahatsızlık verebilir. Bazı durumlarda kol destekleri işçinin çalışma tablasına yeteri kadar yaklaşmasını engeller.
- Sandalyenin oturma alanı hava alıp verebilen bir kumaş ile kaplanmalıdır.

İşyerlerindeki birçok sağlık ve güvenlik problemleri yetersiz ergonomik koşullarından kaynaklanır. Ergonomi- nin yeteri düzeyde anlaşılması ile birlikte işçiler çalışma ortamlarının değiştirilmesine, işverenler ise, üretim ile ergonomik prensipleri arasında ilişkiyi görmeye başlayacaklardır.

Ayakta Çalışma

Eğer mümkünse ayakta uzun süre çalışılmamalıdır. Aksi halde, sırt ağrısı, ayaklarda şişmeler, kan dolaşım sistemlerinde problemler ve kas yorgunlukları meydana gelir. Aşağıda ayakta çalışma sırasında uyulması gereken kurallar;

- Eğer bir iş mutlaka ayakta çalışmayı gerektiriyor ise, ek olarak belirli aralıklarla oturabilecekleri bir sandalye veya tabure sağlanmalıdır.
- İşçi kollarının uzanabileceği alanlar dışına çıkmamalı ve bu alan dışına ulaşmak için sırtı dönme, eğilme ve uzanma hareketleri yapmamalıdır.
- Çalışma masası veya tablası farklı yükseklikteki işlere göre ayarlanabilir olmalıdır.
- Eğer çalışma alanının ayarlanması mümkün değil ise uzun işçiler için çalışma tablası destekle yükseltmeli, kısa boylu işçiler için bir platform kullanılmalıdır.
- Acı ve ağrı hislerini engelleyecek ve işçinin pozisyon değiştirebilmesine olanak sağlayacak ayak dinlenme destekleri kullanılmalıdır. Ayak yüksekliğinin zaman zaman değişmesi sırt ve bacaklardaki acı ve ağrıları önler.
- İşçiler sert olmayan bir malzeme üzerinde çalışmalı, beton veya metal yüzeyler şokları absorbe edici malzeme ile kaplanmalı, yerler temiz, düz ve kaymaz olmalıdır.
- Ayakta iş yapan işçiler alçak topuklu ve tabanı destekli iş ayakkabısı giymelidir.
- İşçiler pozisyonlarını değiştirebilmeleri işçinin yeterli diz hareketi yapabilmeli ve bu iş için gerekli alan bulunmalıdır.
- İşçiler işine uzanmamalı ve vücudunun önünde 200 – 300 mm' lik bir uzaklıkta çalışmalıdırlar. En küçük kalp hızı ve enerji tüketimi için en uygun depolamanın yerden yüksekliği 70 – 130 cm'dir (ayakta el parmak ucu – göz mesafesi).

Çalışma masası yüksekliği uygun yüksekliğe çıkarıldıktan sonra; işçinin dirsek yüksekliği, yapılan işin tipi, üretilen malzemenin boyutları, kullanılan araç – gereç vb. önemli faktörler göz ardı edilmemelidir. Ayakta çalışırken unutulmaması gerekli koşullar ise şunlardır;

- Yüz işe dönük olmalı,
- Vücut işe yakın olmalı,
- Eğer bir tarafa dönülecek ise bel ve omuz bükülerek değil, ayaklar üzerinde dönülerek sağlanmalı.

Ağır Fiziksel Çalışma

Manuel çalışmalar, işçilerde bel ağrısı ve kas ağrılarına neden olmayacak şekilde düzenlenmelidir. Uzun süreli ağır fiziksel çalışma işçilerin nefes alma hızı ile kalp atışlarını artırır. Eğer işçiler yeterli fiziksel koşullara sahip değilse, çabuk yorulacaktır. Eğer mümkün ise ağır işler için yardımcı araç gereç kullanılmalıdır. Mekanik güç işçilerin maruz kaldığı riski azaltacak ve verimini arttıracaktır. Ağır işleri organize ederken aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir:

- Ağır iş işçinin fiziksel kapasitesini aşmamalıdır.
- Ağır işler gün içine yayılmalı ve arada hafif işler yapılmalıdır.
- Günlük çalışma içinde istirahat periyotları bulunmalıdır.
- Ağır fiziksel işlerin düzenlenebilmesi için aşağıdaki faktörlerin bilinmesi gereklidir:
 - Yükün şekli ve ağırlığı
 - İşçinin yükü ne sıklıkta taşıdığı
 - Taşınma şekli ve uzaklığı
 - Yükü taşımak için gerekli zaman.

Özellikle elle taşımanın olduğu işlerde yapılması gerekli iyileştirmeler şöyle sıralanabilir:
Yükün ağırlığı azaltılmalıdır. Bunun için;

- Yükün ağırlığı azaltılır.
- Bir seferde taşınacak yük miktarı(sayısı) düşürülür.
- Fazla yükler için birden fazla kişi devreye sokulur.

Daha kolay taşıma sağlanmalıdır. Bunun için;

- Yükün ağırlık merkezi işçiye yakın olacak şekilde planlanmalıdır.
- Vücudun eğilmesini engellemek için depolama yapılan yer bel hizasında veya daha yukarıda olmalıdır.
- Yük, bel yüksekliğine kadar mekanik kaldıraçlarla taşınmalıdır.
- Yükü taşımak için birden fazla kişi gerekebilir.
- Daha rahat taşıma için yük yuvarlanan malzemeler üzerinden kaydırılmalıdır.
- Yükü transfer etmek için kemer, kayış ve el tutamakları kullanılmalıdır.

Depolama teknikleri geliştirilmelidir. Bunun için;

- Uygun yükseklikte raflar, paletli şantlar ve destekler kullanılmalıdır.
- Paletlerde yük taşırken, yaymak amacıyla yük paletin ortasına yerleştirilmelidir.

Taşıma mesafesini en aza indirilmelidir. Bunun için;

- Çalışma alanını yeniden düzenlenmelidir.
- Üretim ve depolama alanı yeniden planlanmalıdır.

Taşınması gerekli yük sayısı azaltılmalıdır. Bunun için;

- Yük taşıma için daha fazla kişi görevlendirilmelidir.
- Mekanik sistemlerden yararlanılmalıdır.
- Depo ve çalışma alanı yeniden gözden geçirilmelidir.

Taşıma sırasında vücudun dönmesi engellenmelidir. Bunun için;

- Yük daima vücudun önünde bulunmalıdır.
- Tüm vücutla birlikte dönmek için yeterli alan sağlanmalıdır.
- Vücut eksenini üzerinde değil ayak hareketi ile dönme yapılmalıdır.

El Aletleri ve Kontrol Düzenleri

El aletleri ergonomik ihtiyaçlara göre tasarlanmalıdır. İşçiye uygun şekilde tasarlanarak üretilmemiş el aletleri genellikle olumsuz sağlık etkileri yaratacağı gibi işçinin üretkenliğini düşürür. Bu problemleri önlemenin ve üretkenliği arttırmanın yolu el aletlerinin işçiye ve işine uygun olmasıdır. İyi planlanmış el aletleri vücudun pozisyonunu ve hareketlerini bozmadığı gibi üretimi olumlu yönde etkiler. El aletleri seçiminde dikkat edilecek noktalar şöyle sıralanabilir:

- Kalitesiz el aleti kullanılmamalıdır.
- Parmak ve bilek gibi küçük kasları çalıştıran el aletleri yerine bacak, kol ve omuz kaslarını gibi uzun kasları çalıştıran el aletleri seçilmelidir.
- Ağır el aletlerinin sürekli olarak yukarıda tutulması engellenmelidir. Uygun tasarlanmış el aletleri bilekleri daima vücudun yanında tutmaya imkân verir ve böylece omuz ve kolların kazaya uğramasına engel olur, vücudun eğilmesini, dönmesini önler.

- Kaldırılması gereken malzemelerin tutacak yeri olmalıdır. Tutacaklar ellere daha fazla uyum sağlar. El ve parmaktaki eklemler üzerine ve avuç içine fazla basınç uygulanmasını önler.
- Cildin ve parmakların sıkışacağı boşlukların olduğu el aletleri kullanılmamalıdır.
- Makas gibi çift tutacağı olan aletleri seçilmeli. Bu aletlerin arası açık olduğu için el sıkışması görülmez.
- El aletlerinin tutamaklar kolayca kavranmalı, elektriğe karşı izolasyonlu olmalı, keskin kenar ve uçları bulunmamalı ve kaymaya karşı yumuşak plastik ile kaplı olmalıdır.
- Çıkıntı şeklindeki tutamaklar ellere fazla basınç uyguladığı için seçilmemelidir.
- Kullanılırken eğilme ve dönme hareketi gerektirmeyen el aletleri satın alınmalıdır.
- Ağırlık dengesi uygun aletler seçilmelidir.
- El aletlerinin uygun bakımının yapıldığından emin olunmalıdır.
- El aletleri sağ ve sol elini kullanan kişiler için fark etmemelidir.

Kontrol anahtarları, kolları ve şalterler işçiye ve işin gerektirdiği yapıya uygun olarak düzenlenmelidir. Kontrol düzenlerine ilişkin bazı öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Kontrol anahtarları, kontrol kolları ve şalterler makina operatörünün oturduğu veya ayakta durduğu yerden rahatlıkla uzanabileceği yerde bulunmalıdır. Özellikle sık tekrarlana işler için bu özellikler çok önemlidir.
- İşe uygun olarak yapılmış kontrol düzenlerini seçilmelidir. Örneğin, yüksek hızları hassas kontrol etmede el kontrol düzeni, kuvvet gerektiren kontrollerde ayak pedalları tercih edilmelidir. Bir operatöre bir pedaldan fazla kontrol verilmemelidir.
- İki el ile kumanda edilen kontrol düzenleri seçilmeli veya eski kontrol düzenleri iki elle kontrol edilir hale dönüştürülmelidir.
- Acil kontrol düğmeleri ile normal kontrol düğmeleri arasında belirgin bir fark olmalıdır. Ek olarak acil düğmelerin rengi farklı seçilmeli, fiziksel olarak ayrılmalı, uyarı işareti ile belirtilmeli veya üstü kapalı olmalıdır.
- Kontrol düzenleri kazalara neden olmamalıdır. Kontrol düzenleri arasında yeterli aralık bulunmalı ve belli bir güç uygulanmakla devreye girmeli ve koruyucusu bulunmalıdır.
- Kontrol düzenlerinin kullanımı basit bir süreç izlemeli ve her ülkede aynı izlenimi uyandırmalıdır.

SONUÇ

Sonuç olarak ergonomi günlük hayatımıza ilave etmemiz ve kullanarak yaralanmamız gereken bir konudur. Böylelikle en az efor ve en az zarar ile gündelik işlerimizi rahatlıkla yapabiliriz. Bu gündelik işlerin yanı sıra çalışma ortamlarında da ergonomiyi kullanabiliriz. Ergonomi çalışma ortamımızı, çalışma şeklimizi ve çalışmada yaptığımız hareketleri düzenleyerek işi daha verimli, daha güvenli yapmamızı sağlar. Yani ergonomiyi doğru uyguladığımız takdirde hayatımızın neresinde olursa olsun bizim için en yararlı formu oluşturacaktır. Bu yüzden ergonomiyi hayatımıza bütünleştirmeye özen gösterelim.

KAYNAKÇA

- Necmettin ERKAN, Ergonomi, Ankara, 1988,ss.17-18
- Çarıkçı, İ. H. Çalışanlarda İş Tatminini Etkileyen Kişisel Özellikler ve Örgütsel Sonuçları – Süpermarket Çalışanları Üzerinde Bir Araştırma – , MPM Verimlilik Dergisi, 4 (2001) 161 – 178.
- Öncer, M. İşyeri Ortamında Çalışanların Performansını Etkileyen Fiziksel Çevre Koşulları, Verimlilik Dergisi, 3 (2000) 133-152.
- Aksoy, S. Ergonomik İş Düzenleme, 2. Ulusal Ergonomi Kongresi, MPM yayın no. 379, Ankara, 1989.
- Elbistanlıoğlu, B. Meslek Hastalıklarının Nedenleri ve Önlemleri, Mühendis ve Makina, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, 348 (1989) 38 – 41.

- Akın, G. Güleç, E. Sağır, M. Koca Özer, B. Gültekin, T. ve Bektaş, Y. Ergonomide Antropometrinin Önemi ve Bir Antropometrik Çalışma Örneği, 15. Ulusal Ergonomi Kongresi, 20-24 Ekim 2009, Bildiriler Kitabı, 227-238
- Aydın, A. Akyüz, I. ve Üçüncü, K. Ofis Ortamlarında Organizasyonel Yapı ve Hatalı Yapıdan Kaynaklanan Çalışma Rahatsızlıkları (KTÜ Örneği),
- 14. Ulusal Ergonomi Kongresi, 31 Ekim – 1 Kasım 2008, Trabzon, Bildiriler Kitabı I, 130-136.
- Babalık, F. C. Mühendisler İçin Ergonomi İşbilim, Nobel Yayın No: 831, Ankara, 2005.
- Üçüncü, K, Akyüz, İ. ve Gedik, T. Bilgisayar Kullanıcılarının Ergonomik Çalışma Koşullarının İncelenmesi, 10. Ergonomi Kongresi (Uluslararası Katılımlı), Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2004.
- Üçüncü, K. ve Üçüncü, T. Dizüstü Bilgisayar Kullanımının Antropometrik Uyum Bakımından Değerlendirilmesi, 18. Ulusal Ergonomi Kongresi, 16-18 Kasım 2012, Gaziantep.
- Nihat KALDIRIMCI ve Asuman KARAHAN, “ Ergonomik Çalışmalarda Örgütsel Davranış Bilgisinin Rolü ve Önemi “, 1. Ulusal Ergonomi Kongresi, MPM Yayını, Ankara, 1988, ss. 262-263
- Akalp, G. İşgücü Verimliliği ve Motivasyonu Açısından Ergonomik İyileştirmelerin Önemi: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, 16. Ulusal Ergonomi Kongresi, 3-5 Aralık 2010, Çorum, Bildiriler Kitabı, 3415-421, 2013.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 25370, Ankara, 2004
- Üçüncü, K. Taşdemir, T. ve Aydın, A. Çalışma Ortamı ve Özelliklerinin Öğretim Üyeleri Tarafından Değerlendirilmesi, 15. Ulusal Ergonomi Kongresi, Bildiriler Kitabı, 20-24 Ekim 2009, Konya, 50-60.
- Akalp, G. Yeniman Yıldırım, E. ve Akboğa, Ö. Mekatronik Bir Ssitemin Tasarımında Ergonomi, 16. Ulusal Ergonomi Kongresi, 3-5 Aralık 2010, Çorum, Bildiriler Kitabı, 657-667, 2013.
- Cesur, N. İşgüvenliği ve Ergonomi, Mühendis ve Makina, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, 328 (1987), 38 – 40.
- Erkan, N. Ergonomi, Verimlilik, sağlık ve Güvenlik İçin İnsan Faktörü Mühendisliği, MPM Yayınları no: 373, Ankara, 1988.
- İlhan, N. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Mühendislik Hizmetlerinin Yeri ve Önemi, Mühendis ve Makina, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını, 496 (2001) 36 – 39.
- Klein, M. M. Yeniden Mühendislik ve Endüstri Mühendisliği, MPM Verimlilik Dergisi, 2 (1996) 47 – 54.
- Karayalçın, İ. İ. Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi, Cilt 1, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1986.
- Özok, A. F. ve Aytaç, S. Performans Açısından Bireysel Farklılıklar, 16. Ulusal Ergonomi Kongresi, 3-5 Aralık 2010, Çorum, Bildiriler Kitabı, 123-129, 2013.

Substitute Material of Cement: Glass Fiber Reinforced

¹ABDULGADER MOHAMED AHMED BERRANI

*¹ İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu

Geliş Tarihi : 10.02.2019
Kabul Tarihi : 02.04.2019

ÖZET

Şehirlerimizi oluşturan binaların cepheleri, binaları hava ve su gibi fiziksel etkileşimlerden korurken, aynı zamanda binaya prestij katmaktadır. Binaların iç tasarımı sadece kullanıcıları tarafından bilinmekle birlikte, cepheleri şehri kullanan herkes tarafından algılanmaktadır. Cephe tasarımları özellikle mimarlar için çok önemlidir. Mimarlar, binalarını farklı bina cephe tasarımları ile kentte farkedilebiliyor. Bu bağlamda, farklı renkler, desenler, dokular ve eğriler (tek, çift ve serbest) sağlayan cam elyaf takviyeli beton cepheler bu talepleri büyük ölçüde karşılayabilir. Birçok ünlü mimar veya tasarımcı tarafından tercih edilen paneller hizmet ömrü, darbe dayanımı, üretim kalitesi ve üretim hızı ile ön plana çıkıyor. Bu çalışmada, cam elyaf betonarme uygulama alanları, sağladığı biçimsel olasılıklar, avantajlar ve dezavantajlar incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Yedek Malzemesi, Cam Elyaf Takviyeli

ABSTRACT

The facades of the buildings that make up our cities protect the buildings from physical interactions such as air and water, while at the same time they add prestige to the building. While the interior design of the buildings is known only by their users, their facades are perceived by everyone who uses the city. Facade designs are very important especially for architects. Architects aim to make their buildings noticeable in the city with their different building facade designs. In this context, glass fiber reinforced concrete facades which provide different colors, patterns, textures and curvatures (single, double and free) can meet these demands to a great extent. The panels preferred by many famous architects or designers come to the forefront with its service life, impact resistance, production quality and production speed. In this study, the application areas of glass fiber reinforced concrete, the formal possibilities, advantages and disadvantages it provides will be examined.

Keywords: Substitute Material, Cement, Glass Fiber Reinforced

INTRODUCTION

Precast concrete means pre-fabricated concrete. Precast concrete is the building products obtained by pouring concrete components into the mold at the factory and assembling the produced products on the construction site [1]. Facade elements consisting of concrete or reinforced concrete layer and ready for construction area are named as concrete based precast facade panels. Insulating layer is added to these facade elements and thermally insulated facade panels are formed. These concrete panels protect the building from external influences as a shell on the outer wall of the buildings and provide both time and labor gains due to their installation after pre-production. Concrete-based precast facade panels are also called architectural precast concrete. The first use of these panels' dates back to the 1920s, and their more widespread use began in the 1950s. In recent years, product diversity has increased with the development of insulation and anchorage methods. This provides flexibility in the design of the technical staff (architect, interior designer, etc.) involved in the design process [2]. Many different designs and applications can be made with concrete based precast panels. The Heydar Aliyev Cultural Center in Baku (Figure 1), which is the design of Zaha Hadid, is one of the best examples of the original use of concrete panels.

Precast concrete panels can be used for both mass production and special production. The dimensions of the precast panels can vary from the jambs rotating around the window to the integral elements between the bearing column axles. The dimensions of the panels are limited to the existing transport and installation methods. Precast coatings are generally used as wall panels mounted on carriers [3] [4].



Figure 1 Heydar Aliyev Cultural Center, Baku

Advantages of precast facade panels [1],

- In the process of building structural elements of the building, the production of facade panels at the factory accelerates the construction. Ready-mixed concrete components can be spilled and replaced annually without being affected by weather conditions.
- They can provide different visuals with texture, color and coating properties. Concrete panels can be used to create more economical panels that are similar to granite, limestone, brick and other masonry systems.
- Thanks to their large clearance properties, they can provide design flexibility by creating free interior and exterior spaces.
- Since the surface wear rate is low over the years, the service life is considered as 50-60 years.
- Due to the presence of glass fibers, they have high resistance to impacts.
- They provide energy efficiency due to the high thermal mass of the material. In energy-insulated panels, energy efficiency can be further increased.
- Sustainable building certificates ensure that they receive points by applying the criteria of sustainable materials in their applications.
- Production at the factory is produced in high quality due to the fact that the ambient conditions can be fixed and quality control can be done in a standard way.

Although concrete-based precast facade elements are classified according to many different criteria, they are classified according to their weights in this study [5].

CONCRETE BASED HEAVY PRECAST PANELS

Heavy precast concrete panels with concrete basis are defined as panels in which concrete mortar and steel reinforcement are combined at the factory and then moved to the construction site after taking the power. These panels, which can be multi-layer, have a weights of m2 greater than 150 kg/m2 [6].

CONCRETE BASED LIGHT PRECAST PANELS

Concrete-based lightweight precast facade panels are the name given to concrete reinforced with different fibers (glass fibers, carbon and polymer fibers) instead of reinforcing steel. Corrosion of different fibers from steel, lightweight, high strength and low thermal conductivity in recent years due to the materials are very interesting. The fact that steel reinforcement steel in the concrete is corroded over time, with temperature differences and especially in contact with salt water, is one of the main reasons for the development of fiber reinforced concrete. These composite materials consist of high strength fibers embedded in the concrete matrix [7].

The lightweight precast facade panels allow the carriages to have a smaller cross-section and to be built with lower costs due to less load on the building. It also allows the use of relatively small cranes in heavy panels to lift the panels in place during assembly of the panels [8].

GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE (GFRC)

Glass fiber reinforced concrete, known as GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) in international literature, is a special production material. GFRC production consists of fine aggregate, high cement mix, special granulometry blend of alkaline resistant glass fiber and polymer added concrete. In GFRC production, there are two basic methods of spraying with hand spray and pouring into the mold by pre-mixing [9]. In the standard production, white cement, silica sand, alkaline resistant glass fiber, water and plastic polymer are placed into the concrete, while colored pigments, marble dust, mirror secret pieces or reflective painted special aggregates can be added in different productions [10].

GFRC is a durable material for durability and strength. It is waterproof due to its high compactness and low porosity. As glass fiber is used instead of steel reinforcement, the sections are thin and the load on the building decreases considerably. The lightness of the material also brings with it the ease of installation. The weight of the GFRC panels corresponds to 1/5 of the weight of the heavy precast systems and 1/2 of the weight of the granite cladding. In addition, the panels can be applied without interruption of the thermal insulation material made from the outside of the building [10].

One of the important reasons for GFRC is the fact that the European standards are insulated with thermally insulated facade panels and equivalent panel systems (55-65 kg / m2) and less than 50% compared to the facade cladding. Stone wool, which is used in heat insulation, is suitable for A1 flammability class which is compulsory by glass wool and fire regulations. When applied according to TS 825 with aluminum foil on the applied rock wool, it prevents condensation completely. For these reasons, GFRC panels allow construction contractors to save time and cost.

GFRC panels are resistant to outdoor weather conditions. These panels can be produced with flat surface, single curvature, double curvature and free form. The fact that the form depends solely on the production of the mold allows the designers to make unique designs.

Production Processes of GFRC Panels

Glass fiber has high tensile strength, elastic value and heat resistance. In addition to these, they have different advantages such as being transparent, chemically resistant and inert (unreacted) [11]. GFRC panels are more resistant to corrosion as they are not metal. Lighter than heavy precast systems provides advantage in building carriers and foundations.

Two types of molding system can be used in the construction of GFRC panels. They explain premix into the closed mold (previously mixing the vibrating placement) and open into the casting mold is sprayed with a hand sprayer system method. In both methods, the materials are mixed by weighing with a calibrated scale. In the first method, it is placed in the mold by means of vibrations to prevent air from lingering. In the second "direct spray" method, finely chopped glass fiber with cement mortar is sprayed into the mold simultaneously with hand spray. It must be calibrated in accordance with the standards of the International Glass Fiber Reinforced Concrete Association (GRCA). These tests should be carried out for each pump at the beginning of each shift, after any change in equipment controls and after any insufficient washing outside the test results. It is not necessary to carry out these tests if the equipment used can give continuous readings of the mixture of glass fiber and cement [12].

Premix method and hand spray method compared in terms of sustainability: Hand spray method requires lower water / cement ratio. It produces less waste as the required amount is sprayed on the material. It also reduces water consumption, as it is easier to clean the mold. Apart from these, hand spray is more advantageous in terms of strength, cost and surface texture diversity [13]. But also in terms of tensile and torsional strength of 18 MPa pressure resists the premix method, hand spray can withstand up to 10 MPa. [13].

This method allows the removal of forms with dimensions of size, texture, color and multiple curvature. Also, the same mold can be used many times depending on the capacity of the mold material. This provides advantages in terms of mold cost, production speed and consumption of raw material resources [9].

The biggest advantage of GFRC panels is the variety of forms. Panels can be made corner turn and can be made both corner turn and surface flush. This formal diversity makes it possible to create a delicate, clean combination of details to be created on the facade [14]. These formal finishes are shown in Figures 2a and b.

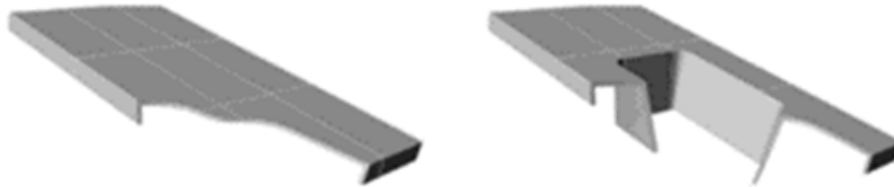


Figure 2 a) Corner turn flat panel, b) Flat panel with corner turn and surface flip.

Especially with the development of computer technologies in the late 1970s and 1980s, the forms of GFRC panels will be able to be designed in more complex forms. GFRC panels can be used in complex geometries [14]:

1. Positive and negative curvatures can be produced on the same panel.
2. The panel may have corner rotation.
3. Providing the same surface quality on both panel surface and corner turns.
4. There are fewer gaps, air bubbles and blemishes than the cast-iron panels.

The technical specifications of the GFRC panels vary according to the ratio of the mixes [4].

Depending on the number of repeats of the product to be produced, the mold material is determined. Molds can be steel, wood, polyfoam and polyester. Styrofoam-based molds for molds to be used one-time, steel molds for molds to be used in close to 100 are preferred. Accordingly, the molds are designed and manufactured. The proportions of the concrete mixture are determined according to the geography and climate data to be used and the desired appearance of the material. The prepared concrete mortar and glass fibers are sprayed on the mold by hand spray. Immediately afterwards, the layers of material are compressed by means of rolls. At this time the thickness of the product is controlled from different locations. After the product is cured inside the mold, the steel carcass is placed inside. The material is mounted to the building using this carcass system. In the case of expansion and contraction, which may occur during the life of the building due to being a composite material, the concrete part and the steel part can be moved separately. Flexible hooks are placed at the joints of the carcass and the material to compensate for the different tensions that may occur in the facade material [9].

The joint gaps between the applied facade systems are filled with polyurethane roving, polyurethane sealant or swelling band applications. In this way, air-water flow is prevented as well as facade elements provide flexibility in movement. Steel anchors suitable for the system are mounted to the building with bolts. This system ensures that the displacement ratio of the loads that may occur during a possible earthquake is tolerated.

The molds are prepared according to the project plans and details. The system is connected to the GFRC with the source of the flex anchoring elements by selecting the appropriate sections according to the dimensions of the carrier carcass and the dimensions of the GFRC elements. Completed production, maintenance and control elements are shipped to the construction site by appropriate stacking technique. The facade panels are anchored to the building by a specialized installation team and a crane selected according to the size of the building.

Panels can be produced in white color and can be produced in almost any color or texture with colorant additives. GFRC panels as shown in Figure 3, concrete, limestone; plain and curved concrete surfaces, wood, brick, stone and marble can be produced in different textures and colors.

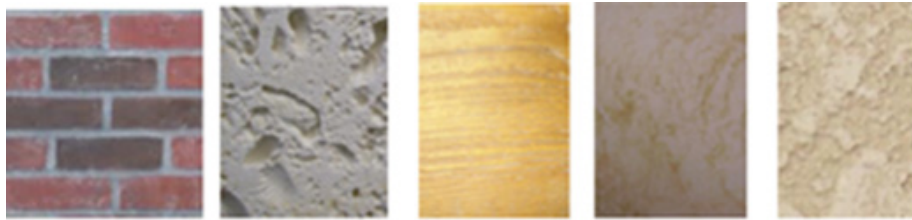


Figure 3 Surface colors and textures of GFRC panels

With the developing technology, it is now possible to produce GFRC panels with reflective painted special aggregates that shine in the dark, which are self-cleaning or light-emitting Nano-technological. In addition, panels produced in white color can be painted to the desired color, like other facades.

Although the materials used in the GFRC panels are similar, the most widely used panels are steel frame and thermally insulated panels, with different materials being used together with different materials. In the steel carcass panels, the thermal insulation layer is not inside the panel and is mounted on the wall front. In the GFRC panel with heat insulation, after the sprayed GFRC concrete mixture is taken out, the steel reinforcement is placed according to the depth and the project formed in the panel and the foam concrete is mixed, poured into and corrected. Since the panels formed in this way are in the heat insulation layer, no further insulation is done. Figure 4 shows the GFRC panel photos with steel frame.

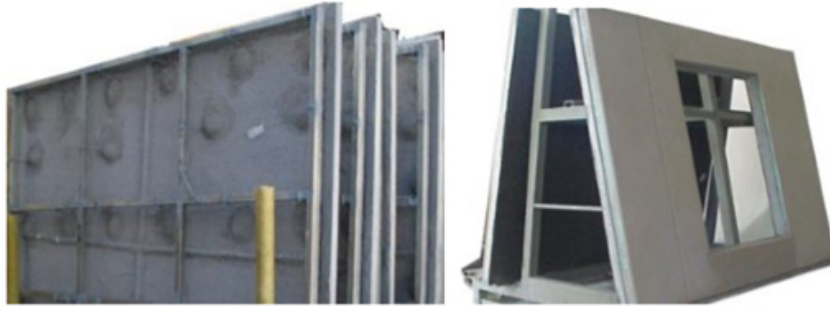


Figure 4 a) Steel frame GFRC panel, b) Heat insulated GFRC panel. [15]

GFRC panels can be as plain as seen above, as can be made with different single, double and free curves, as well as different embellishments and reliefs. Some architectural elements can be produced in the restoration of historical buildings, reconstruction of damaged areas or a different architectural movement. Depending on the formwork, it is possible to create spaces and to use these panels as a sunshade. Examples of these panels are given in Figure 5.



Figure 5 Examples of GFRC panels with different shape, form, decoration and space

The details of panel layouts, required sections, panel dimensions, panel shape joints should be well defined in the drawings of architectural and static project. If more than one type of GFRC panel is used together, the scope and location of each type should be specified in the drawings. If the structural precast facade and the GFRC facade panel are used together, care must be taken in the detail and thickness of the joint. Technical specifications and installation drawings must be compatible with each other [16].

CONCLUSION

Glass fiber reinforced concrete panels add aesthetics to the buildings that concrete cannot give. In order to achieve this aesthetic appearance, architects should be familiar with the material they will use and be aware of the boundaries and capacity of the material. Developing technology should be used to produce panels in different geometries. The panels seen in many examples are designed in computer environment and not in classical ways. This method called parametric design has been the production of panels. Considering that the GFRC panels have a life span of 60 years, it will contribute to the use of sustainable materials in buildings. It is a material which is more resistant to corrosion than most building materials due to the absence of metal in the concrete shell of the panels. Architects generally want to do what is different and that is not around. GFRC panels which give the designer great freedom in terms of form, color and texture to design symbolic buildings suitable for this desire should be evaluated especially on exterior walls.

REFERENCES

- [1]. Tobbi, H., Farghaly, A. S., & Benmokrane, B. (2012). Concrete Columns Reinforced Longitudinally and Transversally with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars. *ACI Structural Journal*, 109(4).
- [2]. Murthy, Y. I., Sharda, A., & Jain, G. (2012). Performance of glass fiber reinforced concrete. *International journal of engineering and innovative technology*, 1(6).

- [3]. Kene, K. S., Vairagade, V. S., & Sathawane, S. (2012). Experimental study on behavior of steel and glass fiber reinforced concrete composites. *Bonfring international journal of industrial engineering and management science*, 2(4), 125-130.
- [4]. Tassew, S. T., & Lubell, A. S. (2014). Mechanical properties of glass fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 51, 215-224.
- [5]. Kizilkanat, A. B., Kabay, N., Akyüncü, V., Chowdhury, S., & Akça, A. H. (2015). Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 100, 218-224.
- [6]. Hawileh, R. A., Rasheed, H. A., Abdalla, J. A., & Al-Tamimi, A. K. (2014). Behavior of reinforced concrete beams strengthened with externally bonded hybrid fiber reinforced polymer systems. *Materials & Design*, 53, 972-982.
- [7]. Wille, K., El-Tawil, S., & Naaman, A. E. (2014). Properties of strain hardening ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHP-FRC) under direct tensile loading. *Cement and Concrete Composites*, 48, 53-66.
- [8]. Johnston, C. D. (2014). *Fiber-reinforced cements and concretes*. Crc Press.
- [9]. El-Nemr, A., Ahmed, E. A., & Benmokrane, B. (2013). Flexural Behavior and Serviceability of Normal-and High-Strength Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars. *ACI structural journal*, 110(6).
- [10]. Adam, M. A., Said, M., Mahmoud, A. A., & Shanour, A. S. (2015). Analytical and experimental flexural behavior of concrete beams reinforced with glass fiber reinforced polymers bars. *Construction and Building Materials*, 84, 354-366.
- [11]. Naaman, A. E., & Wille, K. (2012). The path to ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHP-FRC): five decades of progress. *Proceedings of Hipermat*, 3-15.
- [12]. Lv, Y., Cheng, H. M., & Ma, Z. G. (2012). Fatigue performances of glass fiber reinforced concrete in flexure. *Procedia Engineering*, 31, 550-556.
- [13]. Meng, W., & Khayat, K. H. (2016). Experimental and Numerical Studies on Flexural Behavior of Ultrahigh-Performance Concrete Panels Reinforced with Embedded Glass Fiber-Reinforced Polymer Grids. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2592), 38-44.
- [14]. Harle, S. M. (2014). Review on the performance of glass fiber reinforced concrete. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(3), 281-284.
- [15]. Alsayed, S., Al-Salloum, Y., Almusallam, T., El-Gamal, S., & Aqel, M. (2012). Performance of glass fiber reinforced polymer bars under elevated temperatures. *Composites Part B: Engineering*, 43(5), 2265-2271.
- [16]. Qureshi, L. A., & Ahmed, A. (2013). An investigation on strength properties of glass fiber reinforced concrete. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(4), 2567-2572.

Çelik Elyaf Takviyeli Betonun Kırılma Mekanikği

Fracture Mechanics of Steel Fiber Reinforced Concrete

¹ABDULGADER MOHAMED AHMED BERRANI

*¹ İnşaat Mühendisliğı, Mühendislik Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu

Geliş Tarihi : 10.02.2019

Kabul Tarihi : 02.04.2019

ÖZET

Betonun liflerle güçlendirilmesi, betonun çatlak oluşumuna karşı dayanıklılığını ve esnekliğini arttırmanın etkili bir yoludur. Lif betonlarında, kırılma mekaniği, çekme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk analizinde bir prensip olarak kullanılır. Kırılma enerjisi, elementi çökmeye getirmek için gerekli olan enerjidir. Dayanıklılık değeri, normal gerinim-gerinme eğrisi altındaki alana eşittir. Kırılma mekaniği parametrelerinin (tokluk, kırılma enerjisi) boyut etkisi prensipleri ile çalışarak, özellikle özel betonlarda ve dolayısıyla lifli betonlarda birçok nedenden dolayı elde edilmesi büyük yarar sağlar.

Anahtar Kelimeler: Beton, Lifler, yumuşaklık, Kırılma mekaniği

ABSTRACT

The strengthening of concrete with fibers is an effective way to increase the resistance and ductility of concrete against crack development. In fiber concretes, fracture mechanics are used as a principle in the analysis of tensile strength, fracture energy and toughness. Fracture energy is the energy that will be required to bring the element to the collapse. The value of toughness is equal to the area under the usual strain-strain curve. It is of great benefit to obtain the fracture mechanics parameters (toughness, fracture energy) by working with the principles of dimension effect, especially on special concretes and thus on fibrous concretes for many reasons.

Keywords: Concrete, Fibers, Ductility, Fracture Mechanics

Introduction

Tensile stresses cause a number of cracks to spread through a crack, causing concrete to migrate. These fissured cracks give rise to the effect of size. However, in order to create tensile stresses, it is not necessary to carry out tensile loads. As in this study, tensile stresses will also occur in the elementary critical sections in a direction perpendicular to the pressure loading, and even with shifting and pulling effects as a result of the pressure loading, a displacement of mixed elements will occur. Therefore, the effect of size effects on pressure loading and mixed mode collapses is of great importance. The modulus of elasticity of fiber concrete, which is higher than concrete, is added to the concrete, various material criteria (fracture mechanics parameters) such as toughness and breaking energy of the concrete are improved. Especially when the concrete starts to break, ie, starts to move away from the linear-elastic region, the fibers play a much more effective role and increase the breaking energy considerably. In addition, in the case of loading close to the fracture load, there are fewer cracks in the normal concretes than in the fibrous concretes, but the opening and the cracks in the fibrous concretes are spread in the element volume and there are no excessive localized cracks. The situation close to this ideal prevents the cracks to accumulate in a region and turn into a slit and lead the element to early immigration. (Van Chanh, 2004)

Fiber concrete has a very different characteristic than traditional concrete in terms of its behavior and performance. The difference in behavior is due to the fact that the fibers, which have a nice distribution in the concrete, perform their functions by transferring the stresses at the end of the cracks to the tops or the solid areas at the time of the formation of the cracks. In this way, the formation and growth of cracks which will lead to the demolition of concrete is prevented; breakage occurs at larger loads. Among the advantages of fiber concretes are the increased strength of the composites due to their high resistance to abrupt loads or repetitive loading and the increased amount of energy that can be swallowed under load. From the literature, it is seen that steel, nylon and composite fibers do not affect the mechanical properties such as compressive strength and modulus of elasticity. As the strength of the steel wire increases, the fracture energy increases. Similarly, the characteristic aspect, which is also a fracture mechanics parameter, is also growing. (Song, 2004)

Fracture Mechanics and Size Effect

As a result of crack formation in the concrete element, energy is required for collapse. Physical starting of the crack depends on the stress. The stress forms the fracture energy defined by the surface energy of the solid for crack formation. For this reason, energy criterion should be used in the calculation of the crushing mechanism. This criterion is necessary for physicists. Other methods, the method of safety stresses or the carrying power, do not use energy for migration. There are four major cases in the research area of fracture mechanics where safety stresses or bearing power methods do not take into account in the failure mechanisms of structures. (Soroushian, 1990)

1. Material strength is exceeded at different times in different points of the crash surface.
2. With the development and spread of the crack, softening is seen after the biggest load.
3. The large structure cracks are localized in a much smaller area than the section size. This brings the behavior closer to the linear elastic fracture mechanics (LECM).
4. Localization and energy release are handled by the fracture mechanics.

Depending on the load-displacement diagram, there are two types of structural failure, namely elastic and plastic. The typical characteristic of the plastic migrator is the simultaneous development of the dispersion of the various parts of the structure, proportional to a single parameter, as a single degree of freedom. These migrations are indicated by the long run-off plate in the load-displacement curve. If the load-displacement curve does not have such a flow plateau, the failure is not plastic, but brittle (or semi-friable). In fact, material deterioration is observed due to breakage, cracking and other damage, and the flow plate is destroyed, and the downfall does not develop as a single degree of freedom system. Although ductile collapse is desired, it is inevitable to have brittle collapse in the elements with 98% concrete, such as reinforced concrete, and no flow plateau.

Concrete and reinforced concrete elements which exhibit semi-crisp behavior have a softening zone after the largest load. In this region, a more brittle or more ductile behavior appears in relation to the element size, which is not taken into account in the safety stresses or in the conveying power methods. The area under the load displacement curve gives the energy absorbed by the structure during the collapse. This energy is particularly important in dynamic loading and creates the ductility of the structure. Plastic analysis does not provide information on the reduction of the largest load (softening mentioned above) and energy ingested. Therefore, the effect of the dimensionality of fracture mechanics and its easy application is being investigated by researchers. (Kim, 2002)

Some of the studies in the literature related to the dimension effect are: Dimension effect in diagonal shear decay in beams, in beams reinforced with external rods and plates, etriye and aggregate size in variable beams and in ashesless beams. Stapling effect on slabs, high-strength edge-notched beams in three-point loading from the two sides of the edge notched beams and slip stretching. The effect of dimension in the tests was examined. In pressure relief of reinforced concrete beams, reinforced concrete reinforced concrete beams, pressure loading of double cantilever samples and different delicate, notched and concrete cylinders under pressure loading. The effect of size and pressure on pressure decay was investigated in normal and high strength concrete cylinders with different notches and cavities. (Banthia, 2007)

Evaluation of Steel Fiber Reinforced Concrete Fracture Mechanics Perspective

Lean concrete is a brittle material which has low tensile strength, negligible structure in structural design, high toughness and ductility. In normal concretes, the energy required to spread any cracks is low. The addition of steel and / or synthetic fibers to concrete removes these handicaps of concrete. With the use of fibrous concretes, in fact, the inclusion of randomly dispersed discontinuous fibers into the composition consisting of fine aggregates, water, cement and additive, it is intended to control the crack growth and thereby increase toughness. In the 1960's, particularly in the UK and Scandinavian countries, fibrous concrete technologies have emerged and developed as a result of the search for different types of building materials, which are more economical than their metal structures. In fact, the straw-reinforced clay mortar (mudbrick), a source of inspiration for fibrous concretes, has been used as building material since 4500 years ago. Similarly, in bricks and mortar, goat hair, horses and even human hair fibers were used. As from the beginning of the 1900s, asbestos fibers were used in concrete for similar purposes. Today, although it does not completely add additives due to the fact that it does not enter into chemical reactions with concrete components, steel fibers of various sizes are used as a kind of concrete admixture as well as chemical and mineral substances. In recent years, steel fiber reinforced concrete has been widely used in highways, tunnel pavements, concrete pipe and concrete frameworks, because of its positive effects on concrete strength (especially tensile strength and tensile strength). The use of steel fiber in the mixture will positively contribute to the major mechanical characteristics mentioned below, especially since it will delay the formation and progression of crack formation under bending and pulling, and therefore also to the stress exposed elements. (Thomas, 2007)

Steel fiber concrete also shows pressure ductility. In other words, it has the ability to carry the load even when it reaches the carrying power. In addition, it has high resistance to shear, torsion and fatigue. Fractures, shedding, fragmentation and dispersions are few. If the fibers are evenly distributed and there are no gaps in the concrete, there is also a certain increase in the compressive strength of the fibrous concrete. Because the fibers perpendicular to the loading plane do not undertake any function in the compressive stress, even when they are subjected to a negative function due to their torsion and gap-increasing orientation, the fibers parallel to the loading plane increase the pressure stress and the ductility. In tensile strength, significant increases are observed in fiber concrete compared to normal concrete. Generally, when steel fiber concrete is used in construction applications, steel fiber is added not only to prevent breakage but also to prevent shedding, disintegration and dispersion of material to increase dynamic loading or impact strength. In addition, the shear strength of steel fiber concrete is much higher than that of normal concrete. Therefore, the use of cutting or torsion elements seems to be quite advantageous. Especially in high beams, reinforced concrete silos and earthquake curtains use is very significant. (Baloch, 2005)

Normal concretes can make limited amounts of deformation under stress and the system will migrate as a result of load increase. The fibers provide the ability to keep cracks at a limited level and to give higher deformation to the concrete by means of tensile transfer. Due to the stress transfer in the fibrous concrete, more energy is needed than the energy required to form the crack in order to spread the crack. This facilitates the formation of new cracks in the intact regions instead of spreading the crack. Thus, more energy is damped. The composite can make more deformation without migration. In the case of steel fiber concrete, the fibers perpendicular to the discharge load axis increase the toughness due to their tensile strength in parallel direction and the lateral deformations due to the adherence and high tensile capacities formed by friction between the concrete and the matrix. For these reasons, the same situation cannot be achieved at very high levels in the concretes containing polypropylene fibers. The most important difference between reinforcement and steel fibers is how and when they perform the functions in the concrete and the control of cracks there. Steel fibers are the materials that change the structure of the concrete and push the concrete to a plastic behavior. The feature of steel fiber concrete is its increased elasticity and energy absorption ability. Thus, in the case of fibrous concretes, the deceleration rate of the load is much slower than the normal concretes due to the increased deformation after maximum load. The resulting deformation is therefore much larger in steel fiber concretes. In fibers reinforced concrete, the fibers have more efficiency after the formation of cracks in the matrix. The post-cracking strength depends on the fiber length, shape and dimensions, and the stress-strain properties. Although there is no significant increase in the final load due to these reasons, the fibrous concrete can be more ductile under uniaxial loading. In addition, the first crack strength of a fibrous concrete with a uniform distribution of fibers and a low gap is high. Short-cut fibers, homogeneously dispersed in concrete, delays the formation of cracks, crack propagation and progression in concrete. Gradually increases the energy absorption capacity of concrete by means of the peel-off and breaking mechanism from the matrix. (Song, 2004)

Fracture Steel Fiber Reinforced Concrete Breakage Parameters

Fiber concrete is a composite material with different mechanical and physical properties than unreinforced concrete. One of the most important mechanical properties of fiber concrete is the energy absorption capacity. The energy absorption capacity, also called toughness, is defined as the amount of energy that the concrete undergoes under load. The area under the deformation curve is affected by the size of the test specimens, the type of the test setup and the loading speed. Many material properties such as crack resistance, ductility, impact resistance are associated with energy swallowing capacity. There are standardized toughness assessments. For example, toughness calculations according to ASTM C 1018 and JSCE SF-4 are based on one-axis bending tests. The TS 10515 standard is similar to ASTM C 1018. Therefore, the standard bending toughness of the fibrous concrete is obtained in the tests based on these standards. However, since the definition and function of the toughness is actually relative, for example, a sample geometry obtained by applying pressure to the standard cylinders or which is not determined by the standards as in this study, and the toughness to be found from the experimental studies with the loading system, can be named as relative pressure toughness or relative toughness. Toughness depends on the role of steel fibers within the concrete and is a parameter that is taken as a basis when evaluating the functionality of fibrous concretes. This feature is influenced by factors such as the fiber content of the steel fiber concrete, the rate of delicacy, fiber length, fiber geometry and loading speed and sample sizes. The increase in fiber content in the concrete, the fiber length and the growth rate of the concrete increases the toughness of the concrete. However, no function or relationship could be identified between fiber type and fiber dosage and the modulus of elasticity and compressive strength. However, the elasticity modulus and compressive strength of the concrete as well as the fracture energy is a very important material parameter. Steel fiber concrete shows a very high ductility, especially after the initial fracture load. Therefore, as the fiber ratio increases, the fracture energy increases. Many empirical definitions have been made in the literature in order to reveal such characteristics of steel fiber concretes. The most important of these is the definition of toughness index developed by Barr. The ratio of the area under the portion of the stretch-unit length change curve of the fibrous concrete to the first fracture load is defined as the Toughness Index. (Morino, 1997)

Toughness indexes have also passed the standards. The toughness indices from the experiments and calculations based on the above mentioned standards can be called the standard bending toughness indices. These indices are the numbers obtained in the load-displacement curves, divided by the area under the curve up to a defined level, divided by the area up to the first crack. In other words, toughness indices are used to define material behavior up to the selected displacement value. The first crack is defined by defining the point where the load-deflection curve is separated from the linear section for the first time. The first cracking point detected in the curve is the first crack toughness. Toughness indices are important in terms of showing the energy absorption capacity of concrete and comparing it with the witness concrete. If the toughness indexes for ASTM C 1018 are low, the energy absorption capacity after cracking is low. The toughness indexes were originally developed to explain the elastic-plastic behavior of steel fiber concretes. The low value of toughness indices indicates that the damage in post-cracking strength is large and the energy absorption rate is low. It is also possible to find the toughness indices to reach and even exceed the values of the steel fiber, such as the type, content, delicacy and matrix parameters of the fiber. The first crack point can be taken as the first point in the load-deflection curve where the load reaches the maximum value for the first time and the curve is separated from the linearity. The relative satiety indices of the double consoles were calculated in this way. At the end point of the linearity in the stress-strain curve, the first crack is formed in the material. Post-cracking is a more important task than reinforced concrete elements, especially in reinforced concrete. Coupling between the fibers after the first crack and the fibers is important in determining the properties of the composite material. The matrix fibers include slip and pull clamps depending on the type of stress transfer. In general, these two types of interconnections are related to each other. (Banthia, 2007)

Some studies in the literature on the determination of the fracture energy and relative-standard toughness of steel fiber concrete are as follows: In the concrete samples formed by the addition of steel and polypropylene fibers in different ratios, the fracture energies of the concrete with pressure and shear strengths were calculated. On the other hand, a sample geometry which can model the mixed fashion breaking performances of concrete and can be monitored on a sample at the same time, by selecting a sample geometry, four fracture surfaces were formed in different regions and the heterogeneous structure of the concrete was better expressed. The standard toughness of the concrete beams with different dosing and steel fiber ratios was found, and the relative toughness (energy absorption capacity) was obtained from the standard cylinder samples of the same concretes. The elastic modulus and relative toughness of the C20 grade concrete standard cylinder samples were determined. The relative toughness properties of standard cylinders with different steel fiber and concrete mixing ratios were found under pressure. Breaking deformation under pressure of concrete standard cylinder samples with different steel fiber ratios and subjected to different heat treatments (relative toughness) was found. Standard cylinders and pyrama samples with different fiber ratios have been found to have relative toughness (energy absorption) according to different curing environments. (Bischoff, 2003)

Conclusions

This paper introduces the mechanical properties of Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC), its focal points, and its applications. Amid the most recent decades unbelievable advancement have been made in solid innovation. One of the significant advances is Fiber Reinforced Concrete (FRC) which can be characterized as a composite material comprising of traditional cement fortified by the irregular dispersal of short, discontinuous, and discrete fine strands of particular geometry. Not at all like ordinary strengthening steel bars, which are particularly structured and put in the ductile zone of the solid part, strands are thin, short and circulated arbitrarily all through the solid part. Among a wide range of strands which can be utilized as solid support, Steel Fibers are the most mainstream one. The execution of the Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) has demonstrated a noteworthy enhancement in flexural quality and generally speaking durability analyzed against Conventional Reinforced Concrete.

REFERENCES

- Baloch, S. U. (2005). Steel fiber reinforced concrete. *Science Technology and Development*, 21-32.
- Banthia, N. (2007). Toughness enhancement in steel fiber reinforced concrete through fiber hybridization. *Cement and Concrete Research*, 37(9), 1366-1372.
- Bischoff, P. H. (2003). Tension stiffening and cracking of steel fiber-reinforced concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 15(2), 174-182.
- Kim, J. (2002). Shear strength of steel fiber-reinforced concrete beams without stirrups. *ACI Structural Journal*, 99(4), 530-538.
- Morino, K. (1997). Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19(4), 307-313.
- Song, P. S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669-673.
- Soroushian, P. (1990). Distribution and orientation of fibers in steel fiber reinforced concrete. *Materials Journal*, 87(5), 433-439.
- Thomas, J. (2007). Mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 19(5), 385-392.
- Van Chanh, N. (2004). Steel fiber reinforced concrete. In *Faculty of Civil Engineering Ho chi minh City university of Technology. Seminar Material*, 108-116.

Kimyasal katkı malzemelerinin biyomineralizasyon ile kendiliğinden iyileşen çimento-esaslı malzemelerin performansına olan etkisi

Influence of chemical admixtures on performance of biomineralized self healing cement-based materials

Ali Amiri, Zeynep Başaran Bundur

* Department of Civil Engineering, Özyeğin University, İstanbul.

Geliş Tarihi : 07.04.2019

Kabul Tarihi : 20.05.2019

ÖZET

Beton yapıların servis ömrünü etkileyen faktörler birbirleriyle genellikle bağlantılıdır. Beton gevrek ve kırılğan doğası yüzünden, gerilmeler altında çatlayabilir. Son yıllarda yapılan araştırmalar kendiliğinden iyileşen çimento esaslı malzemelerin üretiminin mümkün olduğunu göstermiştir. Kendiliğinden iyileşme özelliği, betonun oluşan çatlakları kendiliğinden kapatabilmesidir ve bu amaçla kullanılacak yenilikçi yöntemlerden biri biyomineralizasyondur. Biyomineralizasyon mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sonucu ürün olarak kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşmasıdır. Bu oluşan ürün/ CaCO_3 çökeltisinin çatlakları doldurması ile kendiliğinden iyileşme elde edilir. Bu çalışmanın amacı, çimento-esaslı malzemelerde kendiliğinden iyileşmenin sağlanabilmesi için çimento hamuru içine katılan bakterilerin malzemenin performansına olan etkisinin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda bakteriler sulu besi yerinde büyütüldükten sonra hiçbir işlem uygulanmadan çimento harcı içine katılmış ve performans değerlendirme priz süresi, basınç dayanımı, karbonizasyon ve kendiliğinden iyileşme kabiliyeti incelenerek belirlenmiştir. Bakterilerin harç 30 içine eklenmesi kimyasal yapıyı ve basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemez iken, priz süresinde belirgin bir artış olmuştur. Bu artış, bakteri ile beraber çimento içine katılan besi yeri ile ilişkilendirilmiştir. Çimento harcı içine karıştırılan bakteriler eğilme altında oluşturulan çatlakları kapatabilmiş, ürün/ CaCO_3 çatlakları doldurmuştur. Son olarak, süperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı (HSK) gibi sıkça kullanılan katkı malzemelerinin biyomineralizasyona olan etkileri incelenmiştir. Süperakışkanlaştırıcı kullanımı bakterilerin kendiliğinden iyileşmeyi sağlamasında olumlu bir etki sağlarken, HSK'nın çatlak içinde CaCO_3 çökmesini kısmen azalttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden iyileşme; çimento harcı; biyomineralizasyon; basınç dayanımı; priz süresi

ABSTRACT

Factors affecting the durability of concrete structures are generally associated with each other. Due to its brittle nature, concrete can crack when stress is applied. Recent research in the field proposes that it might be possible to develop a smart, cement-based material that can self-heal itself. Self-healing is the ability of concrete to heal the cracks without any external application. Self-healing property of concrete can be obtained via different approaches. Use of biomineralization is a novel technique to provide self-healing in cement-based materials. Biomineralization is a biochemical process in which microorganisms stimulate the formation of minerals. In this system, calcium carbonate (CaCO_3) is induced by leveraging the metabolic activity of microorganism and self-healing is obtained by sealing of the cracks with CaCO_3 . The goal of this study to investigate the influence of bacterial self-healing agent on performance of cement-based materials. In this study, the bacteria will be introduced to cement paste with its growth media without any additional manipulation such as encapsulation. Performance of cement-based mortar was evaluated by Vicat needle test, compressive strength test, thermogravimetric analysis and crack healing ability. While incorporation of bacterial cells did not affect the compressive strength and chemical composition, there was a significant delay in initial setting time. This was attributed to the nutrient medium added along with bacterial cells. With this approach, the flexural cracks on the mortar surface were sealed with the CaCO_3 . At last but not the least the influence of superplasticizers and air entraining agents (AEA) on self healing was investigated. While the superplasticizers improved the self-healing efficiency of the bacterial cells, AEA relatively reduced the amount of CaCO_3 precipitation within the cracks.

Keywords: Self-healing; cement-based mortar; biomineralization; compressive strength; initial setting time

Sorumlu Yazar: zeynep.basaran@ozyegin.edu.tr

1. GİRİŞ

Beton yapıların servis ömrünü etkileyen faktörler genellikle birbirleriyle bağlantılıdır. Beton gevrek ve kırılğan doğası yüzünden, gerilmeler altında çatlayabilir. Bu çatlaklar betonun geçirgenliğini artırır, dayanımını düşürür ve dolayısı ile servis ömrünü kısaltır. Günümüzde, püskürtme beton ve epoksi enjeksiyonu, betonda çatlak onarımı için kullanılan tamir ve restorasyon yöntemlerinden bazılarıdır. Klasik yöntemlerin uygulanması zaman almakla beraber, çatlaklara hızlı müdahale olasılığı düşüktür. Bu yöntemler büyük çatlakların onarımı için uygundur, ama çatlaklar inceldikçe bu malzemelerin, çatlağın derinlerine inmesi zorlaşmaktadır (J.Y. Wang vd. 2014). Son yıllarda yapılan araştırmalar kendiliğinden iyileşen çimento esaslı malzemelerin üretiminin mümkün olduğunu göstermiştir (De Muynck, De Belie, ve Verstraete 2010; Van Tittelboom ve De Belie 2013; Sahmaran vd. 2013). Kendiliğinden iyileşme özelliği, betonun oluşan çatlakları kendiliğinden kapatabilmesidir. Bu amaçla kullanılacak en yenilikçi yöntemlerden biri de biyomineralizasyondur. Biyomineralizasyon mikroorganizmaların metabolik aktivitelerine dayanan bir tür biyokimyasal reaksiyonlar zinciridir (Stephan Mann 2001). Bu reaksiyonlarla elde edilecek minerallerin listesi uzundur ama çimento esaslı malzemelerde sıkça kullanılan biyomineralizasyon ürünü kalsiyum karbonattır (CaCO_3). Üreaz enzimine sahip ve negatif yüzey yükü olan mikroorganizmalar, ortamda bulunan üreyi, karbonat ve amonyak olarak hidrolize edebilmektedirler. Mikroorganizmalar eksi yüklü yüzeyleri sayesinde ortamdaki kalsiyum iyonlarını elektros-tatik olarak çekmekte ve kalsiyum karbonat (CaCO_3) çökeltisinin yüzeyinde çekirdeklenmesini sağlamaktadır (Stocks-Fischer, Galinat, and Bang 1999; De Muynck, De Belie, and Verstraete 2010). Özellikle, üreaz enzimi içeren mikroorganizmalar üre ve kalsiyum içeren ortamlarda ürün olarak CaCO_3 oluşumunu indükleyebilir ve oluşan CaCO_3 çökeltisi çimento esaslı malzemelerde oluşabilecek çatlakları doldurarak kendiliğinden iyileşme sağlayabilir (De Muynck, De Belie, anved Verstraete 2010). Çimento esaslı malzemelerde biyomineralizasyon ile kendiliğinden iyileşmenin sağlanması için ilk adım mikroorganizmaların çimento hamuru içine katılmasıdır. Bu aşamada önemli bir nokta mikroorganizmaların çimento hamuru içerisinde canlı kalabilme yeteneğidir. Literatürde yapılan çalışmalar sonucunda farklı yöntemler ile mikroorganizmaların beton içinde uzun süre canlı kalabildiği gözlemlenmiştir. Bu yöntemler genellikle hücrelerin çeşitli işlemlerden geçirilerek spor olarak veya kapsül içerisine enjekte edilmesini içermektedir (Wiktor ve Jonkers 2011; J. Wang vd. 2012; J. Y. Wang, Snoeck vd. 2014). Çimentonun alkali yapısı ve de devam eden hidratasyon nedeni ile azalan boşluk miktarının, mikroorganizmaların canlı kalma olasılığını azaltabileceği öne sürülmüş ve geçmişte yapılan çalışmalar büyük oranda mikroorganizmaların çimento içinde canlılığı/dayanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Wiktor ve Jonkers (2011) Delft Üniversitesi'nde geliştirdikleri sistem ile endosporları (kalsiyum laktat ile beraber) genleştirilmiş kilden oluşan hafif agregaların içine enjekte etmişlerdir ve bu agregaları beton karışımında kullanmışlardır. Çatlak oluşumunda yüzeyle beraber kırılan agregaların içindeki karışım sayesinde yüzey çatlakları kalsiyum karbonat çökeltisi ile tamamen kapatılmış ve malzemenin geçirgenliği azaltılmıştır. Wang vd. (2012; 2014a) yaptıkları çalışmada bakterileri sırasıyla poliüretan ve silika jel kapsüllerin içine yerleştirip, iki farklı sistemin verimliliğini karşılaştırmışlardır. Silika jel kapsüllerin bakterilerin metabolik aktivitelerini daha az etkilediklerini ve üre ayrışımının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Wang vd., 2014a). Wang vd. (Wang vd., 2014b) son çalışmalarında ise endosporları mikro kapsüller içerisine yerleştirip; üre, maya özütü ve kalsiyum nitrat (CaNO_3) ile beraber çimento harcının içine karıştırmışlardır. Bu yöntem ile çatlaklar onarılmış ve harcın geçirgenliği azaltılmıştır (J. Y. Wang, Soens, vd. 2014). Ancak doğru mikroorganizma ve besi yeri seçimi ile bu işlemler azaltılarak, mikroorganizmalar doğada buldukları koşullar ile çimento harcı içine katılabileceği bilinmektedir. Achal vd. (2011) bakteriyi sulu besi yerinde büyüttükten sonra bu besi yerini kum, uçucu kul ve çimento ile karıştırmışlardır. Yapılan analizlerle bu yöntem ile çimento harcı içine katılan hücrelerin 28 gün boyunca canlı kalabildikleri ve basınç gücünü arttırdıkları gözlemlenmiştir (Achal vd. 2011). Ayrıca Bundur (Bundur Z.B. vd. 2017) yaptığı çalışmalarda *Sporasarcina pasteurii* (*S. pasteurii*) suşunun büyütüldüğü sulu besi yeri ile çimento harcı karışımına katıldığında, hücrelerin 11 ay kadar canlı kalabildiklerini gözlemlemiştir. Bu çalışmada çimento harcı içine katılan *S. pasteurii* suşu önce uygun besi yerinde büyütüldükten sonra ekstra hiçbir işlem uygulanmadan çimento ile karıştırılmıştır. *S. pasteurii* aktif üreaz enzimine sahip olması ve eksi yüzey yükü sayesinde biyomineralizasyon üzerine yapılan çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (Stocks-Fischer vd. 1999; De Muynck vd. 2010). Bu araştırmanın amacı hiçbir işlem gerektirmeden çimento hamuru içine katılan aktif *S. pasteurii* hücrelerinin malzemenin performansına, biyomineralizasyona ve kendiliğinden iyileşme özelliğine olan etkisinin incelenmesidir. Bunun yanı sıra bu mekanizmaya karışımlarda sıkça kullanılan süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkıların (HSK) etkileri de incelenmiştir.

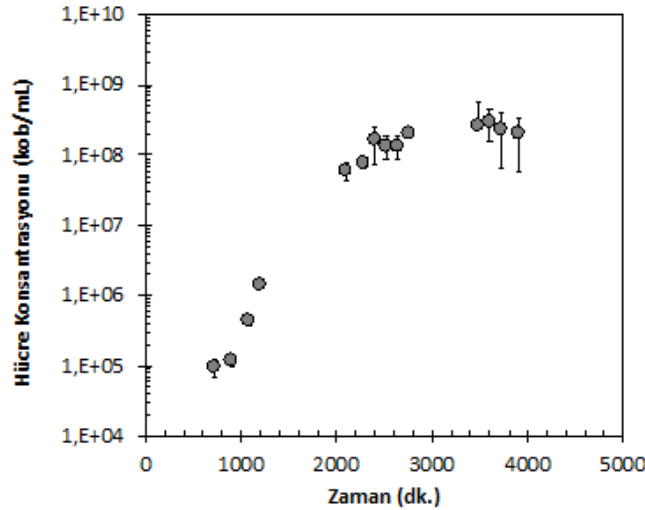
2. YÖNTEM

2.1 Bakteri suşunun seçilmesi ve sulu besi yerinde büyütülmesi

Bu çalışmada Alman mikroorganizma ve hücre kültürleri koleksiyonundan (DSMZ) 33 nolu suşu olan *S. pasteurii* kullanılmıştır. *S. pasteurii* topraktan kolayca elde edilebilen ve hastalık yapmayan bir bakteri çeşididir. *S. pasteurii* aktif üreaz enzimine sahip olması ve eksi yüzey yükü sayesinde biyomineralizasyon üzerine yapılan çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (Stocks-Fischer, Galinat, ve Bang 1999; De Muynck, De Belie ve Verstraete 2010). Bu suşun çimento esaslı malzemelerde biyomineralizasyon üzerine yapılan araştırmalarda kullanılmasının en önemli nedeni yüksek alkali ortamlara olan toleransı ve endospor oluşturabilme özelliğidir. Bu çalışmada bakteriler hiçbir koruma mekanizması olmadan büyütüldükleri sulu besi yeri ile çimento harcı karışımına eklenmiştir. Bu sebeple *S. pasteurii* hücrelerinin dayanıklılığı büyük önem taşımaktadır.

DSMZ 33 *S. pasteurii* suşunun büyümesi için gerekli besiyeri solüsyonu 1 litre artılmış suya (DI su) 0.13 M tris bazı, 20 g/L maya özütü ve 10 g/L üre hazırlanmıştır. Agar plaka gerektiğinde besiyeri solüsyonuna 12g/L agar eklenmiştir. Üre-maya özütü (ÜMÖ) besi yerinin pH'ı 9 olarak ayarlanmıştır.

Hazırlanan besiyeri solüsyonu otoklav (HIRAYAMA HV 25-L, Japonya) yardımı ile (121°C de 100 kPa) sterilize edilmiştir. Besiyeri solüsyona eklenen bakteriler IKA KS 4000 model inkübatörde (Almanya) 30°de, dakikada 180 devir sayısı (rpm) çalkalanarak büyütülmüştür. Periyodik olarak alınan örnekler, besi yeri-agar petri kaplarına yayılmış ve 30°C'de 48 saat inkübe edilmiştir. Ardından zaman içinde solüsyonlardaki bakteri konsantrasyonu (kob/mL) belirlenmiş ve bakteri büyüme eğrisi elde edilmiştir. Bu ilişki çalışmanın ileriki safhalarında çimento hamuru içine katılacak bakteri kültüründeki hücre sayısını belirlemek için kullanılmıştır. Şekil 1 DSMZ 33 *S. pasteurii* suşunun ÜMÖ besi yerindeki büyüme eğrisini göstermektedir.



Şekil 1: *S. pasteurii* hücrelerinin ÜMÖ besiyeri solüsyonunda büyüme eğrisi (pH 9). Gösterilen veri noktaları üç tekrardan elde edilen ortalamayı, hata çubukları standart sapmayı göstermektedir.

2.2.Sulu besi yerinde biyomineralizasyonun incelenmesi:

Biyomineralizasyon oluşumunun incelenmesi için, *S. pasteurii* hücreleri 200 mL sulu besi yeri içinde üssel büyüme (log fazı) safhasına gelene kadar büyütülmüş ve ardından bu sulu ortama kalsiyum ([Ca+2] kaynağı eklenmiştir. Bu aşamada kalsiyum kaynağı olarak Kalsiyum Nitrat- Ca(NO₃)₂.4H₂O (40 gram /Litre) kullanılmıştır. Kalsiyum kaynağı eklendikten 24 saat sonra oluşan ürün/çökelti 20°C'de 6300g (15 dakika) hız ile santrifüj ile toplanmıştır. Toplanan çökelti tarayıcı elektron mikroskobu (SEM, JEOL JIB-4501 Multi-Beam Focused Ion Beam Scanning Electron Microscope-(Freising, Germany)) ve X-ışınları kırınım analizi (XRD, BRUKER D8 Advance X-ray Diffractometer (Karlsruhe, Germany)) ile incelenmiştir. SEM analizi için toplanan CaCO₃ için altın kaplama kullanılmış ve analiz sırasında çalışma mesafesi 9-12 mm ve voltaj 5 kV olarak ayarlanmıştır. XRD için ise toplanan CaCO₃ çökeltileri 24 saat 40°C lik fırında kurutulduktan sonra analiz için numune kabına yerleştirilmiştir. XRD analizi 10-90° açıları (2θ) arasında 0.02°lik artışlar ile yapılmıştır

2.3. Kullanılan çimento ve agregata

Bu çalışmada özgül yüzey alanı 3954 cm²/g olan TS EN 197-1 CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento harcı yapımında ise TS 706/ EN 12620 standartlarıncaya onaylanmış ince agregata kullanılmıştır. Agregatanın özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi ASTM C 128-12 standardına göre belirlenmiş ve bu değerler sırasıyla 2.56 ve %0.67 olarak bulunmuştur.

2.4. Besi yerlerinde büyütülen bakterilerin çimento hamuru içine katılması

S. pasteurii hücreleri yukarıda belirtildiği gibi sulu besiyerinde üssel büyüme safhasına erişene kadar büyütülmüştür. Ardından elde edilen bakteri çimento ile karıştırılmıştır. Çimento hamurunun karışımında kullanılan su bu oluşturulan bakteri kültürü ile değiştirilmiştir (Bak. kültürü / çimento: 0.45). Burada değinilmesi gereken bir nokta ise bu solüsyonun ağırlığının %96'sının saf su olduğu ve bakterilerin ağırlığının su-çimento oranını etkilemeyeceğidir. Kontrol numuneleri sadece su ve sulu besiyeri kullanılarak hazırlanmıştır. Hava sürükleyici ve süper akışkanlaştırıcının gerektiği serilerde karboksil eter bazlı süper akışkanlaştırıcı (1 kg / 100 kg çimento) ve nitrat tuz bazlı hava sürükleyici katkı (HSK) kullanılmıştır (0.1 kg/100 kg çimento). Karışımlar hazırlanırken, gerekli su/solüsyon miktarının %70 ilk olarak çimento ve agregata ile karıştırılmış, son 1 dakika da geri kalan suya/solüsyona süper akışkanlaştırıcı ve HSK eklenmiştir.

2.5. Vikat iğnesi testi

Vikat iğnesi testi ASTM C191-13 standardına göre yapılmıştır. Ancak bu standartta belirtilen kıvam noktası yerine sabit su/çimento (solüsyon/çimento) olarak 0.45 kullanılmıştır. Tablo 2'de belirtilen çimento hamuru numuneleri ASTM C305-14 standardına göre hazırlanmıştır. Test süresince numunelere ıslak bez ile nem sağlanmış, sıcaklık 21 °C'de sabit tutulmuştur. Her seri 3 kere tekrarlanmıştır). Bakteri içeren numunelerde *S. pasteurii* hücre sayısı 2 x 10⁸ – 8 x 10⁸ CFU/mL arasında tutulmuştur. Vikat iğnesi testi için karışımlar 3 kere tekrarlanmıştır. Tablo 1 çalışmada hazırlanan çimento hamuru/harcı numuneleri göstermektedir.

Tablo 1: Çalışmada test edilen çimento hamuru numune serileri. SP: Süperakışkanlaştırıcı; HSK: Hava Sürükleyici Katkı, ÜMÖ: Üre + Maya özütü besiyeri

Numune Adı	Malzeme Karışımı			Katkı Malzemesi	
	Su	ÜMÖ	ÜMÖ bakteri kültürü	SP	HSK
A1	X				
C1	X			X	
D1	X				X
A1-MÖ		X			
C1-MÖ		X		X	
D1-MÖ		X			X
A1-MÖ-Ç			X		
C1-MÖ-Ç			X	X	
D1-MÖ-Ç			X		X

2.6 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Tablo 1'de belirtilen çimento hamuru numunelerde biyomineralizasyonun anlaşılması için TGA analizi yapılmıştır. Deneyler için yine su/çimento oranı 0.45 olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu numuneler 2 x 3 x 4 cm boyutunda kalıplara dökülerek 1 gün boyunca nemli odada kür edilmiş. Bakterilerin ek besin sağlanması ve canlılıklarının korunması için kalıplar söküldükten sonra numuneler test gününe kadar ÜMÖ sulu besiyeri içinde kür edilmiştir. TGA analizi 3, 7 ve 28 günlük numuneler için yapılmıştır. Test gününde numuneler kür solüsyonlarından çıkarılarak, orta kısımlarından alınan örnekler seramik havanda etanol ile dövülmüştür. Numuneler tam kuruma için 24 saat desikatörde tutulmuş Netzsch STA 449 Jupiter TGA-DTA analizörü ile 40°C -1100 °C arası ısıtılarak ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Ardından DTG grafiği kullanılarak, ağırlık kaybının olduğu sıcaklık aralıkları belirlenmiştir. Bu aralıklardan ilki (400-450°C arası) ile kalsiyum hidroksit (CH) ve ikincisi (650-800°C arası) kullanılarak CaCO₃ oranları belirlenmiştir.

2.7. Basınç dayanımı testi

Basınç dayanımı testi için gerekli çimento harcı numuneler Tablo 1’de belirtilen çimento hamuru numunelere çimento: kum oranı 1:3 olacak şekilde kum eklenerek hazırlanmıştır. Numuneler ASTM 305 standardına göre karıştırılmıştır. Hazırlanan taze çimento harçları 5 x 5 x 5 cm³ küp numune kalıplarına alınarak 24 saat rutubetli ortamda tutulmuştur. Ardından kalıplar sökülerek, numuneler test gününe kadar Bölüm 2.6’da belirtilen nedenlerden dolayı ÜMÖ sulu besi yeri içinde kür edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları 3., 7., 28. ve 90. günlerde ASTM 109 standardına göre ölçülmüştür. Bakteri içeren numunelerde *S. pasteurii* hücre sayısı $2 \times 10^8 - 8 \times 10^8$ CFU/mL arasında tutulmuştur. Test sırasında yükleme hızı 1.3 kN/ sn. olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı testi için karışımlar iki kere tekrarlanmış, her test gününde üçer numune test edilmiştir. Toplam 6 numuneden ortalama ve standart sapma belirlenmiştir.

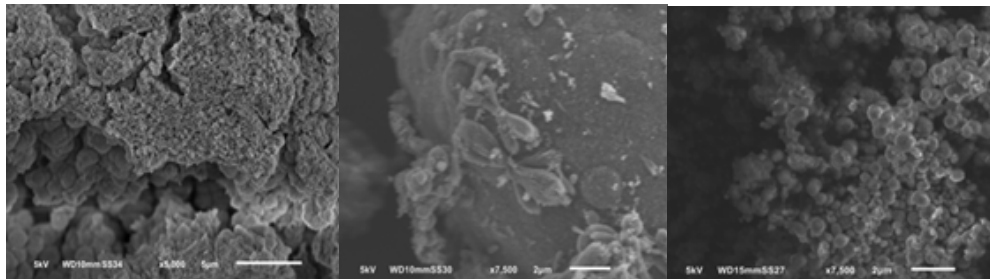
2.8. Çatlaklarda kendiliğinden iyileşmenin sağlanması

Kendiliğinden iyileşmenin belirlenebilmesi çimento harçları 40 x 40 x160 mm kirişler olarak hazırlanmış ve 24 saat rutubetli ortamda tutulmuştur. Harçlar hazırlanırken 6 mm uzunluğunda mikro sentetik fiber kullanılmıştır (700 g / m³ harç). Ardından kalıplar sökülerek, çatlak kapanması gözlemlenene kadar ÜMÖ sulu besiyeri içinde kür edilmiştir. Yedinci günün sonunda numuneler servo hidrolik deplasman kontrollü bir cihaz kullanılarak eğilme yükü altında çatlatılmış ve çatlak boyutu 0.5 mm’den küçük tutulmuştur. Yükleme gerinim kontrollü yapılmış ve hızı 0.005 mm/sn olarak belirlenmiştir. Yükleme sırasında çatlak oluşumu takip edilmiş ve çatlak oluştuğu anda yükleme durdurulmuştur. Çatlaklar oluşturulduktan sonra kirişler 50 gün boyunca Ca(NO₃)₂ içeren ÜMÖ sulu besiyeri içinde kür edilmiştir. Kendiliğinden iyileşmenin sağlanması için kür suyuna [Ca⁺²] kaynağı olarak Ca(NO₃)₂.4H₂O (26 g/L su) eklenmiştir.

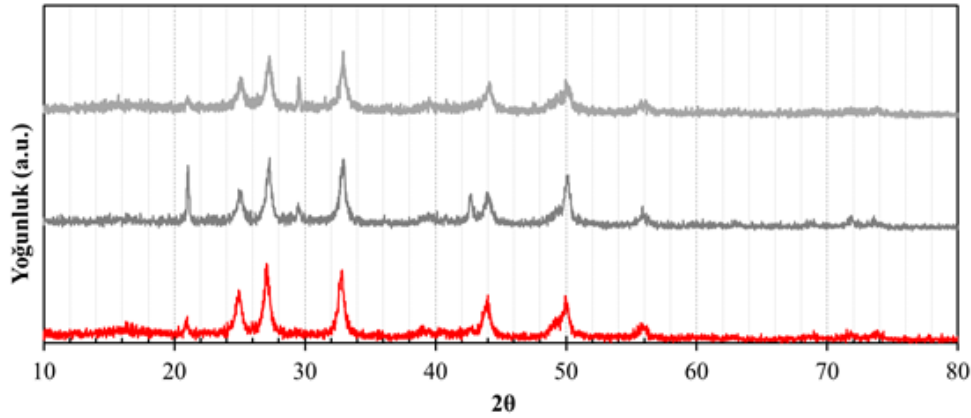
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Bakterilerin sulu ortamda CaCO₃ çökeltilmesi:

Kullanılan sulu besi yerlerinin ve eklenen [Ca⁺²] kaynağının biyomineralizasyona olan etkisini incelemek için ÜMÖ besi yerinde büyütülen bakteri kültürüne farklı [Ca⁺²] kaynakları eklenmiştir. Şekil 2 toplanan biyolojik CaCO₃ için yapılan SEM analizini göstermektedir. ÜMÖ besi kültüründe büyütülen hücrelere Ca(NO₃)₂ eklenmesi vaterit çökmesi gözlemlenmiştir. SEM analizini destekleyici olarak bu numunelere XRD analizi de yapılmıştır. Şekil 3, ÜMÖ Besiyerinde büyütülmüş hücre kültüründen elde edilen biyominerallerin XRD analizlerini özetlemektedir. Solüsyonlarda kalsiyum kaynağı fark etmeden çoğunlukla vaterit kristallerinin çöktüğü belirlenmiştir. Kullanılan katkı malzemeleri de sonucu değiştirmemiştir. Bu iki analiz sonucuna bakıldığında ÜMÖ besi yeri ile hücreler vaterit kristallerinin çökmesini sağlamıştır. Vaterit bir ara faz olup, genellikle doğada çok nadir gözlemlenmektedir. Ancak biyomineralizasyon ile bu ara faz çok rahat bir şekilde çökeltilmektedir (S Mann 2001). Belirtilmesi edilmesi gereken diğer bir noktada çöken CaCO₃ çöken fazın vaterit ya da kalsit olması substrat malzemenin kimyasal birleşenleri ile de ilgilidir (Rodriguez-Navarro vd. 2012). Bu sebep ile kalsiyum esaslı çimento hamuru içinde kalsit gözlemlenmesi daha olasıdır (Z.B. Bundur, Kirisits, ve Ferron 2015).



Şekil 2: ÜMÖ besi yerinde *S. pasteurii* hücreleri ve Ca(NO₃)₂.4H₂O ile elde edilen ürünün (CaCO₃) SEM görüntüleri (a) Katkı malzemesiz (b) Hava sürükleyici katkı ile (c) Süperakışkanlaştırıcı ile

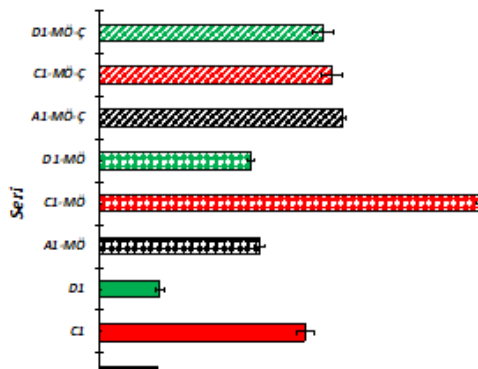


Şekil 3: ÜMÖ besi yerinde *S. pasteurii* hücreleri ve $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ile elde edilen ürünün (CaCO_3) XRD analizleri (a) Katkı malzemesiz (b) Hava sürükleyici katkı (HSK) ile (c) Süperakışkanlaştırıcı (SP) ile

3.2 Katkı malzemelerinin ve bakteri kültürünün priz süresine olan etkisi

Kendiliğinden iyileşen betonun geliştirilmesindeki en önemli sorunlardan biri hücrelerle beraber maya özütü kullanımının priz süresini kullanılabilir limitlerin üstüne çıkarmasıdır. Çalışmalarında çimento hamuruna eklenen ÜMÖ besi yeri ve bakteri kültürünün priz süresini belirgin bir şekilde uzattığı belirlenmiştir (Bundur vd. 2015). Ayrıca bu uzamanın maya özütü (çimento ağırlığının %1'i kadar) kullanımı ile doğrudan ilişkili olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde Wang (J. Wang 2013) kullanılan maya özütü oranının çimento ağırlığının %0,35'inden %0,85'e çıkarılmasının priz süresini belirgin olarak uzattığı ve hamurun sertleşmesini geciktirdiğini belirlemiştir. Bunu en önemli nedeninin maya özütü içinde bulunan karbonhidratların geciktirici olarak etki etmesidir (Bolobova ve Kondrashchenko 2000). Şekil 4, ÜMÖ besiyeri ve besiyerinde büyütülen bakteri kültürünün çimento hamurunun priz süresine olan etkisini göstermektedir. Beklenildiği gibi hem ÜMÖ besi yeri hem de bu besi yerinde büyütülmüş bakteri kültürü priz süresini uzatmıştır. Bakteri kültüründe metabolik aktiviteler sonucu parçalanmış maya özütünden sentezlenen iyonların priz süresini daha da belirgin bir şekilde uzattığı düşünülmektedir. Bu sebep ile Amiri (Amiri ve Bundur 2018) maya özütü yerine atık bir ürün olan mısır mäsasyon sıvısının kullanılmasının priz süresindeki bu olumsuz etkileri azaltacağını belirtmiştir. Alternatif atık malzemelerin kullanılması bakteriler ile kendiliğinden iyileşmenin pratikte kullanılmasını daha olası kılacaktır.

Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı 100 kg çimentoya 1 kg olacak şekilde kullanılmıştır. Üreticiden elde edilen kullanım detaylarında bu oran 100 kg çimentoya 0,5 kg ve 1,5 kg arasında sınırlandırılmıştır. Ayrıca, yine üreticinin belirttiği şekilde karışım ilk su/solüsyon miktarının %70 ile yapılmış, son 1 dakika da geri kalan suya/solüsyona süper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Bu açılarından ne oran da ne de kullanım şeklinde bir hata mevcuttur. Karboksil eter bazlı bu süperakışkanlaştırıcının neden böyle bir etki yaptığı bilinmez iken, besi yeri ve bakteri kültürü ile olan etkileşimi daha detaylı inceleme gerekmektedir. Bunun için özellikle süperakışkanlaştırıcı eklenmesi ile yüzey yüklerinde ve sulu ortamlardaki iyon konsantrasyonu değişimleri incelenmelidir.



Şekil 4: ÜMÖ besi yeri ve besi yerinde büyütülen bakteri kültürü ile hazırlanan çimento hamuru numunelerinin priz sürelerinin kontrol numunelerine (A1, C1 ve D1) olan bağlı oranları; MÖ: Maya özütü. A serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento; C serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento + SP ; D serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento + HSK. Su / Solüsyon- Çimento oranı 0.45 kullanılmıştır. Barlar üç tekrardan elde edilen ortalamayı, hata çubukları standart sapmayı göstermektedir.

3.2 Çimento hamuru içinde ürün/CaCO₃ oluşumu ve mikro yapısındaki değişim

Çimento hamuru içinde biyomineralizasyonu gözlemlemek amacıyla TGA yapılmıştır. Tablo 2, tüm seri çimento hamurları için 3,7 ve 28. Günde CaCO₃ ve CH yüzdeleri özetlemektedir.

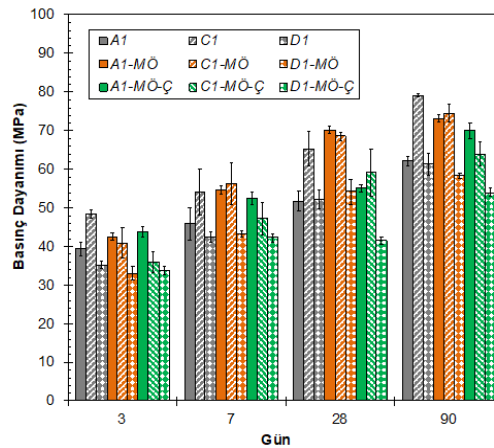
Tablo 2: Tüm seri çimento hamurları için 3, 7 ve 28 günlük CH ve CaCO₃ miktarlarının kontrol numunelerine (A1, C1 ve D1,) göre bağıl oranı; MÖ: Maya özütü; A serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento; C serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento + SP; D serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento + HSK. Su/ çimento ve solüsyon/çimento oranı 0,45 olarak kullanılmıştır

Numune Adı	3 Gün		7 Gün		28 Gün	
	CH	CaCO ₃	CH	CaCO ₃	CH	CaCO ₃
A1	9,9	7,4	8,6	5,9	8,5	6,0
C1	10,4	7,7	9,0	6,3	16,0	11,0
D1	11,1	8,5	10,0	6,8	13,2	9,1
A1-MÖ	4,2	6,9	7,7	6,8	11,3	7,3
C1-MÖ	8,0	7,9	9,0	7,5	11,6	7,5
D1-MÖ	8,0	7,3	8,2	6,6	12,3	7,1
A1-MÖ-Ç	4,3	5,0	8,1	7,2	9,3	6,8
C1-MÖ-Ç	1,2	3,1	4,1	5,8	10,7	7,8
D1-MÖ-Ç	2,8	4,5	3,1	4,9	9,0	7,0

Bakteri kültürünün besi yeri ile çimento hamuru içine atılması çimento hamuru içine CaCO₃ miktarında bir artış sağlamamıştır. Bazı numunelerde (C1 ve D1) gözlemlenen belirgin artış CH'in karbonizasyonu dolayısıyla olduğu düşünülmektedir. Bu sonuç hücrelerin kullanım amacı ile uyusmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda bakterilerin karışımdan sonra en az yarısının canlı kaldığını ve endospor olarak yüksek alkali ortama dayanabildikleri belirlenmiştir (Z.B. Bundur, Bae, vd. 2017; Z.B. Bundur, Amiri, vd. 2017). Ancak, hücreler canlı olmalarına rağmen kür suyu ile sağlanan besilere ulaşabilmeleri yine tartışmalıdır. Bu sebeple hücrelerin ancak çatlak oluşuktan sonra oksijen ve besilerine ulaşabileceği ve biyomineralizasyona sağlayabileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra bakterilerin biyomineralizasyon sağladıktan sonra canlı kalabilmeleri tartışmalıdır. Birçok hipoteze göre bakteriler CaCO₃ çekirdeklenmesini sağladıktan sonra ölmektedir. Biyomineralizasyonun çimento hamurunun içinde oluşmaması kendiliğinden iyileşme açısından olumlu bir etki sağlayacağı düşünülmektedir.

3.3 Bakteri kültürünün basınç ve eğilme dayanımına olan etkisi

Kendiliğinden iyileşmeyi sağlaması için çimento harcı içine katılan bakterilerin harcın performansına olan etkisinin belirlenmesi, geliştirilen katkının uygulanabilmesi için en önemli etkenlerden biridir. Bu amaçla Tablo 1'de belirtilen numune serileri için harçlar hazırlanmış ve basınç dayanımları Şekil 5'te özetlenmiştir.



Şekil 5: ÜMÖ besi yeri ve besi yerinde büyütülen bakteri kültürünün çimento harcının basınç dayanımına olan etkisi; MÖ: Maya özütü; A serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento; C serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento + SP; D serisi: su/ÜMÖ /Bak. Kültürü + Çimento + HSK. Su/ çimento ve solüsyon/çimento oranı 0,45 olarak kullanılmıştır Barlar 6 tekrardan elde edilen ortalamayı, hata çubukları standart sapmayı göstermektedir.

Basınç dayanımı testlerine göre su yerine ÜMÖ besi yerinin kullanılması (A1- MÖ) basınç dayanımındaki bu artışı değiştirmemiştir. Bu davranış C ve D serisi numunelerde de gözlemlenmiştir. Mikroorganizmaların çimento harcına eklenmesi basınç dayanımını olumsuz etkilememiştir ancak daha önceki çalışmalarında artırıcı bir etki gösterdiği belirlenmiş (Basaran Bundur, Kirisits, ve Ferron 2015) ve bu çimento hamuru içindeki CaCO₃ oranındaki artışla ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada TGA sonuçlarına göre hücrelere çimento hamuru içinde biyomineralizasyon reaksiyonlarını tetiklememiştir. Dolayısı ile çimento harcı içine katılan bakterilerin basınç dayanımını arttırmamaları bununla açıklanabilir.

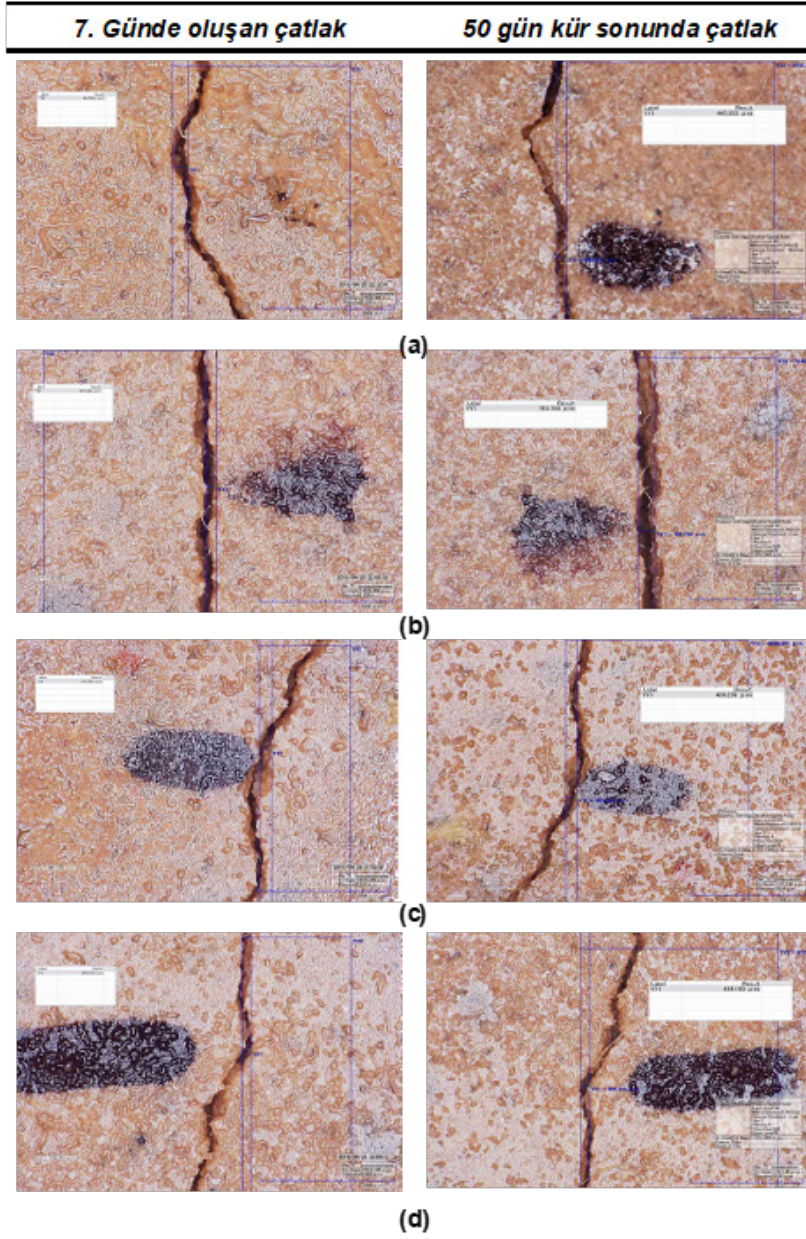
Her ne kadar, bakterilerin basınç dayanımına olumsuz bir etkisi yok dense de bu davranış HSK ve bakteri içeren numunelerde gözükmemiştir. Bu numunelerde basınç dayanımında belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Bunun bir olası açıklaması bu süre zarfında bakterilerin ölmesi ve bu hücrelerin zaman içinde tahrip olmasıdır. Tahrip olan hücrelerin yerini hava boşlukları almaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda HSK kullanımının bakterilerin canlılığını olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir (Başaran Bundur, Amiri, vd. 2017). Ayrıca, bu hücreler canlı kalabilseler bile çoğunluğunun endospor oluşturduğu bilinmektedir (Başaran Bundur, Bae, vd. 2017). Endosporlar protein içerikli olup, zamanla yüksek alkali ortamda parçalanıp yerine hava boşlukları oluşmaktadır (Erşan, De Belie, ve Boon 2015). Bu sebeple besi yeri ve özellikle bakteri kültürü içeren harçların basınç dayanımlarında uzun vadede düşüş gözlenmesi mümkündür. Bu problem uygulamanın yapısal elemanlarda kullanılmasında ileri aşamalarda sorun yarabilmektedir. Bu nedenle bu uygulamanın şu anki bulgular ile yapısal olmayan harçlarda kullanılması daha uygundur.

3.4 Biyomineralizasyon ile kendiliğinden iyileşmenin sağlanması

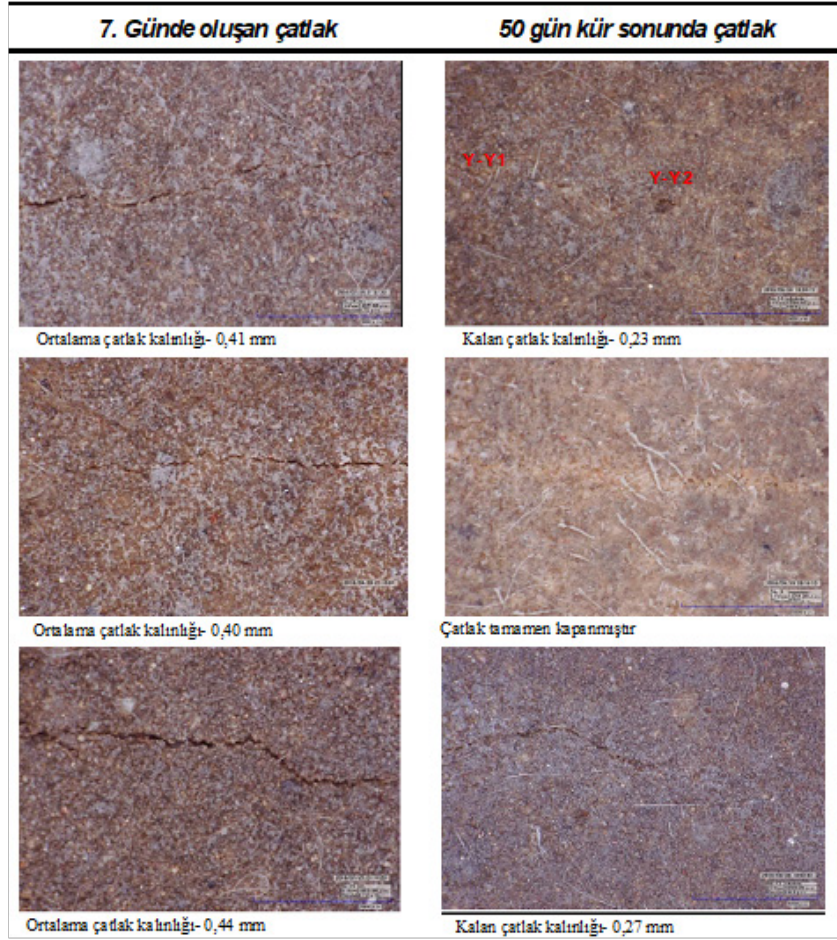
Bu çalışmada mikroorganizmaları kullanarak çimento esaslı malzemede kendiliğinden iyileşmenin gerçekleşmesini amaçlamaktadır. Bu nedenle projenin en önemli adımı yukarıda belirtilen bakteri kültürü kullanımının harç yüzeyinde eğilme gerilmesi altında oluşan çatlakları kapatabilmesidir. Tablo 3 ve Tablo 4 çimento harçlarında eğilme dayanımı ile oluşan çatlakların kür öncesi ve sonrası çekilen optik mikroskop görüntülerini içermektedir.

Beklenildiği üzere, bakteri içermeyen kontrol numunelerinde çatlaklarda çok az miktarda kristal oluştuğu ve çatlakların onarılmadığı gözlemlenmiştir. Bu numunelerde çatlak içinde çöken kristaller, çimento harçlarının su veya besi yerlerinde tutulmasından dolayı oluşan CH olduğu düşünülmektedir. Çimento harçlarına bakteri kültürünün eklenmesi sulu besi yerinin cinsine bakılmaksızın çatlak onarımını sağlamıştır. Çatlaklarda %80 oranında dolma gözlenirken, az da olsa kalan onarılamamış çatlakların genişliğinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 3: Kontrol serileri için 7. Günde oluşan çatlaklar ve 50 gün kür sonrasında çatlakları durumu; MÖ: Maya özütü; (a) Kontrol: Su + Çimento; (b) ÜMÖ + Çimento (c) ÜMÖ + Çimento + SP ; (d) ÜMÖ + Çimento + HSK. Su/ çimento ve solüsyon/çimento oranı 0.45 olarak kullanılmıştır. Optik resimler 3'erli numunelerden temsili seçilmiştir. Çatlak boyu 0.3-0.5 mm arası; Ölçek: 1/5000µm. Numuneler sulu besi yerinde kür altında tutulmuştur.



Tablo 4: Bakteri içeren numuneler için 7. Günde oluşan çatlaklar ve 50 gün kür sonrasında çatlakları durumu; MÖ: Maya özütü; (a) Bakteri kültürü + Çimento (b) Bakteri kültürü + Çimento + SP ; (d) ÜMÖ + Çimento + HSK. Su/ çimento ve solüsyon/çimento oranı 0.45 olarak kullanılmıştır. Optik resimler 3'erli numunelerden temsili seçilmiştir. Çatlak boyu 0.3-0.5 mm arası; Ölçek: 1/5000µm. Numuneler sulu besi yerinde kür altında tutulmuştur.



Hiçbir koruma kullanılan bakterilerin sayısı gerek çimento hamurunun sertleşmesinden dolayı oluşan gerilme gerek besi yetersizliğinden karışından sonra gün geçtikçe azalmaktadır (Basaran 2013). Bu nedenle belirli bir gün sonunda biyomineralizasyonu gerçekleştirecek kadar yeterli hücre kalmamaktadır. Bundur vd. (Başaran Bundur, Bea vd. 2017) yaptığı çalışmada çimento- esaslı malzemelerde biyomineralizasyonun gözlemlenmesi için 1 gram harçta hücre miktarının en az 105 hücre olması gerektiği bulunmuştur. Benzer şekilde, Wang (2013) ve Ersan vd. (2015) biyomineralizasyonun 1 gram harçta hücre sayısının en az 106 hücre olduğu zamanlarda gerçekleştiği belirtmiştir. Ancak CEM I 42.5 R kullanılarak hazırlanan bu harçlarda hücre sayısı ancak 7 gün sonunda 2×10^5 hücre / g çimento harcı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada çatlak onarımı için en önemli parametre hücre canlılığıdır. Bu nedenle bu araştırma ile basit bir şekilde hiçbir koruma kullanmadan çimento harcına atılan bakteriler ile ancak erken yaştaki çatlakların (örn: rötre çatlakları) onarılacağı sonucuna varılmıştır. Eğer daha geç yaşta çatlak onarımı planlanıyorsa ya spor kullanımı ya da koruma bariyerlerinin kullanımı düşünülmelidir.

İlginç bir şekilde süper akışkanlaştırıcı kullanımı hem ÜMÖ hem de ÜMMS besi yeri ile eklenen bakterilerin çatlakları görsel olarak daha iyi kapatmalarını sağlamıştır (C ve CB serileri). Bunun tam olarak nedeni bilinmemekle beraber benzer bir etki sulu besi yerinde elde edilen çökeltilerde de gözlemlenmiştir. Süper akışkanlaştırıcı kullanımı yüksek yoğunluk değeri ile kalsit çökmesini tetiklemiştir. Bu katkı malzemesinin yüzey aktif bir madde olması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Ancak bu etkinin daha iyi açıklanabilmesi süper akışkanlaştırıcıların bakteri canlılığına ve biyomineralizasyon mekanizmasına olan etkisinin daha derin bir araştırma yapılması gerekmektedir.

Projede incelenen diğer bir katkı malzemesi de HSK'dır. Süperakışkanlaştırıcılara kıyasla çatlak kapanmasını özellikle ÜMÖ besiyeri ile kullanıldığında olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Çatlaklarda görsel olarak boşluklu bir kapanma olmuş, çatlak içinde çöken CaCO_3 miktarının görsel olarak diğer serilerden daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bunun önemli bir nedeni kullanılan HSK'nın ÜMÖ besiyeri kullanılarak çimento harcı içine eklenen bakterilerin canlılığına olan etkisi olduğu düşünülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda HSK kullanımının ÜMÖ besiyeri ile çimento harcı içine katılan bakterilerin canlılık oranını düşürdüğü gözlemlenmiştir (Bundur vd. 2017). Araştırmacılar bunu HSK'nın çalışma mekanizması ile ilişkilendirmişlerdir. HSK kullanımı ile oluşan hava boşluklarının içine mikroorganizmaların kolayca yerleşebileceği ancak gerekli besiyerinin bu boşluklara girememesinden bakterilerin sayısının azaldığı belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada hiçbir koruma kullanılmadan büyütüldükleri sulu besiyeri ile çimento harcına katılan *S. pasteurii* hücreleri ile eğilme gerilmesi altında oluşan çatlakların kendi kendine iyileşmesini incelemiştir. Bu proje sonunda elde edilen veriler ile çatlak onarımı ve biyomineralizasyon mekanizması daha iyi anlaşılmış, pratikte uygulanması için daha belirgin bir yöntem elde edilmiştir. Bu proje sayesinde geliştirilen bu biyomineralizasyonun basit bir yöntem ile çatlak onarımı için kullanılabilmesi gösterilmiştir. Bakteri kültürünün çimento hamurunun içine katılması malzemenin mikro yapısını ve dayanımını etkilememiştir. Piyasada sıkça kullanılan süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı (HSK) gibi kimyasal katkı malzemelerinin biyomineralizasyona bir etkisi olmamıştır. ÜMÖ besiyerinde büyütüldükten sonra çimento harcına katılan bakteriler erken yaşta (7.Gün) oluşan 0.3mm'lik çatlakların kendiliğinden iyileşmesini sağlamıştır. Çatlaklar gözle görülür şekilde kapanırken, çatlak içinde ürün/ CaCO_3 oluşumu belirlenmiştir. Süperakışkanlaştırıcıların biyomineralizasyon ve çatlak onarımı üzerine belirgin bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Yöntemin geliştirilmesi için bu etkinin daha derin bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Benzer şekilde HSK kullanımının olumsuz etkileri incelenmelidir. Bu yöntem ile çimento harçlarında sadece erken yaşta çatlak onarımı sağlanmıştır. Bu özellikle rötre çatlakları için etkili bir kullanım alanı olabilir. Geliştirilen yöntem ile rötre çatlaklarının azalması ya da onarılması üzerine olan etkileri incelenmelidir.

TEŞEKKÜRLER

Bu proje TÜBİTAK-3501 Kariyer Geliştirme Programı (114M308) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projede yapılan tüm masraflar TÜBİTAK tarafından karşılanmıştır. Ayrıca, optik resimlerin çekilmesindeki desteklerinden dolayı EVATEG araştırma merkezi ve Prof. Mehmet Arık'a teşekkür ederiz. BASF, Nuh Çimento ve KORDSA'ya malzeme destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Achal, Varenayam, Xiangliang Pan, and Nilüfer Özyurt. 2011. "Improved strength and durability of fly ash-amended concrete by microbial calcite precipitation." *Ecological Engineering* 37 (4). Elsevier B.V.: 554–59. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.11.009.

Amiri, Ali, and Zeynep Başaran Bundur. 2018. "Use of corn-steep liquor as an alternative carbon source for biomineralization in cement-based materials and its impact on performance." *Construction and Building Materials* 165: 655–62. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.070.

Basaran, Zeynep. 2013. "Biomaterialization in Cement Based Materials: Inoculation of Vegetative Cells." Ph.D. Dissertation. Faculty of Civil, Architecture and Environmental engineering, University of Texas at Austin, Austin, TX, U.S.A.

Bolobova, A V, and V I Kondrashchenko. 2000. "Use of Yeast Fermentation Waste as a Biomodifier of Concrete (Review)." *Applied Biochemistry and Microbiology* 36 (3): 205–14.

Bundur, Z.B., S. Bae, M.J. Kirisits, and R.D. Ferron. 2017. "Biomaterialization in Self-Healing Cement-Based Materials: Investigating the Temporal Evolution of Microbial Metabolic State and Material Porosity." *Journal of Materials in Civil Engineering* 29 (8). doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001838.

- Bundur, Z.B., M.J. Kirisits, and R.D. Ferron. 2015. "Biomineralized Cement-Based Materials: Impact of Inoculating Vegetative Bacterial Cells on Hydration and Strength." *Cement and Concrete Research* 67: 237–45. doi:10.1016/j.cemconres.2014.10.002.
- Bundur, Zeynep Başaran, Ali Amiri, Yusuf Çağatay Ersan, Nico Boon, and Nele De Belie. 2017. "Impact of air entraining admixtures on biogenic calcium carbonate precipitation and bacterial viability." *Cement and Concrete Research* 98 (January): 44–49. doi:10.1016/j.cemconres.2017.04.005.
- Erşan, Yusuf Çağatay, Nele de Belie, and Nico Boon. 2015. "Microbially induced CaCO₃ precipitation through denitrification: An optimization study in minimal nutrient environment." *Biochemical Engineering Journal* 101. Elsevier B.V.: 108–18. doi:10.1016/j.bej.2015.05.006.
- Mann, Stephan. 2001. *Biomineralization: Principles and Concepts in Bioinorganic Materials Chemistry*. New York: Oxford.
- Muynck, Willem De, Nele De Belie, and W Verstraete. 2010. "Microbial carbonate precipitation in construction materials : A review." *Ecological Engineering* 36: 118–36. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.02.006.
- Rodriguez-Navarro, Carlos, Fadwa Jroundi, Mara Schiro, Encarnación Ruiz-Agudo, and María Teresa González-Muñoz. 2012. "Influence of substrate mineralogy on bacterial mineralization of calcium carbonate: Implications for Stone Conservation." *Applied and Environmental Microbiology* 78 (11): 4017–29. doi:10.1128/AEM.07044-11.
- Sahmaran, Mustafa, Gurkan Yildirim, and Tahir K. Erdem. 2013. "Self-healing capability of cementitious composites incorporating different supplementary cementitious materials." *Cement and Concrete Composites* 35 (1). Elsevier Ltd: 89–101. doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.08.013.
- Stocks-Fischer, Shannon, Johnna K Galinat, and Sookie S Bang. 1999. "Microbiological precipitation of CaCO₃." *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1563–71.
- Tittelboom, Kim Van, and Nele De Belie. 2013. "Self-healing in cementitious materials—A Review." *Materials* 6 (May): 2182–2217. doi:10.3390/ma6062182.
- Wang, J.Y., D. Snoeck, S. Van Vlierberghe, W. Verstraete, and N. De Belie. 2014. "Application of hydrogel encapsulated carbonate precipitating bacteria for approaching a realistic self-healing in concrete." *Construction and Building Materials* 68 (October). Elsevier Ltd: 110–19. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.06.018.
- Wang, J.Y., H. Soens, W. Verstraete, and N. De Belie. 2014. "Self-healing concrete by use of microencapsulated bacterial spores." *Cement and Concrete Research* 56 (February). Elsevier Ltd: 139–52. doi:10.1016/j.cemconres.2013.11.009.
- Wang, Jianyun. 2013. "Self-healing concrete by means of immobilized carbonate precipitating bacteria." Ghent University, Belgium.
- Wang, Jianyun, Kim Van Tittelboom, Nele De Belie, and Willy Verstraete. 2012. "Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete." *Construction and Building Materials* 26 (1). Elsevier Ltd: 532–40. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.06.054.
- Wiktor, Virginie, and Henk M. Jonkers. 2011. "Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete." *Cement and Concrete Composites* 33: 763–70. doi:10.1016/j.cemconcomp.2011.03.012.

Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin (ÖTL) Sıvılaştırılarak Geri Dönüşümünün Araştırılması

Investigate The Liquefaction Process of The Waste Tires

Hasan ERYILMAZ, Kazım Onur DEMİRARSLAN

* Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Artvin

Geliş Tarihi : 06.02.2019

Kabul Tarihi : 28.05.2019

ÖZET

Günümüzde ulaşım teknolojileri geliştirme yatırımlarının önemli bir bölümü, karayolu ulaşımı üzerine yoğunlaşmış bulunduğundan, ister bireysel kullanım, ister toplu taşıma, isterse de yük taşıma olsun, karayolu taşımacılığı esnek ve daha kişiye özel planlanabilir olduğundan; diğer taşıma yöntemlerinden daha pratik ve kolay faydalanılabilir hale gelmiştir. Ancak karayolu taşımacılığında kullanılan araçlar, çevreye olan etkileri bakımından ele alındığında, birçok çevresel problemle karşılaşmaktadır. Bu problemlerden önemli ve göz ardı edilemez bir tanesi de, araçlarda bulunan ve ekonomik ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) atıklarının nasıl değerlendirileceğidir. Bu lastikler değiştirildiğinde ortaya çıkan ÖTL atıklar, çevreye duyarsız bir şekilde geliş güzel atılırsa veya toplansa bile yanlış bir şekilde yönetilirse; fare, yılan gibi birçok zararlı hayvanlara yuva olmasından, büyük yangınların çıkmasına kadar birçok olumsuz problemlere yol açmaktadır. Günümüzde yakıt üretiminden araç paspasları yapımına kadar, birçok yerde kullanılmaya başlanan bu ömrünü tamamlamış atık lastikler özellikle, toplanmasından işlenmesine kadar birçok işlemde geçmekte ve oldukça maliyetli olmaktadır. Ancak dünyada, ÖTL atıklarına ekonomik çözümlerin bulunması için yapılan birçok çalışma da, halen devam etmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada, atık lastiklerin sıvı yakıt olarak kullanmak amacıyla, nasıl sıvılaştırılarak geri dönüşümünün gerçekleştirilebileceği araştırılmıştır. Çözücü olarak piyasadan kolaylıkla elde edilebilecek; mazot, arap sabunu, organik asitler karışımı, vazelin, parafin, yanık yağ gibi maddeler ile laboratuvarında var olan H_3PO_4 , etanol, 1,2-dikloroetan, dioksan, klorobenzen, o-ksilen, benzil alkol ve TÜPRAŞ ürünü heavy neutral oil kullanılmış; değişik sıcaklıklarda farklı sonuçlar elde edilmiş ve kaynama noktası 340-360°C arasında olan atık yanık yağların etkili ve ekonomik olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık lastik, geri dönüşüm, sıvılaştırma.

ABSTRACT

In recent years, with the increase of transportation technologies, road transportation in particular has gained great importance. Vehicles used in road transportation cause many problems when the environment is taken into consideration. One of these environmental problems is represented by the tires used in vehicles when they complete their economic life. When these tires are replaced, they cause many environmental problems if they are managed in an insensitive manner. At the present time, the recycling of the waste tires started to be done in many areas, like fuel production and vehicle mats. Nevertheless, the solutions are quite costly because of going through many processes, from collection of waste tires to production of final goods. However, there are studies done all over the world to find economic solutions to this problem. In this study, it was researched how to recycle waste tires by liquefaction. H_3PO_4 , ethanol, 1,2-dichloroethane, dioxane, chlorobenzene, o-xylene, benzyl alcohol, heavy neutral oil of TÜPRAŞ and other market materials products, such as diesel, arabic soap, organic acid mixture, vaseline, paraffin, waste burn machine oil have been used as solvents and different results have been obtained at different temperatures. It has been understood that waste oils having a boiling point of 340-360°C can be used effectively and economically in the liquefaction of waste tires.

Keywords: Waste tires, recycling, liquefaction.

GİRİŞ

Otomotiv sanayisindeki üretim artışına paralel olarak lastik üretimi de artmaktadır. Bunun sonucu olarak atık lastik miktarı da her yıl katlanarak artmaktadır. Dünyada her yıl 1,5 milyar kadar ÖTL çıkmakta ve bunların ağırlığı yaklaşık 17 milyon tona ulaşmaktadır (Rowhani, 2016), Türkiye’de her yıl yaklaşık 180.000–300.000 ton civarında ÖTL oluştuğu görülmüştür. “Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği ve Uygulamaları 2018” raporuna göre, 2017 yılında toplanması gereken ÖTL miktarı 236660 ton, geri toplanabilen ÖTL miktarı ise ancak 184313 ton olmuştur. Bu sayı, Avrupa Birliği Ülkeleri’nde 2008 yılı verilerine göre 3,2 milyon tona ulaşmaktadır (Yakaboylu 2010; Karabörk 2012, URL-1). Bu nedenle atık lastiklerin kontrol altında tutulması, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük bir sorun meydana getirmektedir. Bu atıkların değerlendirilerek geri dönüşümünün sağlanma işlemleri, kullanım sahalarına ve yapım zorluklarına göre farklılıklar göstermekte ve büyük çaba gerektirmektedir. Atık lastiklerin çeşitli endüstriyel işlemlerden geçirildikten sonraki geri dönüşümleri için doğrudan değerlendirme, malzeme olarak değerlendirme, termik değerlendirme ve ham maddesel değerlendirme olarak genel anlamda dört ayrı yöntemden yararlanılabilmektedir (Koçak & Alparslan, 2011). Ömrünü tamamlamış lastiklerin açık alanlarda depolanması; beraberinde bazı riskli durumları da gündeme getirmektedir. Dünyadaki örnekler ele alındığında; haşere ve kemirgenlerin üremesi için uygun ortam oluşturmaktadır. Diğer yandan bu lastiklerin boşluklu yapıda olması sebebiyle önüne geçilemeyen yangınlara sebep olduğu gözlenmiştir. Yangınlar sırasında çevreye yayılan zehirli gazlar atmosfer kirliliğine sebep olmaktadır (Tunç 2009). Hava şartları nedeniyle içlerinde biriken su sivrisine üremesi için uygun ortam oluşturmakta bu nedenle toplum sağlığını tehdit etmektedir. Şekil 1’de Türkiye’de gelişmiş güzel atılmış atık lastiklerin oluşturduğu çevre kirliliği örnekleri görülmektedir.



Şekil 1. Çevreye atılan ÖTL için Türkiye’den örnekler

En küçük bisiklet tekerleğinden, açık maden ocaklarında kullanılan dev yüklem araçlarının tekerleklerine kadar bütün bu lastikler; içine aktif karbon, çeşitli inorganik dolgu maddeleri, katalizörler, stabilizörler, çelik takviye telleri veya naylon örgülü kord bezleri v.b. konmuş doğal veya sentetik kauçuk malzemenin, katalizörler ile birlikte yüksek sıcaklık ve basınçta, belirli şekil ve büyüklükteki çelik kalıplarda, pişirilmesiyle imal edilirler. Bu lastikler kullanılıp ekonomik ömürlerini tamamladıktan sonra ise değersiz bir atık durumuna düşmekte; çevre ve insan sağlığı için, oldukça tehlikeli bir hale gelmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesi, hem bu tehlikeyi yok edecek hem de ekonomiye katkıda bulunacaktır. Bunun için fiziksel ve kimyasal birçok metotlar geliştirilmiştir. İçinde % 30'lara varan miktarlarda karbon ve % 60'lar kadar stiren-butadien-isopren kauçuk polimeri bulunan ÖTL'ler, bu nedenle yüksek kalorifik değerleri olan (7000-8000kcal/kg) değerli birer yakıttırlar. Halen dünyada birçok çimento fabrikasında ve enerji santralinde 1300-1400°C derecelerde kömür gibi yakılarak, yanma enerjisinden, ısı ve elektrik üretiminde yararlanılmaktadır. Ayrıca aşınmaya, kopmaya ve çürümeye karşı dayanıklı olduklarından dolayı; yol yapımında asfalt içine karıştırarak yol direncini arttırmakta, spor sahası, çocuk parkı gibi yerler için esnek yumuşak döşemelerin imalatında, depreme dayanıklı, esnek duvarlı ve temelli binaların yapımında, esnek ve su geçirmez çatı kaplama malzemelerinin imalatında olduğu gibi, birçok alanda kullanılmakta, yeni kullanım alanları açmakla ilgili araştırmalar devam etmektedir (Sugözü, 2009). Örneğin; mobilya tasarımı alanında ÖTL kullanılarak çevreye duyarlı ve sürdürülebilir mobilya tasarımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Literatürdeki bulunan ve daha önceden yapılan çalışmalar incelenmiş ve farklı metotların uygulandığı görülmüştür. Örneğin bir çalışmada kömür işletmesinden alınan PDRS (Process Derived Recycle Solvent) ve bir lastik piroliz işletmesinden alınan TPO (Tyre Pyrolysis Oil) ile 400oC'lerde 1-2 saat kapalı reaktörlerde iki tür lastiğin çözünmesi incelenmiştir. Görüleceği gibi; bu sıcaklıklar, 700-800oC sıcaklıklarda kapalı ortamlarda yapılan kuru piroliz işlemine göre son derece düşük sıcaklıklardır. Amaç kömür sıvılaştırma ürünleri ile lastik sıvılaştırma ürünlerini karıştırarak karma yakıt olarak kullanmaktır. Ancak karbon siyahının, inorganik dolgu maddelerinin ve çelik tel-naylon kord bezi atıklarının filtrasyonunda zorluklarla karşılaşıldığı bildirilmiştir (Mooney,1999).

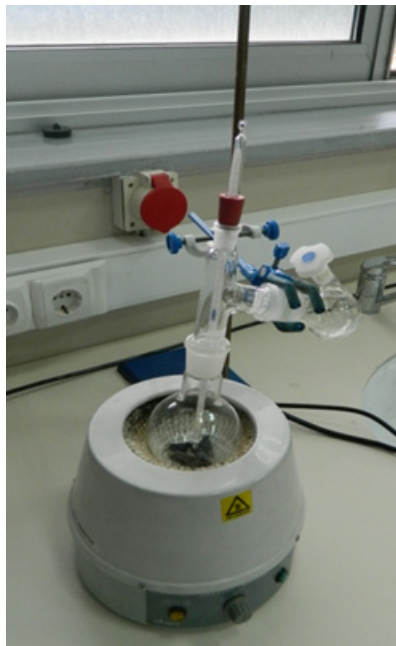
Kömürün gazlaştırılmasına benzer şekilde atık lastiklerin gazlaştırılması metodu; bu filtrasyon problemlerini ortadan kaldırır, CH_4 , CO , H_2 gibi hepsi gaz olan ve daha kolay temizlenen ürünler verirse de, $1000-1400^\circ C$ gibi yüksek sıcaklıklar ve yangın tehlikesine karşı özel önlemler ve işletmeler gerektirir (Muzenda, 2014). Benzer bir çalışmada atık lastik parçaları WLO (waste lubricant oil) içinde, $550-800^\circ C$ arasında sabit yatak bir reaktör içinde piroliz edilmişler ve lastiğin tek başına pirolizine göre daha iyi bir verimle yağlı ürün elde edilmiştir. Ancak lastikle beraber bir miktar atık yağda pirolize uğramıştır (Quek, 2005). Bir diğer çalışmada ise lastikler $450-476^\circ C$ sıcaklıkta N_2 atmosferi altında erimiş çinko metali içinde piroliz edilmiştir. Piroliz gazları ve piroliz yağı reaktörden N_2 gazı ile dışarıya alınırken, çelik teller dibe çökmüş, karbon siyahı ve diğer katılar erimiş çinko üzerinde toplanmıştır (Riedewald, 2016).

Yapılan bu çalışmada ise düşük kaynama noktalı etil alkolden başlanarak, yüksek kaynama noktalı kullanılmış dizel motor yağına kadar, çözücü olabileceği düşünölen birçok sıvı bileşik, lastik parçalarını sıvılaştırmak amacıyla laboratuvar ortamında deneye tabi tutulmuştur. Çözücü olarak bir kısmı piyasadan kolaylıkla elde edilebilecek bir kısmı da laboratuvarda kolayca bulunabilecek mazot, arap sabunu, organik asitler karışımı, vazelin, parafin, yanık yağ gibi maddeler ile fosforik asit (H_3PO_4), etanol, 1,2-dikloroetan, dioksan, klorobenzen, o-ksilen, benzil alkol ve TÜPRAŞ ürünü heavy neutral oil kullanılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmadaki deneylerde ÖTL olarak, İspanya menşeli, Firestone marka F-580 dört mevsim tipi tubeless otomobil lastiğinin çelik telsiz yanak kısımlarından alınan parçalar kesilerek kullanılmıştır. Çalışmada bulunan çözücülerden arap sabunu, vazelin ve parafin, piyasadan alınarak kullanılmıştır. Yanık yağ, oto sanayi sitesinden elde edilmiştir. Mazot olarak OPET Ecoforce- Eurodiesel, yüksek kaynama noktalı temiz yağ olarak TÜPRAŞ ürünü heavy neutral oil kullanılmıştır. Diğer malzemeler ise Merck marka kimyasallardır. Bir alkol olan etanol ve benzil alkol, çok kullanılan polar genel çözücü olarak; 1,2- dikloroetan ve klorobenzen, kloroorganikleri temsil eden çözücüler olarak; dioksan hem su hem organik bileşiklerle çözeltiler verebilen komple bir çözücü olarak; H_3PO_4 yüksek kaynayan ve yükseltgen bir bileşik olmadığından lastiği oksidasyonla yakmadan sadece termal olarak parçalayacak inorganik bir asit olarak; diğer mazot, vazelin, parafin, yanık motor yağı, heavy neutral oil ise yine yüksek kaynayan ve piyasadan kolayca bulunacak maddeler olarak seçilmişlerdir. Parafin ise katı, fakat $50-60^\circ C$ arası sıvılaşan ve sıcakta çözücü etkisi olan bir parafinik madde olarak seçilmiştir.

$300^\circ C$ üzerindeki denemelerde, reaksiyon balonundan çıkacak su ve yağ buharlarını tutmak için Şekil 2'deki düzenek kullanılmıştır. Deneyler atmosfer şartlarında yapılmış, deney sırasında balona aşırı hava girişini ve ısınma sırasında basınç tutmasını önlemek için, soğutucu balonun ikinci boynuna sıkıştırmadan hafif bir mantar yerleştirilmiştir. $200^\circ C$ civarına kadar geri soğutucularla ısıtmalar yapılmış ve tamamen cam malzemelerle çalışılmıştır. $200^\circ C$ üzerindeki ısıtmalarda, hot plate yetersiz kaldığından, mantolu ısıtıcı sepet kullanılmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneđi

BULGULAR

Yapılan çalışmada atık lastik parçaları üzerinde aşağıdaki çözücüler denenmiş ve her bir çözücü ile elde edilen bulgular özetlenmiştir. Verilen yüzdeler lastik+çözücü toplam miktarına göre lastik parçaların yüzdesini temsil etmektedir. Örnek olarak % 20 lastik karışımı demek, reaksiyon balonuna konulan 20 g lastik parçaları ve 80 g çözücü yağ demektir. Karışımların ısıtma süreleri, ekonomik olup olmasına bakılmaksızın, çözünme gerçekleşeceği beklentisi ile benzil alkolde de olduğu gibi, altı güne kadar uzatılmıştır. Deneylerin devamında; çözünme sıcaklıkları 340°C' ye yükselince bu süreler, yarım saate kadar düşmüştür. Bu süreler mazot, arap sabunu, organik asitler karışımı, parafin, heavy neutral oil ve yanık yağ için metinde altı çizili olarak gösterilmiştir. Ancak sonuçlar azalan zaman sıralarına göre değil, aşağıda görüleceği üzere, etanolden yanık yağa kadar, çözücülerin artan kaynama noktalarına göre verilmiştir. Çalışmalardaki ağırlıklar ve yüzdeler hassas terazi ile gravimetrik olarak belirlenmiş ve düşük sıcaklık şartlarındaki sıvılaştırmalarda, yüzde oluşturacak bir gaz çıkışı gözlenmemiştir. İnorganik bir madde olan H₃PO₄ hariç diğer organik çözücülerle yapılan sıvılaştırma çalışmalarının detaylı sonuçları, artan kaynama noktalarına (K.N.) göre Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1. Çeşitli çözücülerle yapılan sıvılaştırma çalışmalarının sonuçları

Kullanılan Kimyasal	Elde Edilen Sonuçlar
H ₃ PO ₄	Yükseltgen olmayan inorganik bir sıvı olarak, geniş bir tüp içinde, birkaç parça lastik ile miktarlar tartılmadan kalitatif olarak denenmiştir. Tüp iç sıcaklığı 270°C olduğu halde asit hala su atarak kaynamaya devam etmiş, yarım saat sonra soğutulup alınan parçada hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Sonuçta sadece asidin rengini siyahlaştıracak kadar çok küçük bir yüzdenin çözüldüğü söylenebilir.
Etanol (K.N. 78 °C)	% 20 lastikli karışımın 16 saat geri soğutucuda kaynaması sonucunda lastiklerde yumuşama olmamış, lastik tekerlek halindeki sertliği aynen kalmış, sadece alkolün renginde değişim gözlenmiştir.
1,2-Dikloroetan (K.N. 83 °C)	% 20 lastik içeren karışım geri soğutucuda 46 saat kaynatılarak sonuçta %5'lik çözünme gözlenmiştir.
Dioksan (K.N. 101 °C)	% 15 lastik içeren karışım geri soğutucuda 29 saat kaynatılarak % 7'lik çözünme elde edilmiştir.
Klorobenzen (K.N. 131 °C)	% 15 lastik içeren karışım geri soğutucuda 52 saat kaynatılarak % 8'lik çözünme elde edilmiştir.
o-Ksilen (K.N. 144°C)	%20 lastik içeren karışım geri soğutucuda 95 saat kaynatılmıştır. Sonuçta sadece % 12'lik çözünme elde edilmiştir. Kalan lastik parçaları, önceleri biraz yumuşak haldeyken çözücü uçunca sertleşme eğilimi göstermişlerdir.
Benzil alkol (K.N. 205 °C)	% 10 lastik içeren karışım, 6 gün geri soğutucuda kaynatılmıştır. Lastikler soğutulup, yıkılarak, kurutulduktan sonra sadece % 22 ağırlık kaybı bulunmuştur. Kalan lastikler biraz yumuşak özellik göstermişler ancak zaman geçtikçe sertleşmişlerdir.
Mazot	% 7,5 lastik içeren mazot geri soğutucuda 230°C' da 5 saat süre ile kaynatılmıştır. Karışımın siyahlaştığı gözlemlendiyse de çözünmenin olmadığı belirlenmiştir. Sadece lastik ağırlıklarının 5,8 g' dan 15,2 g'a arttığı görülmüştür. Fiziksel özellik olarak çok esnek olduğu belirlenmiştir. Bununla ilgili örnek Şekil 3' de verilmektedir. Bir başka çalışmada % 16' lık karışım 42 saat 230°C' da ısıtıldığında, % 55 kadar çözünürken, gerisi yumuşak esnek parçacıklar olarak kaldığı anlaşılmıştır. Mazot ile kaynama sıcaklığı daha fazla arttırılmayınca, mazotun düşük kaynayan kısımları ayrılarak, yüksek kaynayan kısmının kullanılmasına karar verilmiştir. Atmosfer basıncında distilasyonla, 327°C' ye kadar gelen 920 mL düşük kaynayan sarı renkli kısım ayrılmış, balon dibinde 336°C'de kaynayan vişne renkli 135mL hacminde dip ürün elde edilmiştir. Bu dip ürünle hazırlanan %15 lastikli karışım, 325°C' de 7 saat ısıtılınca, hepsi sıvılaşmış, soğutulup ve n-hekzan ile inceltilerek balondan aktarılmıştır. Sonuç olarak % 5 naylon iplik elde edilmiştir. Sonraki % 20 lastikli karışım, 328°C'de 6 saat ısıtılarak sıvılaştırılmış ve % 5 naylon iplik ayrılmıştır. % 25 lastik içeren bir başka karışım 323°C'de 16 saat ısıtılınca, hepsi sıvılaşmış, n-hekzan ile inceltilerek boşaltılan karışımdan % 4 iplik, % 18 siyah renkli bir katı (karbon siyahı ve çözünmeyen inorganik diğer dolgu maddeleri) ayrılmıştır. Son olarak % 20 lastik içeren karışım 334°C'de yarım saat ısıtılmış, soğutulduktan sonra 3 defa n-hekzan ile inceltilerek yavaşça dekante edilip aktarılmıştır. Dipte kalan katı kurutulunca % 4 iplik ve % 16 siyah toz elde edilmiştir.

Tablo 1 Devam

Arap Sabunu (Organik asitler karışımı Potasyum tuzu)	% 15 lastik içeren karışım önce köpürerek su attığı gözlenmiş, sonra 290°C civarı az köpüklü bir sıvı haline gelmiştir. Maksimum 330°C'da az duman çıkararak yarım saat ısıtılarak boşaltılmıştır. Siyah renkli bir katı halinde donmuş, 12 saat kadar bekletilince vazelin gibi yumuşadığı gözlenmiştir. Suda köpürerek tamamen çözünen katıdan geriye sadece naylon iplikler kalmıştır. Yakıt olmaya uygun değilse de, metot olarak lastikte iplik tayin için kullanılabileceği anlaşılmıştır.
Organik Asitler Karışımı	Arap sabunu, lastik çözünürleştirme için iyi sonuç verince sabundan asitlendirerek organik asitler karışımı elde edilmiş ve %15 lastik karışımı 332°C 'de yarım saatte % 86 oranında çözünmüştür. Kalan ve iplikleri nedeniyle dağılmadan duran kısım da elde ezilebilecek kadar yumuşak özelliindedir. Bu da sıvı yakıt olarak uygun olmadığını göstermiştir. Ayrıca böyle asit karışımları bulmanın zorluğu bir diğer dezavantajdır.
Vazelin	% 25'lik karışım 335°C'de 31 saat kadar ısıtılmıştır. Soğutulan karışım n-hekzan ile inceltilecek kadar yumuşak ve yağlı olduğu belirlenmiştir. Hekzan uçunca geride vazelin yumuşaklığında sıvı lastik ve vazelin karışımı kalmıştır. Çözünürlüğü, mazot dip ürününden daha kötü olduğu için, bir daha denenmemiştir.
Parafin	% 25 lastik içeren karışım 330°C'de 22 saat kadar ısıtılmış ve sonucunda lastik tamamen çözünmüştür. Ancak soğutulduğunda tamamen katı bir karışım elde edilmiştir. Karışıma n-hekzan ilavesi ve 50-60°C arası ısıtılmasıyla sıvılaştırılıp yavaşça dekante edilmiş ve dipte kalan iplik ve siyah toz kalıntı kuruyunca toplam kütle % 21 oranına çıkmıştır. Sonraki çalışmada % 20 lastikli karışım, 340°C'de yarım saat ısıtılınca, oda sıcaklığından bu sıcaklığa ulaşmaya kadar geçen yaklaşık 2 saatlik zaman hariç, tamamen sıvılaşmış, boşaltılan karışımdan iplikler ve toz siyah katı kenara çekildikten sonra soğuyan ürün, ilk çalışmadan daha yumuşak bir katı vermiştir. Ancak ürünün yine de katı halde olması ve kullanılan parafinin ilave bir maliyet getirmesi nedeniyle, deney sonlandırılmıştır.
TÜPRAŞ Heavy Neutral Oil	Bu yağın özellikleri içinde verilmeyen kaynama noktası değeri atmosfer basıncında 331°C olarak bulunmuştur. İçinde % 25 lastik parçaları bulunan karışım, 215°C'de 4 gün kadar ısıtılmış, % 8 kadar çözünme elde edilmiştir. Kalan lastiklerde şişme gözlemiş ancak mazot deneyindeki kadar yumuşak olmadığı anlaşılmıştır. Sıcaklık artırılarak %25 lastikli karışım 331°C' de 8 saat ısıtılınca hepsinin sıvılaştığı gözlenmiş, % 4 oranındaki iplik ayrılmış, katı tortu ayrılmadan yağda bırakılmıştır. Son olarak % 20 lastikli karışım 338-340°C'de yarım saat ısıtılmış, sıvılaştırılarak soğutulmuş ve n-hekzan ile 3 defa inceltilecek yavaşça aktarılmıştır. Kalıntı kurutulduktan sonra % 5 iplik, % 16 siyah yağsız katı geriye kalmıştır (karbon siyahı ve inorganik dolgu maddeleri).
Yanık Yağ (YY)	Yanık yağ önce 340°C sıcaklığa kadar yavaşça ısıtılarak su ve uçucu yağlardan kurtarılmıştır. İşlem sırasında %6 ağırlık kaybı meydana gelmiş ve denemelerde bu YY kullanılmıştır. İlk olarak % 25 lastikli karışım 234°C'da 5 gün ısıtılmış ve sadece % 62 çözünme olmuştur. Sonra % 45 lastikli karışım 335°C 'da 21 saat ısıtılınca % 75 lastik sıvılaşmıştır. Bu kez % 5 lastikli karışım 24 saat 335°C' da ısıtılınca bütün lastik çözünmüş, % 8 parçalanmamış naylon iplik süzölmüştür. Son olarak % 20 lastikli YY karışımı 333-338°C arasında yarım saat ısıtılınca lastik tamamen sıvılaşmış, soğutulan karışım, 3 defa n-hekzan ile inceltilecek balondan aktarılmış, % 23 karbon siyahı ve siyah renkli çözünmeyen inorganikler karışımı ile % 5 naylon iplik geriye kalmıştır. Hekzan uçurulduktan sonra geriye kalan YY ve lastik yağı karışımının, akışkan bir sıvı olduğundan, belki filtrasyon gibi bazı işlemlerden sonra doğrudan, 5 veya 6 numara fuel oil gibi, yakıt olarak kullanılabilecek ve ayrıca çözücü olarak kullanılan YY'ın kendisi de bir yakıt olduğu için uzaklaştırılmasına da gerek kalmayacaktır.



a. Mazot ile işlem öncesi



b. Mazot ile işlem sonrası

Şekil 3. Mazot ile lastiğin ısıtılması sonucu esneklik kazanımı

Elde edilen bulgular ışığında elde edilen ürünlerden conta gibi piyasa değeri olan bir ürün eldesi denenmiştir. Buna göre yüksek kaynayan çözücülerle lastiğin sıvılaştırılması gerçekleştiği için, 3-4 mm çapında kesilmiş lastik parçaları ile bir miktar bu çözücülerden karıştırıp, hidrolik pres altında, presin elektrikle ısıtılan kalın alt ve üst plakaları arasında, demir kalıp içinde ısıtarak bütün bir parça halinde conta yapmak için de denemeler yapılmıştır. Yağ olarak mazot dip ürünü kullanarak en iyi sonuçlar alındıysa da, kopma dayanımı yüksek contalar elde edilememiştir. Örnek çalışma reçetesi aşağıdaki gibi verilebilir:

39 küçük parçadan oluşan 5 g lastik ile 0,5 g mazot dip ürünü, 280°C'deki kalıpta (eldeki cihazla sınırlı olarak çıkabilen en yüksek sıcaklık), 9 bar basınca maruz bırakılmış, 150 dakika ısınma sonrası yine basınç altında kalıp soğuduktan sonra, (uçan-taşan-yanan-kalıba bulaşan hariç), 4,13 g ağırlığında, 36 mm çapında, 3mm kalınlığında, parlak, ele bulaşmayan bir conta elde edilmiştir. Ancak küçük parçaların birbirine yapışma çizgilerinden zorlanınca yırtılmalar gözlenmiştir. Eldeki preste çıkılabilen en yüksek kalıp içi sıcaklık, alt-üst plakalar arası açık kalıp yüzeyi, cam yünleri ile iyice sarılmasına rağmen, termokupl metalik termometre ile 280°C olarak tespit edilmiştir. Eğer sıvılaştırma denemelerinde mantolu elektrikli ısıtıcılarla çıkılabilen 330-340°C gibi yüksek sıcaklıklara, preste de çıkılabilirse, kısmi sıvılaşma ile birlikte yapışma çizgileri de yok olacak ve tam bir yapışma sağlanabilecektir. Bu sıcaklıklarda lastik tamamen çözüldüğü için, ek yerlerindeki çizgilerin tamamen kaybolacağı açıktır. Böylece ÖTL parçalarından sağlam lastik döşeme-kaplama levhaları imalatının, fazladan yapıştırıcı koymaya gerek kalmadan daha ekonomik olarak yapılabileceği düşünülmektedir. Deney sonuçlarına göre elde edilen ürünler Şekil 4' de verilmektedir.



A: Kordbezi iplik parçaları, B: Karbonsiyahı ve inorganik katı dip ürün, C: lastik parçaları ve mazotla yapılan conta

Şekil 4. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ürünler

SONUÇ

ÖTL' ler, çimento fabrikaları, enerji santralleri gibi yerlerde yüksek sıcaklıklarda yakılarak değerlendirilebilmektedirler. Ancak bu tesislerin sayısı sınırlıdır. Eğer 5 veya 6 numara fuel oil gibi, daha küçük ama sayısı çok daha fazla olan işletmelerde yakıt olarak kullanılabilirse, atık yağlarla birlikte ÖTL'in de atık olarak birikmesinin önüne çok daha kolay geçilebilecek ve ikisinin birden yakıt olarak kullanılmasıyla ekonomiye de büyük katkısı olacaktır. Yukarıdaki denemelerde sıcaklık arttıkça, lastik sıvılaşmasının da arttığı görülmektedir. Lastik sıvılaştırılmasında, atmosfer basıncı şartlarında sıcaklığı 330-340°C'lere kadar çıkarılabilen çözücüler kullanılması, 700-800°C gibi yüksek piroliz sıcaklıklarına çıkmadan ve yüksek basınçlar oluşturmadan ÖTL'lerin sıvılaştırılmasında ve değerlendirilmesinde kolaylıklar sağlayacaktır. Burada yapılan işlem, sıcaklık artırılarak lastiğin, hem çözünmesinin hem de kısmi pirolizinin birlikte sağlanması ile sıvılaştırılması olduğu için, ne kadar sıcaklık artırılabilirse sıvılaştırılmanın da o kadar hızlı olacağı açıktır. Ancak artan sıcaklıklar öte yandan CO, H₂, CH₄ gibi piroliz sonucu oluşan gazların çıkışını da artıracığı için, sıvılaşma verimini de düşürecektir. Giriş kısmında belirtilen araştırmalar içinde sıcaklığı en düşük olan ve 450°C 'de yapılan çalışmada bile, piroliz ürünü gazlardan söz edilmektedir (Riedewald, 2016). Bu nedenle çalışmada görüldüğü gibi maksimum 350°C sıcaklık sıvılaştırma için yeterlidir. Kaynama noktası, bu sıcaklık civarındaki herhangi bir atık veya yanık yağ, ÖTL sıvılaştırılması için kullanılabilir. Atık lastikle birlikte; yanık yağın da ucuz bir yakıt olması nedeniyle, sıvılaştırılmış yanık yağ ve atık lastik karışımının da ucuz bir yakıt olacağı ve ÖTL yığınlarının azaltılmasına katkı sağlayacağı açıktır. Kaynama noktası düşük olan ve çok bilinen alkol, benzin, benzen, hekzan vb. gibi çözücülerle bu yüksek sıcaklıklara çıkmak, ancak yüksek basınçlı reaktörlerle sağlanabilir fakat bu da tehlike, maliyet artışı, zaman ve enerji kaybı demektir. Şekil 4'de gösterilen ve denemelerde %4-5 kadar çıkan iplik (kord bezinden) kalıntısı ve %16-23 kadar çıkan ağır metalli karbon siyahı, dip ürün olarak kalmaktadır. Bunlar da tekrar lastiklerde, değişik kauçuk uygulamalarında karbon siyahı gibi katkı maddesi olarak kullanılabilir, ya da en kötü ihtimalle, katı yakıt olarak enerji üretiminde kullanılabilirler.

Böylece yüksek verimle sıvılaştırılmış olan lastik atıklar, yüksek sıcaklıklardaki proliz işlemlerinde meydana gelen gazlaşmalar olmaksızın, bir filtrasyon işleminden sonra, katı kısımlarından süzülerek hem ağır metal artıklardan temizlenmiş olacak, hem de yakıt kazanlarında yakıt püskürtme memelerinde tıkanma olmaksızın kullanılacaktır. Bir ön çalışma olan bu metot, pilot tesis çapında denenip, sıvı karışım süzöldükten sonra bir fuel oil kazanında yakılarak pratikte test edilmelidir.

KAYNAKLAR

Demirarslan KO, (2017), Demirarslan Kişisel Fotoğraf Arşivi.

Karabörk F. (2012). Atık Araç Tekerlek Lastiklerinde Mikrodalga Devulkanizasyon Parametrelerinin Lastiğin Mekanik Özelliklerine Etkileri, Yayınlanmamış Doktora Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Koçak Y., Alparslan L. (2011). "Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

Money, D.M., Harrison, G. (1999). Liquefaction of scrap automobile tyres in defferent solvents and solvent mixtures, Fuel, 78(14), 1729-1736.

Muzenda, E. (2014). A comparative review of waste tyre pyrolysis, gasification and aaliquefaction (PGL), Processes, Intl. Conf. On Chem. Eng. and Advanced Comput. Tech., Nov. 24-25, Pretoria, South Africa.

Quek, A., Balasubramanian, R. (2013). Liquefaction of waste tires by pyrolysis for oil and chemicals-A review, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 101, 1-16.

Riedewald, F., Goode, K., Sexton, A., Sousa-Gallagher, M. J. (2016). Scrap tyre recycling process with molten zinc as direct heat transfer and solids separation fluid: A new reactor concept, MethodsX. 3, 399-406

Rowhani, A., Rainey, T. J. (2016). Scrap Tyre Management pathways and their use as a fuel-A review, Energies, 2-26.

Sugözü, İ., Mutlu İ. (2009). Atık taşıt lastikleri ve değerlendirme yöntemleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1(1), 35-46.

Tunç B., (2009). Atık Lastiklerin Yönetimi ve Monofillerdeki Fiziksel ve Kimyasal Davranışlarının İncelenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Gebze. URL-1, Hangi Lastikler Ömrünü Tamamlamış Lastiktir? Lastik Sanayicileri Derneği, <http://www.lasder.org.tr/otl-2/otl/>

Yakaboğlu, O. (2010). Atık Lastik Yönetimi ve Atık Lastik Pirolyzi Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Yarışlı Gölü (Burdur) Yakın Çevresindeki Mermer Sahalarının
Jeolojik Özelliklerinin ve Çevresel Etkilerinin Araştırılması**

**Investigation on Geological Features and Environmental Impact of Marble Areas Around
Yarışlı Lake (Burdur)**

Muhammet YILMAZ, Şemsettin CARAN

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Geliş Tarihi : 15.05.2019

Kabul Tarihi : 10.06.2019

ÖZET

Mermercilik sektöründe jeolojik mermerlerin yanı sıra kireçtaşı, traverten ve dolomit gibi karbonat kayalar da ticari mermer olarak kullanılmaktadır. Yarışlı Gölü çevresinde bulunan Duttur kireçtaşları cazip renk ve dokusal özellikleri ile mermer endüstrisinde ilk sırada talep gören ticari mermerlerdir. Bu çalışma kapsamında mermercilik sektöründe üst seviyede tercih edilen Yarışlı Gölü çevresindeki ticari kireçtaşı rezervlerinin jeolojik özellikleri incelenmiştir. Mermer ocak işletmelerinde fizibilite çalışmalarının önemi örneklerle vurgulanmış ve mermer ocak işletmelerinin çevresel etkileri ortaya konmuştur. Çalışma alanında Duttur kireçtaşlarının uygun yapısal, dokusal ve mineralojik özellikler sunan mostralardan mermer blok üretimi gerçekleştirilmektedir. Duttur kireçtaşlarının şimşek görümlü çizgisellikler içeren seviyelerinden günümüz mermer endüstrisinde Sandian olarak bilinen ticari mermerler üretilmektedir. Duttur kireçtaşlarının pürüzsüz krem-bej renkli seviyeleri ise Bayulan olarak bilinen ticari mermerlerdir. Bölge kireçtaşları üzerinde başarısızlıkla sonuçlanmış pek çok mermer ocak işletmesinin varlığı fizibilite çalışmalarının önemini bir defa daha ortaya koymuştur. Diğer taraftan, Yarışlı Gölü çevresindeki mermercilik faaliyetlerinin sonucu olarak bazı olumsuz çevresel etkilerin yaşanması kaçınılmaz olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yarışlı Gölü, Ticari Mermer, Kireçtaşı, Çevresel Etki.

ABSTRACT

In the marble industry, there are limestones, travertines and dolomites that can be named "commercial marbles" besides the geological marbles. The Duttur limestones outcropping around the Yarışlı Lake have a special color and texture which are very desirable in marble industry. In this study, geological features of the commercial limestone deposits outcropping around Yarışlı Lake were investigated. The environmental impacts of the marble quarries and the importance of feasibility studies are discussed, giving examples from the study area. Marble blocks have been produced from the Duttur limestones having desired mineralogical, textural, structural features within the allochthonous Lycian Nappes around Yarışlı Lake. The limestones, known as "Sandia" marble, have been produced from the levels of the Duttur limestone in appearance of lightning streak. In this area, there is also a type of commercial marble known as "Bayulan" Duttur limestones with smooth cream beige color that have industrial marble potential. Presence of many marble quarries that ended in failure within the Duttur limestones revealed the importance of prior feasibility works. On the other hand, the marble productions around the Yarışlı Lake give rise to environmental problems for the area.

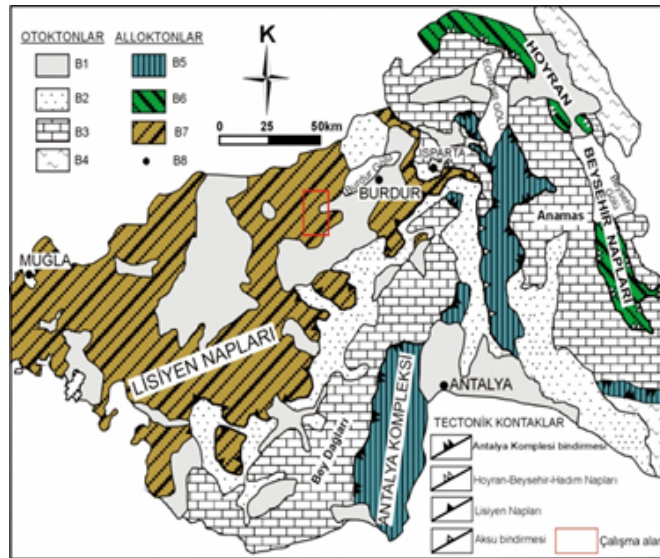
Keywords: Yarışlı Lake, Commercial Marble, Limestone, Environmental Impacts.

1. GİRİŞ

Mermerin jeolojik ve ticari olmak üzere iki ayrı tanımı yapılmaktadır. Jeolojik tanım; metamorfizma sonucunda kireçtaşlarının yeniden kristalleşmesiyle meydana gelmiş metamorfik bir kayacı ifade eder. Ticari anlamda ise ticari standartlara uygun blok verebilen, kesilip parlatılabilen veya yüzeyi işlenebilen ve malzeme özellikleri kaplama taşı normlarına uygun olan her cins kayaç olarak kullanılabilen bir tanımdır. Bu açıdan, kayacın cinsi ve içeriği ne olursa olsun büyük boyutta blok elde edilebilme, kesilme ve cilalanma gibi özellikler göstermesi, o taşın ticari mermer olarak kabul edilmesinde yeterli görülmektedir. Örneğin, granit, siyenit, gabro, bazalt, andezit ve serpantin gibi magmatik kayaçlar, mermer gibi metamorfik kayaçlar, kireçtaşı, traverten, dolomit, kumtaşı ve çakıltası gibi sedimanter kayaçlar endüstriyel anlamda ticari olarak mermer tanımının içine girmektedirler. Ayrıca kalsit ve aragonit gibi minerallerden elde edilen plakalar ticari olarak oniks mermer olarak tanımlanmaktadır. Ticari tanımlamada mermer sözcüğü kayaç türünü belirtmez. Dolayısıyla bu çalışmada mermer terimi ticari anlamda kullanılmaktadır.

Mermercilik Türkiye'nin önemli sektörlerinden birisi olma yolunda hızlı bir şekilde ilerlerken, Burdur bölgesi de bu alanda hak ettiği yeri almaya başlamıştır. Ancak bu durum halen yeterli düzeyde değildir. Bölgenin kendine özgü karakteri ile tanınan ve çok ciddi talep gören mermer rezervleri göz önüne alındığında bu bölgenin yıllar boyunca ihmal edildiği daha net ortaya çıkmaktadır [1].

İnceleme alanı güneybatı Türkiye'de Likya napları içerisinde kalmaktadır (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında Yarışlı Gölü (Yeşilova-Burdur) çevresinde yüzeylenen ticari mermerlerin (kireçtaşları) jeolojik özelliklerinin ortaya konması ve çevresel etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Isparta bölgesinin (Isparta Açısı) basitleştirilmiş jeolojik haritası (MTA 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritasından hazırlanmıştır [2]). B1: Plio-Kuvaterner karasal fasiyesler, B2-B3: Beydağları otktonu (B2: Tersiyer kırıntılı seriler, B3: Mesozoyik-Tersiyer Toros karbonat platformu), B4: Metamorfik seriler, B5: Antalya Napları, B6: Hoyran-Beyşehir-Hadım Napları, B7:Likya Napları: B8:Şehir merkezi.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmalar 2015 ve 2016 yıllarında yapılan arazi çalışmaları ve büro çalışmaları olarak iki bölüm altında gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında 1/100.000 ölçekli topoğrafik ve jeolojik haritalardan yararlanılmıştır. Bölgenin jeoloji haritaları Yarışlı Gölü ve yakın çevresindeki bütün litolojileri kapsayacak şekilde literatür denetirmeleri de dikkate alınarak hazırlanmıştır (Şekil 2). Saha çalışmaları esnasında Dutdere kireçtaşının jeolojik özellikleri, bölgedeki mermer ocaklarının dağılımları, işletme yöntemleri incelenmiştir. Saha ve büro çalışmalarından elde edilen veriler literatür ile birlikte değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Stratigrafi

İnceleme alanında allokton ve otokton konumlu kayaçlar yer almaktadır (Şekil 2). Allokton konumlu Likya napları bölgede temeli oluşturmakta ve kendi içerisinde Marmaris Peridotiti, Kızılcadağ Melanj ve Olistrostromu, Orhaniye Formasyonu, Dutdere Kireçtaşı olarak ayırtlanmıştır. Tersiyer yaşlı Mamatlar Formasyonu (Tpm), Çameli Formasyonu (Plç) ve güncel alüvyonlar Likya napları üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Şekil 3).

3.1.1. Marmaris peridotiti (Kmo)

Formasyon ilk defa Çapan (1980) tarafından adlandırılmıştır [3]. Çalışma alanında Yarıklı gölünün kuzey batısında dört ayrı noktada küçük alanlarda yayılım göstermektedir. Doru tepesi ile Karabelen tepesi arasında, Harmanlı köyünün kuzey batısında köye yaklaşık 1,5 km uzaklıkta mostra vermektedir.

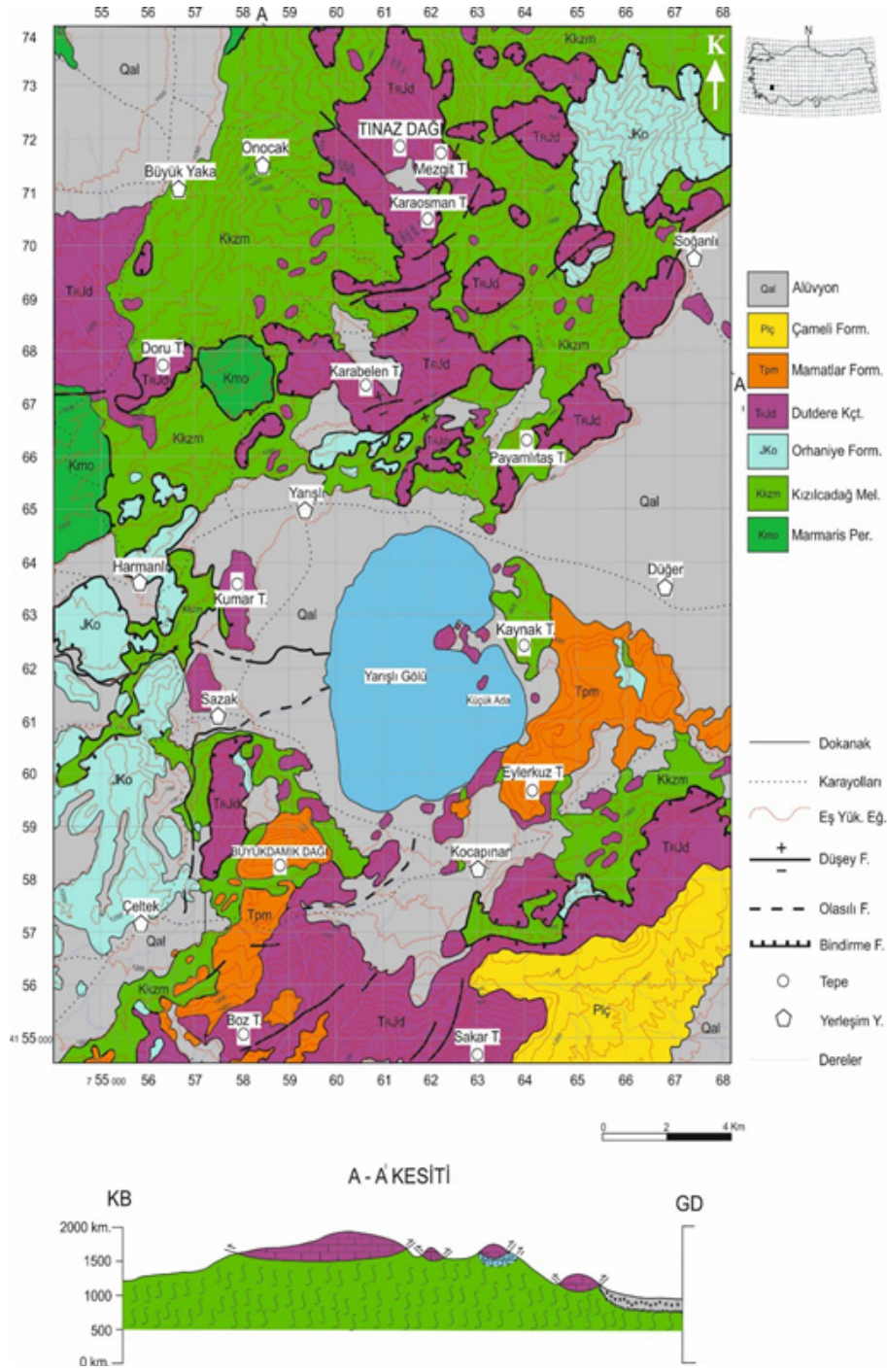
Marmaris peridotiti yer yer serpantinleşmiş genellikle harzburjit ve yer yer dunitlerden oluşmaktadır. Harzburjitler genellikle kızıl, kızıl kahve, yeşilimsi gri, siyahımsı yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri, koyu yeşil renklidir. Bu kayaçlarda orta- iri taneli cam parlaklığındaki yeşil renkli olivin kristalleri ile parlak piroksen kristalleri gözlenmektedir. Kayaçlar serpantinleşme sonucu ağsallı doku sunmaktadır. Tektonik dokanaklar boyunca serpantinleşme daha yoğun olup tektonizma nedeniyle breşik yapı sunmaktadır.

3.1.2. Kızılcadağ melanj ve olistrostromu (Kkzm)

Ofiyolitli melanj ve olistrostromla temsil edilen birim, Poisson (1977) tarafından adlandırılmıştır [4]. Bölgede Yarıklı gölü çevresinde yayılım göstermektedir. Serpantinize harzburjit, dunit, diyabaz, bazik volkanit, neritik ve pelajik kireçtaşları, radyolarit, çört, dolomit gibi kayaç bloklarının ezik makaslamaya uğramış serpantinolitik bir matriks içerisinde yüzer halde bulunduğu kaotik kayaç topluluğu şeklinde gözlenmektedir. Ofiyolitik melanj içinde silt, kil boyutundan çakıl ve blok boyutuna kadar diyabaz kayaçları, farklı boyutlarda kırmızımsı kahve çörtler, serpantin parçaları gözlenmektedir. Diyabazlar genelde sert, kırılması zor, diyabazik doku sunmakta, içerisinde beyaz renkli feldspatlar, koyu renkli piroksen mineralleri yer almaktadır. Serpantinler kolay kırılabilir ve dağılgandır.

3.1.3. Orhaniye formasyonu (JKo)

Birim bazik volkanit, radyolarit ve çört ara düzeyli mikrit ve çörtlü kireçtaşlarından meydana gelmektedir [5]. Çalışma alanında Sazak ve Harmanlı köylerinin batısında ve gölün kuzeydoğusunda Soğanlı köyünün kuzeyinde mostra vermektedir. İnceleme alanında Orhaniye formasyonunun alterasyon rengi gri, açık gri, taze kırık yüzey rengi gri, yeşilimsi gri, bej, krem, kirli sarı, yersel pembe renklidir. Genelde ince-orta tabakalı, çok sık kıvrımlıdır. Yer yer radyolarit-çört-şeyl ara düzeyli ince-orta tabakalı çörtlü kireçtaşları, ince orta tabakalı, kızıl kahve, yeşil, kirli sarı, gri, kırmızı renkli radyolarit, çört ve şeyllerden oluşur. Birimin yaşı fosil içeriğine göre Jura-Kretase olarak belirlenmiştir [6]. Birim zaman zaman bazik volkanizmanın etkin olduğu havza ortamında çökelmiştir.



Şekil 2. Yarıklı Gölü yakın çevresinin jeoloji haritası ve enine kesiti (MTA M23 paftası jeoloji haritasından denştirilmiştir).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK (m.)	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Senozoyik	Kuvaterner			Alüvyon		Qal		Kum, çakıl, çamur ve blok birikintileri. Dağ yamaç ve eteklerinde gevşek ve tutturulmuş yamaç molozu ve birikintisi konisi.
	Tersiyer	Neojen	Pliyosen	Çameli Formasyonu	~400	Plç		Gösel kilitaşı, mam, kili kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı, konglomera vb. kaya türlerinden oluşan formasyon.
		Paleojen	Üst Paleosen	Mamatlar Formasyonu	~200	Tpm		Genelde masif ve kalın tabakalı, açık kahve, sarımsı kahve, gri, bej, krem renklerde, bol algli kireçtaşlarından oluşur. İçerisindeki Duralier Üyesi(Tpmd) ince-orta-kalın tabakalı, bej, gri, yeşilimsi gri, açık kahve vb. renklerde yer yer kumlu-kili kireçtaşı ara düzeyli kumtaşı, silttaşı ve kilitaşı ile temsil edilir.
Mesozoyik	Triyas-Jura			Dutdere Kireçtaşı	~700	TRJd		Orta-kalın tabakalı, yerel masif, aşınma yüzeyi gri, açık gri, kırılma yüzeyi beyaz, kili beyaz, krem, bej, açık gri, gri yer yer magalodortlu ya da algli kristalle kireçtaşlarından oluşur. İçerisindeki Yarışlı Üyesi (TRJdy) kısmen ammonitico-rosso fasiyesine karşılık gelen kırmızımsı ve pembemsi dir.
		Jura Kratese		Orhaniye Formasyonu	~1400	JKo		İnce-orta tabakalı, aşınma yüzeyi gri, açık gri, kırılma yüzeyi gri, yeşilimsi gri, bej, krem, kili sarı, yerel pembe renkli, çok sık kıvrımlı, yer yer bazik volkanit ve radyolarit-çört-şeyil (Tabakalı Çört üyesi) ara düzeyli çörtli mikritlerden oluşur. İçerisindeki Tabakalı Çört Üyesi(JKor) ince-orta tabakalı, kızıl, kızıl kahve, yeşil, kili sarı, gri, kırmızı renkli radyolarit, çört ve şeyiler içerir.
	Kretase	Üst	Üst Senoniyen	Kızılcaadağ melanj ve olistostromu	~300	Kkzm		Serpantin, serpantinleşmiş harzburgit, dunit vb. kaya türlerinden oluşur. Genelde bazik volkanit, nerlik kireçtaşı pelajik kireçtaşı, radyolarit, çört, dolomit vb. blokludur. İçerisindeki üyesi olan Permien Kireçtaşı(Pm) koyu gri, siyah renkli, sık çatlaklı, kalın tabakalı rekristalize kireçtaşı ve dolomit kireçtaşlarından oluşur.
			Marmaris Peridotiti	~500	Kmo		Aşınma yüzeyleri kızıl, kızıl kahve, yeşilimsi gri, kırılma yüzeyleri siyahımsı yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri ve yeşil renklidir. Orta-iri taneli bu kayalardaki cam parlaklığındaki yeşil renkli olivin kristalleri ile gümüşü renkli piroksen kristalleri göze çarpar. Yer yer serpantinleşme sonucu parlaklığını yitiren olivinler matlaşmış ve ağı dokusu kazanmıştır.	

Şekil 3. Çalışma alanının tektono-stratigrafik sütun kesiti [11].

3.1.4. Dutdere kireçtaşı (TRJd)

Likya naplarının en üst kesiminde yer alan ve Domuzdağ napı olarak da adlandırılan ve genelde masif yapılı kireçtaşlarından oluşan birim Dutdere Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır [7]. Birim çalışma alanında çeşitli renk ve fasiyeslerde genelde masif, rekristalize kireçtaşı, intraformasyonel breş ve çörtlerden oluşmaktadır. Birim çalışma alanında Yarışlı gölünün kuzeyindeki Tınaz Dağı, Karabelen tepesi, Mezgit tepesi, Karaosman tepesinde ve Yarışlı gölünün kuzey batısındaki Doru tepesinin eteklerinde, Büyük Yaka köyünün güney batısında geniş yayılımlar göstermektedir. Ayrıca gölün güneyinde yine geniş moştralar halinde Sakar tepesi, Boz tepe arasında geniş moştralar sunmaktadır.

Birim inceleme alanında orta-kalın tabakalı, yer yer masif, bozunma rengi gri, açık gri, taze kırık yüzey rengi beyaz, kirli beyaz, krem, bej, açık gri, gri rekristalize kireçtaşlarından oluşur. Birimin üst kesimlerinde orta-kalın tabakalı, gri, krem renkli kireçtaşları ile pembe-kırmızı renkli yersel olarak çörtlü kireçtaşları yer alır. Dutedere kireçtaşı bazı alanlarda mermer olarak işletilmektedir.

Dutedere kireçtaşı ofiyolitler üzerinde genelde tektonik olarak yer alır. Birim çalışma alanı dışında yaklaşık 700 metre kalınlığa ulaşır [6]. Çalışma alanında ise kalınlığı yaklaşık 200 metreye kadar ulaşmaktadır. Birimin yaşı Orta Triyas-Liyas olarak belirlenmiştir [8]. Birim sığ karbonat şelf ortamında çökelmiştir.

3.1.5. Mamatlar formasyonu (Tpm)

Genelde algi kireçtaşlarından oluşan formasyon çalışma alanında Yarışlı gölünün doğusunda ve güney batısında yayılım gösterir. Mamatlar formasyonu, genelde masif veya kalın tabakalı, açık kahve, sarımsı kahve, gri, bej, krem renkli kireçtaşlarından ve yer yer kumtaşı ve siltaşı ara düzeyli kireçtaşı, killi-kumlu kireçtaşlarından oluşur. Mamatlar formasyonu, Likya napları üzerinde açısız uyumsuz olarak bulunur. Birimin kalınlığı inceleme alanında çok değişkendir. Sığ şelf ortamında çökelmiş olan birimin yaşı bazı formlara göre Monsiyen- Tanesiyen olarak belirlenmiştir [6].

3.1.6. Çameli formasyonu (Piç)

Görsel tortullarla temsil edilen formasyon Erakman vd. [9] tarafından Çameli formasyonu, Yalçinkaya vd. [10] tarafından ise Burdur formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çameli formasyonu, ince-orta-kalın tabakalı, beyaz, kirli beyaz, kirli sarı, açık gri, yeşil renkli kilitaşı, kumtaşı, marn, konglomera ve kumtaşlarından oluşur. Birim içinde yer yer tüf ve tüfit düzeyleri izlenir. Çameli formasyonu içinde yer yer manyezitli dolomit ve/veya killi kireçtaşı düzeyleri görülür. Likya napları üzerinde açısız uyumsuz olarak bulunan formasyon Kuvarterner yaşlı çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı, çalışma alanında değişken olup 400-500 metreye kadar ulaşabilmektedir. Birimin tabanındaki kömürlere yakın düzeylerde (Çameli güneyi-Elmalıyurt) Hipparion sp., bulunmuş ve yaşının Üst Miyosen'le başladığı belirtilmiştir. Genelde göl ortamında çökelmiş olan formasyonda yer yer akarsu-bataklık ortam koşulları, göl kıyı fasiyesleri, alüvyon yelpazesi, göle uzanan yelpaze deltası ve delta ortamları belirlenmiştir [8].

3.1.7. Alüvyon (Qal)

Nehir yataklarında, düzlüklerde ve göl kenarlarındaki çakıl, kum ve çamur birikimleridir. Yamaç molozu ve birikinti konileri dağ yamaç ve eteklerinde bulunur. Yer yer tutturulmuş, çoğu gevşektir.

4. MERMERCİLİĞİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Mermer ocaklarındaki işletme faaliyetleri dekapaj ve mermer üretimini içermektedir. Bu faaliyetler sonucunda da arazide topoğrafik yapıyı bozan yığma tepeler ve derin çukurluklar oluşmaktadır. Bu manzaranın çevre görüntüsüne kattığı olumsuz imajdan dolayı psikolojik boyutta tepkilerin oluşmasına sebep olmuştur. Mermer ocaklarının çevreye olan zararları sorunun bilinmesi, zararlı etkilerin derecesi, bunlardan korunması ve giderilmesi kriterleri göz önüne alındığında diğer endüstrilere göre daha az zararlı olup sadece görsel etki yönünden dezavantajlı olduğu görülmektedir. Çünkü mermer artıklarının çevrede kalıcı bir etkisi bilinmemekte olup diğer kirletici unsurların da alınacak önlemlerle azaltılması veya tamamen bertaraf edilmesi mümkündür [12]. İnceleme alanındaki mermercilik faaliyetlerinin çevresel etkileri 1) Yerleşim alanlarını ve canlıları tehdit eden etkileri 2) görsel etkileri 3) yer altı ve yer üstü sularına olan etki 4) tozların etkisi 5) gürültü ve sarsıntı etkisi 6) ekonomik etki olmak üzere 6 başlık altında incelenmiştir.

4.1 Yerleşim Alanlarını ve Canlıları Tehdit Eden Etkileri

4.1.1 Boğulma riski:

Mermer ve taş ocaklarında üretim sırasında yüzeydeki toprak örtüsü kaldırılmaktadır ve bu nedenle yüzey sularının ilk aşamada tutunabilecekleri bir ortam kalmamaktadır. Yüzey suları üretim sırasında yeni oluşturulan yüzey üzerinde hareket imkânı bulmaktadır. Özellikle tabanda geçirimsiz birimlerin bulunduğu alanlarda, su bu geçirimsiz birim üzerinde göllenmeler oluşturmaktadır. Bu göllenmeler göze hoş gözükse de bazı hallerde tehlikeli olmaktadır. Rehabilitate edilecek alanda bu şekilde göllenmelerin oluşmasına engel olmak amacı ile zemin yapısına uygun yüzey drenaj çalışmaları yapılmalıdır. Bazı ocaklar yeraltı suyu seviyesinin altında çalışmakta ve üretim sırasında bazı önlemler alınmaktadır. Üretimin sonlanması ile yükselen su seviyesi kontrolden çıkmaktadır. Bu nitelikteki alanlarda yeraltı suyu seviyesinin konumu olası oluşturabileceği olumsuzlukları değerlendirilmelidir [13].

Mermer işletmelerinde ürünün tükenmesi sonucu sahanın terk edilmesi seyrek karşılaşılan bir durumdur. Jeolojik açıdan alloktan birimlerin bulunduğu ortamlarda, olistolit şeklindeki mermer blok ve mercikleri küçük boyutlu ise işletilip tüketilebilir. Etrafında, altında mermerin tekrar devam etme olasılığı oldukça zayıftır, işletmenin yapıldığı alan bir çukur şeklindedir. Bu çukur çoğunlukla su ile dolmuştur ve bu hali ile çevre için önemli bir tehlike arz etmektedir (Şekil 4a).

4.1.2 Heyelan riski

Belli bir hacmi geçen pasalama alanlarındaki pasa yığınları yağmur suları etkisiyle heyelan bölgeleri oluşturarak çevreye tehlikeli hale gelebileceği düşünülmektedir. Bu riskler çalışma alanında bariz bir şekilde görülmektedir. Örneğin şu an için yapılan bir pasalama işlemi mevcut durum ve koşul altında herhangi bir problem oluşturmuyor gibi görünebilir. Ancak ilerleyen süreçte pasalamanın yapıldığı alandaki yumuşak zemine sahip tepe veya yükseltilere uyguladığı kuvvet sonucu tepeli hareket ettirerek çevreye zararlı bir konuma getirebilir ve şahıs arazilerine doğru ilerlemesini sağlayabilir. Bu durumun da bölgede tarım alanlarına zarar vereceği gibi aynı zamanda pasa döküm sahalarına yakın yerleşim alanlarını da etkilemesi düşünülmektedir.

4.1.3 Blok hareketlerine bağlı riskler

Mermer sahalarından çıkan dağlar gibi yükselen pasalar geliş güzel yığıldığında ve gerekli önlemler alınmadığında farklı boyutta blok hareketleri insan ve hayvanlar açısından tehlikeli olabilmektedir. Bölgedeki bazı firmalar kendine has yöntemlerle çalışma esnasında kontrolsüz şekilde çıkabilecek, kopabilecek veya iş kazası sonucu yola yuvarlanabilecek kütlelerin çevreye zarar vermesini engellemek amacıyla setler oluşturmaktadır. Buna rağmen halen önlem alınmaması nedeniyle gerek yerleşim alanlarını gerekse pasa döküm alanları civarından geçen insan ve hayvanlar açısından risk oluşturan pasa döküm alanları mevcuttur (Şekil 4b,c).

4.2 Yer altı ve yer üstü sularına olan etki

Mermer işletme sahalarından Yarışlı Gölü'ne özellikle yağışlı mevsimlerde taşınacak karbonatlı kırıntıların göl suyunun kimyasal bileşiminde özellikle kalsiyum iyonunun artışına ve dolayısıyla suyun pH değerinin değişimine neden olup olmayacağı merak konusudur. Yarışlı Gölü çevresindeki alüvyal araziler bölgenin jeolojik özellikleri nedeniyle zaten kalsiyum iyonları bakımından zengindir. Ayrıca kalsiyum suyun ve canlıların (bitki, hayvan ve insan) olağan bileşeni olup, zararlı bir materyal de değildir. Bu nedenle mermercilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kireçtaşı kırıntılarının Yarışlı Gölü'nün su kalitesine ilave bir zararı olması beklenmez. Mermer ocaklarına ait pasaların gölü besleyen dereler içinde atılmak suretiyle yine set oluşturarak gölün yüzey ve yağış sularıyla beslenmesini engellendiği görülmektedir.

4.3 Görsel etkileri

Mermer ocak işletmeciliğinde, mermer veya taş üretiminin ilk basamağı, yararlı mermer kütlesi üzerini örten örtü tabakasının kaldırılmasıdır. Her ne şekilde olursa olsun istenilen özelliklerde taş üretimi için bu örtü tabakasının kaldırılması gerekmektedir. İşte mermer ve taş ocaklarında, doğal çevre yapısını bozan ana etkenlerden birisi mermer kütlesinin açığa çıkarılması için yapılan dekapaj işlemleridir. Dekapaj işleminde doğrudan arazi topografyası hedef alınmaktadır. Bu işlem sonucunda, toprak ve bitki örtüsü kayıpları, topografyadaki değişiklikler ve çok miktarlarda mermer artıkları oluşmaktadır. Dekapaj işleminden sonraki aşama olan mermer bloklarının üretimi aşamasından itibaren, açık ocak oluşmaya başlamaktadır. Bu işlemlerin devam ettiği süreye bağlı olarak ocak boyutu yatay ve düşey mesafelerde genişlemekte ve açılan boşluk miktarı gittikçe artmaktadır.

Mermer ocak işletmelerinde en önemli konu ocağın blok verimidir. Blok verimi, ocağın ekonomik durumunu gösterir. Ocak verimi, ocaktan alınan blok miktarının, ocaktan çıkarılan toplam malzeme miktarına oranıdır. Mermer ocaklarında ortalama olarak, üretimin % 40-60'ı mermer artığı olarak atılmaktadır. Mermer ocaklarında blok alınmasını sınırlayan en önemli unsur mermer yatağındaki kırık ve çatlakların durumudur. Bu tür mermer artıklarının miktarına, ocağın jeolojik yapısının yanı sıra yanlış üretim metodu uygulamak da sebep olabilir. Ocaklarda mermer artıklarının oluşmasına sebep olan bir diğer etken de pasalama işlemidir. Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük şekilsiz kütleler, çeşitli yöntemlerle istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlarından kesilirler[12]. İnceleme alanında ortaya çıkan bu artıklar ve blok elde edilmesi sonucu oluşan diğer tüm artıkların bir tarafta biriktirilmesinden kaynaklı görüntü kirliliği daha belirgin bir hale gelmektedir. (Şekil 4d).

4.4 Tozların Etkisi

Mermer ocak işletmelerinde ve işleme tesislerinde blok kesme ve işleme makinaları tel kesme, kollu kesiciler, ST ve katrağ gibi makinalar genelde sulu kesim yaptıklarından kesim anında toz açığa çıkması söz konusu değildir. Ancak mermer ocak işletmeciliğinde özellikle basınçlı hava ile delik delme operasyonlarında, traverten ve kireçtaşı türü formasyonlarda kullanılan Jet-Belt ve zincirli kollu kesicilerin kuru kesim yapması durumunda toz emisyonu ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca ocak içi nakliye yollarında da zaman zaman toz emisyonu olabilmektedir. Bu tozlar çalışanları, çevrede yerleşim birimlerini, bitki örtüsünü olumsuz etkileyebilmektedir. Bilindiği üzere ortalama gaz molekül büyüklüğü olan 0.0002 mikron çaptan iri olan ve havada bir süre askıda kalabilen katı veya sıvı her türlü madde partikül olarak sınıflandırılmaktadır. Tozluğun ister doğal, ister yapay nedenlerden kaynaklansın, görüş mesafesini kısaltan, güneş ışınlarının absorblandığı bandı değiştiren, insan, hayvan ve bitki sağlığına olumsuz etki yapan bir kirlilik türüdür. Önlem alınmaması durumunda mermer ocak üretimleri sonucu oluşan tozlanmalarda çevre yerleşim alanlarının yanı sıra, fundalık ve makilik hatta orman alanlarının da etkilenmesi mümkün olabilmektedir. İşletme içi nakliye yollarının devamlı spreylenecek nemli kalması sağlanmalı ve tozlu kesimlerde makinalar ile kesme işlemi sırasında gerekli spreylemeler ile tozlanma en aza indirgenmelidir [14].



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4 a) Çalışma alanında oluşan su dolu çukurlardan bir görüntü, b) bölgede çalışma esnasında kopup yuvarlanmış bloklar, c) çalışma alanında heyelan riski oluşabilecek önlem alınmamış mermer sahaları, d) Bölgede kontrolsüz bir şekilde yığılmış pasalamalardan görüntüler

Mermer işletmesi çalışmaları nedeniyle havada taşınan toz partikülleri özellikle bitkilerin yapraklarına çökelerek ve bitkinin hava ile temasını keserek fotosentez olayını kısmen engellediği düşünülmektedir. Özellikle bölgede ki mermer sahalarının çalışma alanındaki endemik tür yoğunluğuna olumsuz etkileme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle bu konularda farklı disiplinlerde bilimsel çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

4.5 Gürültü Ve Sarsıntı Etkisi

Mermer ocak işletme ve işleme tesislerinde genelde gürültü mermerin blok üretimine ve blok küçültme ve düzeltme çalışmalarında kullanılan makine ve ekipmanlarla taşıma makinalarından, işlenmesi sırasında da kesme ve işleme makinalarında yapılan operasyonlar sırasında meydana gelmektedir. Sarsıntı ise genelde sert taş madenciliği sırasında ticari blok üretiminde kullanılan patlatma sırasında meydana gelmektedir. Meydana gelen bu gürültü ve sarsıntıların hem işletmelerde çalışan işçi ve personel üzerinde hem de çevre yerleşim alanlarında yaşayan insanlar üzerinde etkisi olmaktadır. Çalışanlar sürekli 80 dBa şiddetinin üzerinde gürültüye maruz kalarak çeşitli işitme ve psikolojik rahatsızlıklara sahip olabilmekte, çevre yerleşim alanları ise daha çok psikolojik etkiye maruz kalmaktadırlar. İşletme içinde çalışanlara gerekli kulaklık, koruyucu giysiler vermek suretiyle gürültü etkisi azaltılabilmektedir. İşletme dışına verilen gürültünün ise bazı durumlarda özellikle yerleşim alanları içinde kalan işletmelerde olumsuz etkilerinin olabilmesi mümkündür [14]. İnceleme alanında bir kısım mermer ocakları yerleşim alanlarına yakın olduğu için mermerleri taşıyan araçlardan kaynaklanan gürültüden yerleşim alanı sakinleri rahatsız olabilmektedir.

4.6 Ekonomik Etkiler

Çalışma alanındaki mermer sahaları yöre istihdamına büyük katkı sağlamaktadır. Ocaklarda çalışan işçilerin büyük bir kısmı çevre köylerde yaşayan yerli halktan insanlardır. Köylerde yaşayan genç nüfus ve işçilik yapabilecek halk mermer ocaklarında çalışmaktadır.

Bölgedeki madencilik çalışmaları yöre insanlarına çok yönlü katma değer sağlamaktadır. Örneğin yakıt giderleri köylerdeki petrol istasyonlarından sağlanmakta, eleman istihdamı çevre köylerden sağlanmakta, lojistik desteği köy kooperatifinden alınmakta, bazı durumlarda işçilerin kalacak yer temini, konaklama, yeme içme gibi beşeri ihtiyaçları yine yakın bölgelerden giderilmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Yarışlı Gölü yakın çevresindeki mermer sahalarının jeolojik özellikleri ve açılan işletmelerin çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında allokton ve otokton konumlu kayaçlar yer almaktadır. Allokton konumlu Likya napları bölgede temeli oluşturmakta ve kendi içerisinde Marmaris Peridotiti, Kızılcadağ Melanj ve Olistrostromu, Orhaniye Formasyonu, Dutdere Kireçtaşı olarak ayrırtlanmıştır. Otokton birimler Tersiyer yaşlı Mamatlar Formasyonu, Çameli Formasyonu ve güncel alüvyonlardır.

Bölgede pek çok lokasyonda geç anlaşıldığından bölgede deneme yapılarak terk edilmiş çok sayıda ocak bulunmaktadır. Buna karşın bölgede başarılı şekilde faaliyet gösteren çok sayıda ocak işletmesi mevcuttur.

Yarışlı Gölü yakın çevresinde milli park alanı, askeri alan yoktur. Ancak Yarışlı Gölü yabancı hayatı koruma sahası olarak devlet tarafından koruma altına alınmıştır. Bütün bu durumun mermercilik faaliyetlerinin yapılmasına engel teşkil etmediği tespit edilmiştir.

Mermercilik faaliyetlerinden dolayı bölgedeki ekosisteme zarar verilip verilmediğinin bilimsel ölçüm ve metodlarla ortaya konulması önemlidir.

Bölgedeki pasalama alanlarının kütle hareketleri oluşturabileceği, ilerleyen zamanlarda gelişen şartlara göre yeni heyelan bölgeleri oluşturabileceği ve bunlarla ilgili gerekli önlemlerin alınması vurgulanmıştır.

Yarışlı Gölü yakın çevresi mermercilik faaliyetleri ile ilişkili olarak fiziksel çevre (topoğrafya) tahribatı, çevrede ortaya çıkacak olan estetik bozulmalar (peyzaj), orman alanlarının tahribatı, tozlanma ve kamyon trafiği gibi konularda olumsuzluklar yaşanabilecektir. Ancak bölgede ki mevcut potansiyel ekonomiye kazandırıldıktan sonra gerekli yasal prosedürler uygulanarak zararın minimize edilebileceği ortaya konmuştur. Mermercilik faaliyeti öncesi, süresince ve mermercilik faaliyeti tamamlandıktan sonra çevresel etkileri minimize edecek tedbirlerin işletmeciler tarafından hassasiyetle yerine getirilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Caran, Ş., 2014. Isparta İli Mermer Potansiyeline Bir Bakış. Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, 18-20 Eylül, Isparta, 242-254.
- [2] Alpan, S., Pamir, H.N., Erentöz, C., 1964. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. MTA, Ankara.
- [3] Çapan, U., 1980. Toros Kuşağı ofiyolit masiflerinin (Marmaris, Mersin, Pozantı, Pınarbaşı ve Divriği) iç yapıları, petrolojisi ve petrokimyasallarına yaklaşımlar. Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi. 400s.
- [4] Poisson, A. 1977. Recherches geologique dans les Taurides occidentales (Turquie), These, Univ. Paris-Sud, 795s, Orsay.
- [5] Meşhur, M., Yoldemir, O., Akpınar, M., Öztaş, Y. ve Alkan, H., 1989, Batı Toroslar'ın jeolojisi ve petrol olanakları raporu: TPAO Rap. (hazırlanmakta).
- [6] Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, M.A., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S., Bilgi, C., 1989. Çameli (Denizli) - Yeşilova (Burdur) - Elmalı (Antalya) ve dolayının jeolojisi. MTA Rap. 9429 Ankara (Yayınlanmamış).
- [7] Ersoy, Ş., 1990, Dirmil (Burdur) ve güneyindeki tektonik ve neotokton birimlerin stratigrafisi ve ortamsal yorumu: Türkiye Jeol. Bült., 32, 2, 9-24.
- [8] Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Erkan, M., Kaymakçı, H., Örcen S. ve Bilgi, C., 1987. Likya napları ön cephe özellikleri. Türkiye Jeol. Kurultayı Bildiri Özleri, 8.

- [9] Erakman, M., Meşhur, M., Gül, M.A., Alşkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar, M., 1982, Fethiye- Köyceğiz-Te-fenni-Kalkan arasında kalan alanın jeolojisi. Türkiye Altıncı Petrol Kong. Teb.,Nisan-1982, Ankara, 23-31.
- [10] Yalçinkaya, S., Engin, A., Afşar, Ö.P. ve Taner, K., 1986. Batı Torosların jeolojisi, Isparta projesi rapo-ru. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü raporları (yayınlanmamış), Ankara.
- [11] Şenel, M., 1997. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, MTA, Ankara.
- [12] Çelik, M. Y. , Sarıışık, A. ve Gürcan, S. 2003. Mermer ve tas ocaklarının çevreye olan görsel etkileri. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 463, 466- 473.
- [13] Mutlutürk, M., 2014. Mermer ve taş ocakları rehabilitasyonunda jeolojinin önemi. Ulusal mermer ve taş ocakları onarım teknikleri sempozyumu, 56-63, Isparta.
- [14] Onargan, T., 2008. Mermer madenciliğinde çevre yönetimi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği.