

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

Yıl: 2020
Sayı:30

CİLT I
SOMA

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

Sahibi:

Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN
Yönetim Kurulu Adına
MCBÜ Soma MYO

Editörler:

Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ
Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN
Öğr. Gör. Fırat TEKİN

Yayın Kurulu:

Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ
Prof. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ
Prof. Dr. Mete HANÇER
Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Berkant SELEK
Öğr. Gör. Fırat TEKİN

Sekreter:

Öğr. Gör. Fatih SUVAYDAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma MYO Teknik Bilimler
Dergisi yılda iki sayı olarak yayımlanan ulusal hakemli bir dergidir.**

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

BU SAYIDAKİ HAKEM KURULU:

Prof. Dr. Mehmet UĞURLU
Prof. Dr. Rana KİBAR
Prof. Dr. Serpil AKÖZCAN
Dr. Öğr. Üyesi Adem ÖZÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sadrettin ZEYBEK
Öğr. Gör. Dr. Mehmet AYVAZ

Dergide yayınlanan tüm makaleler ve ileri sürülen görüşlerde, sorumluluk yazar ve hakemlere aittir.

İletişim Adresi:

Fırat TEKİN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Soma Meslek Yüksekokulu, Soma-Manisa /TÜRKİYE
Tel: 0 236 612 00 63
Fax: 0 236 612 20 02
e-mail: somamyo-dergi@cbu.edu.tr
firat.tekin@cbu.edu.tr

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

İÇİNDEKİLER

**1- LATERİTİK CEVHERLERDEN SÜLFÜRİK ASİTLE NİKELİN
ATMOSFER LİÇİ İLE ÇÖZÜNDÜRÜLMESİNİN OPTİMİZASYONU**

Yüksel Abalı, Fadim Yemiş, Nuray Demirel, Osman Arslan,
Orhan Yılmaz.....1-14

**2- MEASUREMENT OF SOLAR UVB RADIATION USING AL₂O₃:C
DOSIMETERS IN CITY OF IZMIR**

Coşkun HARMANŞAH, Elçin EKDAL KARALI, Volkan SÖZERİ.....15-23

**3- SİMETRİK VE FARKLI ORYANTASYON AÇILARINA SAHİP
TABAKALI KOMPOZİT KİRİŞLERİN DİNAMİK ANALİZİ**

Mustafa Oğuz NALBANT, Ayla TEKİN.....24-34

**4- EKSTRÜZYON TİPİ DÖVME PROSESİNDE KONİK KALIP
AÇISININ DEFORMASYONA ETKİSİ**

Simay SARIKAYA, Saim KURAL.....35-41

**5- Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu
Teknik Bilimler Dergisi Yazım Kuralları.....42-43**

LATERİTİK CEVHERLERDEN SÜLFÜRİK ASİTLE NİKELİN ATMOSFER LİÇİ İLE ÇÖZÜNDÜRÜLMESİNİN OPTİMİZASYONU

Prof. Dr. Yüksel Abalı¹, Dr. Öğr. Üyesi Fadim Yemiş^{2*}, Kimya Müh. Nuray Demirel³,
Dr. Öğr. Üyesi Osman Arslan⁴, Dr. Orhan Yılmaz⁵

Accepted: 2020-12-23
DOI: 10.47118/somatbd.742247

ÖZET

Bu çalışmada, lateritik nikel cevherinin atmosferik basınçta sülfürik asit çözeltilerinde çözünmesinin optimum koşullarını belirlemek amacıyla Taguchi Fraksiyonel Tasarım Yöntemi kullanıldı. Parametre olarak sıcaklık, liç süresi, katı-sıvı oranı, sülfürik asit konsantrasyonu ve karıştırma hızı seçildi. Karıştırma yapılmaksızın en uygun çözünme koşulları; 95 °C' lik bir sıcaklık, 150 dakikalık liç süresi, 20 g cevher/100 mL çözeltili olan katı/sıvı oranı, % 65 (w/v) sülfürik asit konsantrasyonu olarak bulundu. Bu şartlar altında yaklaşık olarak % 90 nikel verimi elde edildi. Deneylerde kullanılan parametrelerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını görmek için istatistiksel bir varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirildi. En etkin parametrelerin asit konsantrasyonu, reaksiyon sıcaklığı ve katı/sıvı oranı olduğu ancak karıştırma hızı ve reaksiyon süresinin ise çok fazla etkin olmadığı F etkinlik tablolarından tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çözünme, Lateritik cevheri, Nikel, Sülfürik asit, Taguchi yöntemi

OPTIMIZATION OF NICKEL DISSOLUTION FROM LATERITIC ORE WITH SULFURIC ACID BY ATMOSPHERIC LEACHING

ABSTRACT

In this study, Taguchi Fractional Design Method was used to determine the optimum conditions for the dissolution of lateritic nickel ore in sulfuric acid solutions at atmospheric pressure. Temperature, leaching time, solid-liquid ratio, sulfuric acid concentration and mixing speed were selected as parameters. Optimal dissolution conditions without mixing were found as temperature of 95 °C, leaching time of 150 minutes, a solid / liquid ratio of 20 g. ore / 100 mL solution and a concentration of 65 % (w / v) sulfuric acid. Under these conditions, approximately 90% nickel yield was obtained. A statistical analysis of variance (ANOVA) was performed to see if the parameters used in the experiments were statistically significant. It was determined from the F activity tables that the most effective parameters are acid concentration,

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Kimya Bölümü, Yunusemre, Manisa, Türkiye, yabali@yahoo.com, +90 236 201 31 54.

^{2*} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi, Akhisar, Manisa, Türkiye, Sorumlu Yazar: Fadim Yemiş (fadim.yemis@cbu.edu.tr)

³ Meta Nikel Kobalt A.Ş., nuray.demirel@metanikel.com.tr, Kabakoz Köyü Mevkii, 45750 Gördes, Manisa, Türkiye.

⁴ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, o.arslan@izu.edu.tr, Küçükçekmece, İstanbul, Türkiye.

⁵ Meta Nikel Kobalt A.Ş., orhan.yilmaz@metanikel.com.tr, Kabakoz Köyü Mevkii, 45750 Gördes, Manisa, Türkiye.

reaction temperature and solid/liquid ratio while mixing speed and reaction time are not very effective.

Keywords: Dissolution, Lateritic ore, Nickel, Sulfuric acid, Taguchi method

1. GİRİŞ

Nikel 1455 °C erime ve 2913 °C kaynama noktasına sahip bir elementtir. Ayrıca atom numarası 28 olan nikel elementinin, bağıl atom kütlesi 58,6934 g/mol ve özgül ağırlığı da 8,902 g/cm³' dür. Yerkabuğu kayalarındaki derişimi ortalama 90 ppm olan nikel elementi, tabiatta çoğunluğu demirle olmak üzere antimonitler, arsenürler, oksitler, silikatlar ve sülfürleri halinde yaklaşık 200 çeşit nikel mineralinde bulunabilmektedir (CRC Handbook, 2010; www.webelements.com/; Alcock, 1988). Yeryüzünde en çok Lateritik nikel yatakları bulunmasına karşın, sülfürlü yatakların nikel içeriği daha yüksek orandadır. Dünya nikel üretiminin çoğu sülfür yataklarından yapılmaktadır. Nikelin başlıca doğal kaynakları Tablo 1' de (Rao, 2000; <http://webmineral.com/>) verilmektedir.

Tablo 1. Doğal Nikel Kaynakları

| | | Formülü | Nikel İçeriği (%) |
|-----------------------------|------------------------|---|-------------------|
| Lateritik Nikel Mineralleri | Garnierite | (Ni,Mg) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 10 - 24 |
| | Serpentine | Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 1 - 10 |
| | Asbolane | (Co,Ni) _{1-y} (MnO ₂) _{2-x} (OH) _{2-2y+2x} ·nH ₂ O | 1 - 10 |
| | Nontronite | Na _{0,3} Fe ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·nH ₂ O | 0 - 5 |
| | Nickeliferous Limonite | (Ni,Fe)O(OH).nH ₂ O | 0,8 - 1,5 |
| | Goethite | FeO(OH) | 0,5 - 1,5 |
| | Olivine | (Mg,Fe) ₂ SiO ₄ | 0,25 |
| | Orthopyroxene | (Mg,Fe)SiO ₃ | 0,05 |
| Nikel Sülfür Mineralleri | Heazlewoodite | Ni ₃ S ₂ | 73 |
| | Awaruite | Ni ₂ Fe – Ni ₃ Fe | 25 - 75 |
| | Millerite | NiS | 65 |
| | Nickeline | NiAs | 44 |
| | Pentlandite | (Ni,Fe) ₉ S ₈ | 25 - 41 |
| | Violarite | Ni ₂ FeS ₄ | 33 - 40 |
| | Gersdorffite | NiAsS | 15 - 35 |
| | Annabergite | Ni ₃ (AsO ₄) ₂ ·8(H ₂ O) | 29,44 |
| | Bravoite | (Ni,Fe,Co)S ₂ | 17 - 24 |
| | Haapalaite | 2(Fe,Ni)S·1,6(Mg,Fe)(OH) ₂ | 10,60 |

Hayati öneme haiz stratejik bir metal olan nikelin % 80' i çatal-bıçak takımları, çekiç ve pense gibi korozyona dayanıklı çeşitli alaşım ürünlerinin yapımında kullanılmaktadır. Nikel kimyasal katalizör olarak kullanılmasının yanında, kaplamalar, piller, pigmentler, madeni paralar, kaynak malzemeleri, mıknatıslar, elektrotlar, elektrik fişleri, makine parçaları ve tıbbi protezlerde de kullanılmakta olup kullanım alanları ve oranları Tablo 2' de verilmektedir

(Mudd, 2010; <https://www.nickelinstitute.org/about-nickel#03-nickel-mining-production>; Kuck, 2005; McRae, 2019).

Tablo 2. Nikelin Başlıca Kullanım Alanları

| Kullanım Alanı | Nikel Tüketim % | | Kullanım Alanı | Nikel Tüketim % | |
|--------------------------------|-----------------|----------------|---|-----------------|-------|
| | Mudd | Nickel Instute | | Kuck | McRae |
| Paslanmaz Çelik | 58 | 70 | Paslanmaz Çelik ve Alaşım Çelikleri | 45 | 47 |
| Nikel ve Bakır Bazlı Alaşımlar | 14 | 8 | Demir Dışı Alaşımlar ve Süper Alaşımlar | 43 | 41 |
| Dökümler ve Alaşım Çelikleri | 9 | 8 | Kaplama | 7 | 7 |
| Kaplama | 9 | 8 | Diğer | 5 | 5 |
| Piller | 5 | 5 | | | |
| Diğer | 5 | 1 | | | |

Dünya'daki önemli nikel yatakları Asya, Avrupa, G. Amerika, Avustralya ve Afrikada; Endonezya, Yeni Kaledonya, Filipinler, Karayipler ve diğer bazı ülkelerde bulunmaktadır. Rusya ve Kanada' da bulunan nikel, sülfürlü cevherlerden elde edilmektedir (Dalvi ve ark., 2004). Dünyanın en geniş lateritik nikel yataklarına sahip olan Yeni Kaledonya Ni-lateritleri, 1875 yılında beri işletilmektedir (Sudol, 2005). Ni-lateritlerin, Dünya genelinde toplam nikel rezervi 130 milyon tondur (Kuck, 2005). Nikel rezervlerinin % 28' i sülfür yataklarında, geriye kalan % 72'si ise lateritik yataklarda bulunmaktadır. Ancak üretim noktasında ise nikelin % 58' i sülfürlü kaynaklardan, % 42' si ise lateritik cevherlerden elde edilmektedir (Hoatson ve ark., 2006).

Lateritik cevherler çoğunlukla magnezyum ve silikatça zengin garnierit cevherleri ya da demirce zengin limonit cevherleri şeklinde bulunurlar. Bundan dolayı nikel zenginleştirmenin temel amacı; nikeli, demir ve magnezyumdan ayırmaktır. Bu sebeple ergitmeye dayalı pirometalurjik yöntemler ve çözündürmeye dayalı hidrometalurjik yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca hem pirometalurjik hem de hidrometalurjik kademeleri içeren Caron prosesi de nikel ekstraksiyon metotlarından birisidir. Hidrometalurjik yöntemler ise, Yüksek Basınç-Sıcaklık Asit Liçi (HPAL) ve Atmosferik Liç (AL) olmak üzere iki şekilde uygulanır (Köseler, 2012).

Ülkemizin önemli bir yeraltı zenginliği olan nikelin çıkarılmasıyla ilgili olarak Gördes'te Meta Nikel Kobalt A.Ş. faaliyete geçmiş olup, bu işletmede Yüksek Basınç-Sıcaklık Asit Liçi (HPAL) yöntemiyle Karışık Nikel-Kobalt Çökeleği (MHP) üretilmekte ve ihraç edilmektedir. Turgutlu Çaldağ' da ise pilot tesis çapında yığın liçi yöntemiyle deneme faaliyetleri devam etmektedir. Türkiye' de Manisa ili lateritik cevher yatakları ve nikel rezervi bakımından en zengin bölgedir. Türkiye' de nikel rezervlerinin bulunduğu iller ve sahip oldukları toplam rezerv miktarları Tablo 3' de verilmektedir (Çiftçi ve Atik, 2014; Büyükkıncı, 2008).

Tablo 3. Türkiye’ de Bulunan Nikel Rezervleri

| Maden Yatağının Bulunduğu İl ve Yer | Tür | Tenör (%) | Toplam Rezerv (Ton) |
|--|------------|------------------|----------------------------|
| Manisa-Gördes | Lateritik | >1 | 68.500.000 |
| Manisa-Çaldağ | Lateritik | 1,14 | 37.900.000 |
| Bursa-Yapköyde | Sülfürlü | 1-4 | 163.000 |
| Bitlis-Pancarlı | Sülfürlü | 1,41 | 15.500 |
| Toplam | | | 106.578.500 |

Lateritik cevherin, çeşitli asitlerle çözünmesi (Arslan ve ark., 2006; Guo ve ark., 2015; Chander, 1982; Agacayak ve Zedef, 2014; Ayanda ve ark., 2011) incelenmesine rağmen, ekonomik olmasından dolayı çözündürme işlemi için genellikle sülfürik asit tercih edilmektedir (Canterford, 1978; Curlock, 2004; Büyükkakıncı ve Topkaya, 2009). Ancak çözündürme prosesinin ve optimum koşulların belirlenmesi, oldukça maliyetli ve zahmetli bir süreçtir. Maliyetleri düşürmek ve deney sayısını azaltarak sonuca ulaşmak için geliştirilmiş olan yöntemlerden birisi de Japon bilim adamı Genichi Taguchi’nin geliştirmiş olduğu Taguchi Yöntemidir. Taguchi, ortogonal diziler yöntemini kullanmaktadır ve bu yöntem fraksiyonel faktöriyel tasarımın özel bir biçimidir. Taguchi yöntemi ile laboratuvar ortamında elde edilen optimum proses şartları, pilot üretimlerde ve gerçek boyuttaki üretimlerde aynen kullanılabilir (Taguchi, 1987; Abalı ve ark., 1997; Demir ve Dönmez, 2008).

Liç çalışmalarında ana amaç, yüksek geri kazanım ile metal ekstraksiyonunu sağlamaktır. Bu nedenle, liç parametrelerinin optimizasyonu oldukça önemlidir. Cevherlerin asit liçinde ve çözündürme işleminin optimum proses şartlarını tespit etmek amacıyla son yıllarda Taguchi Yöntemi bazı araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. (Dogan ve Yartasi, 2014; Abalı ve ark., 2006; Çopur, 2002).

Yapılan bir çalışmada (Aras ve Ağaçayak, 2017), lateritik cevherdeki nikelin, hidrojen peroksit içeren hidroklorik asit çözeltisinde çözünmesine ilişkin optimum koşulların tayini, Taguchi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Karıştırma yapılmadan % 90,66 çözünme oranının elde edildiği çalışmada; 240 dakika’lık liç süresi, 70 °C sıcaklık, 3 M hidroklorik asit ve 0.1 M hidrojen peroksit derişimi optimum deney şartları olarak tespit edilmiştir.

Karaçam lateritik nikel cevherinin, sülfürik asit ile yüksek basınç altında liç koşullarının incelendiği bir çalışmada (Nasuh, 2014), optimum çözünme koşulları 0,3 (g/g) asit/cevher oranı, 240 °C sıcaklık ve 60 dakika liç süresi olarak tespit edilmiş ve bu koşullar altında cevherden % 92,8 oranında nikel, % 94,3 kobalt, % 2,2 demir, % 59,8 alüminyum, % 72,6 magnezyum, % 47,5 kalsiyum, % 88,4 manganez, % 2,4 krom ve % 1,9 silisyumun çözültü fazına alınabildiği rapor edilmiştir.

Son yıllarda yerli lateritik nikel kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik pek çok lisansüstü tez çalışması gerçekleştirilmiştir (Yıldırım, 2012; Seçen, 2011; Özdemir, 2006; Göktaş, 2007; Büyükkakıncı, 2008; Çolakoğlu, 2008; Nasuh, 2014; Köse, 2010; Göveli, 2006; Korkmaz, 2014; Gürer, 2011). HPAL yöntemiyle nikel üretimi yüksek sıcaklık ve basınçlar kullanıldığından dolayı oldukça pahalı bir yöntemdir.

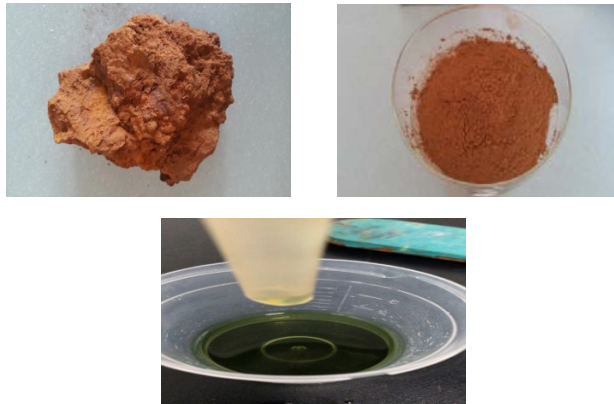
Bu çalışmada nikelin daha ekonomik koşullarda elde edilebilmesi için, AL yöntemiyle lateritik cevherlerden sülfürik asit ile nikel ekstraksiyonunun optimum şartlarının tespiti amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Materyallerin Temini ve Hazırlanması

Yapılan çalışmada kullanılan 50 mikron tanecik boyutundaki lateritik nikel cevheri (Şekil 1.), Manisa-Gördes' te faaliyet gösteren Meta Nikel Kobalt A.Ş.' den temin edilmiş olup, elementel analizi Tablo 4' de, X-Işınları Difraktogramı (XRD) analizi ise Şekil 1'de verilmiştir. XRD spektrumu incelendiğinde temel olarak 4 nokta dikkati çekmektedir. Gerçekleştirilen atomik analize göre (Tablo 1) en yüksek yoğunluktaki elementler kobalt, demir, çinko ve silisyum olarak görünmektedir. Ancak XRD pikleri genellikle farklı demir kristallerinin piklerini ortaya koymaktadır. Özellikle Goethit ve Hematit baskın bir şekilde gözlenmektedir. As, Mn, Ni varlığını belirleyecek olan kristal yapıların XRD pikleri öne çıkar şekilde gözlenmemektedir. Kromit normalde demir de içerdiğinden krom yanında demirin artan miktarı hesaba katılmalıdır. Ayrıca Magnezyum ve kalsiyum miktarları yaklaşık (1/2) olarak belirlenmektedir ki bu da montmorillonit ve dolomit kristal yapılarındaki atomik kompozisyonlardan beklenen bir miktardır. Ayrıca karşılaştırma yapıldığında neden kalsiyum miktarının magnezyuma göre fazla bulunduğu tahmin edilmiş olacaktır. Silisyumun varlığı kuvars ve montmorillonit kristallerinden çıkarılabilir. Özellikle kuvars bütün XRD spektrumunda çeşitli fasetlerinin pozisyonu ile açık bir şekilde ortaya konulmaktadır. Yapıda karbonat içerikli yapıların varlığı, asidik ve basınçlı ortamlarda CO₂ ayrılması gerçekleşeceğini göstermektedir. Dolayısıyla, genel olarak kalsit, dolomit ve hematit yanında kromit (yapısında Mg içeren) ve montmorillonit (Mg, Al içeren fillosilikat minerali) XRD analizinde öne çıkan yapılardır.

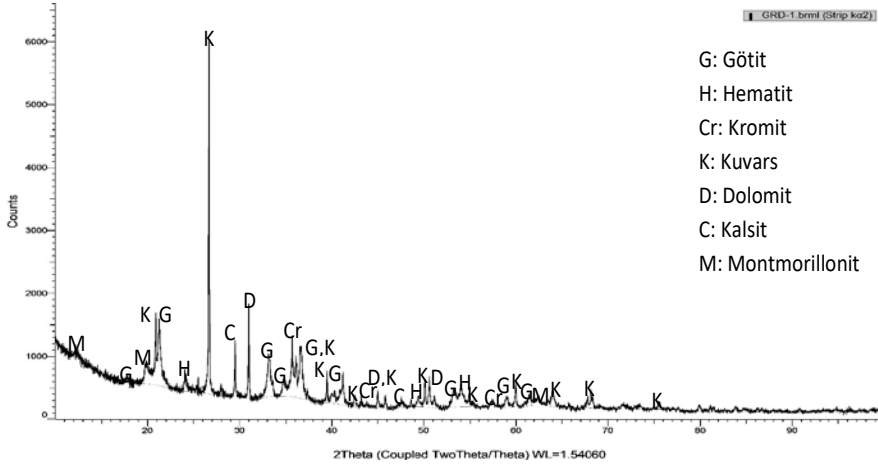
Çalışmamızdaki Lateritik cevheri çözündürme işlemlerinde, Meta Nikel Kobalt A.Ş.' nin Yunanistan'dan ithal ederek işletmede kullandığı % 97-98' lik sülfürik asit kullanıldı. Cevherin tanecik boyutu da, yine Meta Nikel Kobalt A.Ş.' nin tesisteki öğütücülerle elde edebileceği boyuta (50 mikrometre) uygun olarak seçilmiş olup, katı/sıvı oranları da ekonomik olarak uygulanabilecek büyüklüklerde (100 kg./m³ ile 400 kg/m³ arasında) belirlendi.



Şekil 1. Gördes Tüvenan Lateritik Nikel Cevheri, Çalışmada Kullanılan 50 Mikronluk Cevher ve Deney Sonucu Elde Edilen Yüklü Liç Çözültisi

Tablo 4. Çalışmada Kullanılan 50 Mikron Tanecik Boyutundaki Gördes Lateritik Cevherinin Bileşimi

| Al ppm | As ppm | Ca ppm | Co ppm | Cr ppm | Ni ppm | Fe ppm | Mg ppm | Mn ppm | Si ppm | Zn ppm |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|
| 27,100 | 4,551 | 67,625 | 365,00 | 5,125 | 6,433 | 181,841 | 35,464 | 2,381 | 164,360 | 182,000 |

**Şekil 2.** Gördes Lateritik Cevherinin X-Işınları Difraktogramı

2.2. İstatistiksel Deneysel Tasarımı

Çalışmanın deneysel tasarımı planlanırken hem maliyeti hem de deney sayısını en aza indirmek amacıyla Taguchi yönteminden faydalanıldı. Taguchi yönteminde ürünün veya prosesin etkilendiği parametreler, iki kısma ayrılır. Bunlar kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametrelerdir. Çalışmada maliyeti çok yüksek olan kontrol edilemeyen parametreler yerine, kontrol edilebilen parametre seviyelerinin araştırılması tercih edildi. Deneysel çalışma sonucunda belirlenen optimum çalışma koşulları, farklı ortamlarda ve zamanlarda yapılan deneyler için de daima benzer sonuçları vermelidir. Bunun sağlanması için seçilen optimizasyon kriterlerinin, elde edilen performans değerlerindeki değişkenliği minimum düzeyde tutması gerekir. Taguchi yönteminde, böyle bir optimizasyon kriteri performans istatistiği ile sağlanmaktadır (signal to noise ratio, S/N) ve en temel kriterdir (Abalı ve ark., 2015). Performans istatistiğinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılır:

1. Daha büyük daha iyi durumu için:

$$SN_L = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \frac{1}{Y_t^2}\right)$$

2. Daha küçük daha iyi durumu için:

$$SN_S = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n Y_t^2\right)$$

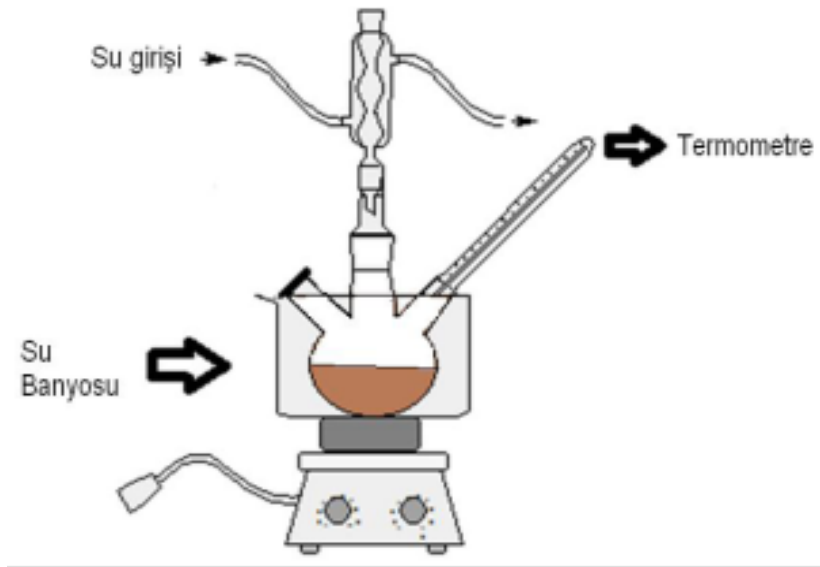
“log SN (signal to noise)” performans istatistiği, “n” tekrarlanan deney sayısı ve Y de değişkenin ölçülen değeridir. Yanıtın; maksimum olduğu durumlarda optimizasyon SNL ve SNS kullanılarak yapılır. SN oranları için varyans analizleri gerçekleştirilerek Y’ yi etkileyen faktörler belirlenir. SNL ve SNS performans istatistikleri, optimizasyon için seçilen kriterlerdir ve çok sayıda parametreyi 2’ den fazla seviyede inceleme imkânı sağlar. Bunu da parametreler arasındaki bileşik etkileri ihmal ederek başarır. Taguchi deney planında asıl etkilerin yanında önemli bileşik etkilerin de dikkate alınması sebebiyle, deney sayısı en aza indirilmektedir. Deney sayısının en aza indirilmesi ile zaman kaybının ve maliyetin önüne geçmenin yanı sıra maliyet yüksekliği ve uzun çalışma süresi isteyen çalışmalarında yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Taguchi yönteminde veriler, kullanılan varyans analizleri ve grafiksel yöntemlerle ifade edilmektedir. Yöntemle istenen optimum sonuçlara ulaşırken, elde edilen ortalama performans değeri civarında değişkenlik minimum olarak gerçekleşmektedir. Bu sebeple, elde edilen optimum koşulların uygulandığı farklı üretim ortamlarında da benzer performans değerleri elde edilmektedir.

3. DENEL KISIM

Çözme işlemleri ısıtıcılı bir mekanik karıştırıcı, sabit sıcaklık banyosu ve bir geri soğutucu ile donatılan 250 m’ lik üç boyunlu cam balon içinde gerçekleştirildi. Her bir deneyin başlangıcında belirli konsantrasyonlarda 100 mL’ lik sülfürik asit çözeltileri hazırlandı ve 10 dakika kadar sabit sıcaklık banyosunda tutulduktan sonra belli miktarlarda tartılan lateritik cevheri katılarak çalışma yapıldı. Çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 3’ de gösterilmektedir. Reaksiyon süreleri sonunda mavi bant süzgeç kâğıdından hemen filtrelenen karışımların süzüntüleri, Ni⁺² ve Co⁺² başta olmak üzere çözünebilen tüm metal iyonlarını analiz etmek üzere muhafaza edildi ve akabinde Meta Nikel Kobalt A.Ş. Arge Merkezi Laboratuvarlarında Agilent Technologies 700 Serisi 725 model ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer) cihazı ile elementel analizi gerçekleştirildi (Olesik ve Jones, 2006). Süzüntüdeki Nikel, Krom, Kobalt ve Demir iyonları tespit edildikten sonra % çözünme oranları aşağıdaki eşitliğe göre belirlendi:

(cevherdeki Ni) - (süzme sonundaki Ni)

$$\text{Çözünme oranı (\%)} = \frac{\text{(cevherdeki Ni) - (süzme sonundaki Ni)}}{\text{(cevherdeki Ni miktarı)}} \times 100$$



Şekil 3. Çalışmada kullanılan deney düzeneği

Gördes Lateritik nikel cevherinin sülfürik asit çözeltileri içindeki çözünmesine ilişkin optimum şartların tespiti için; reaksiyon sıcaklığı, katı/sıvı oranı, asit konsantrasyonu ve reaksiyon süresi parametrelerinin etkisi araştırıldı. Deney parametreleri ve parametre seviyelerine ilişkin veriler Tablo 5’de, çözme işlemlerindeki parametrelere ilişkin standart deney planı ve çözündürme işlemlerinden elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 8’ de verilmektedir.

Tablo 5. Deneysel Parametreler ve Parametre Seviyeleri

| Parametreler | Parametre Seviyeleri | | | |
|-----------------------------|----------------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| A Reaksiyon Sıcaklığı, °C | 50 | 65 | 80 | 95 |
| B Katı/Sıvı Oranı, g/mL | 10/100 | 20/100 | 30/100 | 40/100 |
| C Asit Konsant., % Ağ. | 20 | 35 | 50 | 65 |
| D Reaksiyon Süresi, dk. | 20 | 45 | 90 | 150 |
| E Karıştırma Hızı, devir/dk | 0 | 150 | 300 | 600 |

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Parametrelerin etkinliğinin ortaya konulması için çözünme kesirleri baz alınarak varyans analizleri yapıldı ve F etkinlik değerleri hesaplandı. Hesaplamalardan elde edilen verilerden parametrelerin etkin olup olmadığının ortaya konulması için F etkinlik değer tabloları kullanıldı ve hesaplanan F etkinlik değerleri ile tablodaki kritik F değeri karşılaştırılması sonucunda hangi parametrelerin çözündürme işlemi üzerinde etkin olduğu saptandı. Deney sonuçlarının istatistiksel analizi minitab paket programı yardımıyla hesaplandı. Nikel için parametrelerin varyans değerleri ve F etkinlik değerleri (ANOVA) Tablo 6’ da verilmektedir. F

etkinlik tablosunun ışığında; en etkin parametreler, asit konsantrasyonu, reaksiyon sıcaklığı ve katı/sıvı oranı olarak bulundu. Karıştırma hızı ve reaksiyon süresinin ise çözünürlük üzerinde çok az etkin olduğu tespit edildi. Tablo 6' dan ortaya çıkan veriler sonucunda çözültüye geçen Ni^{+2} miktarının maksimum ve maliyetlerin minimum olması amaçlanarak, çok yönlü optimizasyon çalışması yapıldı ve Tablo 7'deki sonuçlar elde edildi. Maliyetin minimum tutulduğu deney koşullarında %77,57 nikel çözünme oranına ulaşılırken, maliyetin göz önünde bulundurulmadığı deney koşullarında %93,83 nikel çözünme verimine ulaşıldı. Yapılan deneyler sonucunda tablolardan elde edilen sayısal değerler, parametrelere karşı dönüşüm oranı olacak şekilde grafiğe geçirilen performans istatistiği (signal to noise ratio, S/N) Şekil 4'de verilmektedir. S/N oranı ile her bir faktörün her bir seviyesi için bağımsız etkisi yani çözünme üzerindeki performans etkisi tespit edildi. Asit konsantrasyonunun ve sıcaklığın artması, çözünme performansını artırırken, katı/sıvı oranında azalma olması durumunda çözünme performansı artmaktadır. Her bir parametrenin çözünme üzerine etkinlik derecesinin sırası sıcaklık, asit konsantrasyonu, katı/sıvı oranı, karıştırma hızı ve reaksiyon süresi şeklindedir.

Tablo 6. Nikel İçin Belirlenen Parametrelerin Çözünme Üzerindeki Etkinlik Değerleri (ANOVA Tablosu)

| Analysis of Variance (Spreadsheet1) Mean = 38.0330 Sigma = 17.5097 * - effect pooled into error term | | | | | |
|--|----------|----|----------|----------|----------|
| | SS | df | MS | F | p |
| Temp | 1443.159 | 3 | 481.0530 | 25.59537 | 0.012237 |
| Asit kons. | 1628.409 | 3 | 542.8029 | 28.88089 | 0.010288 |
| KS | 1093.179 | 3 | 364.3932 | 19.38825 | 0.018167 |
| *KH | 56.384 | 3 | | | |
| Süre | 377.734 | 3 | 125.9112 | 6.69935 | 0.076292 |
| Residual | 56.384 | 3 | 18.7945 | | |

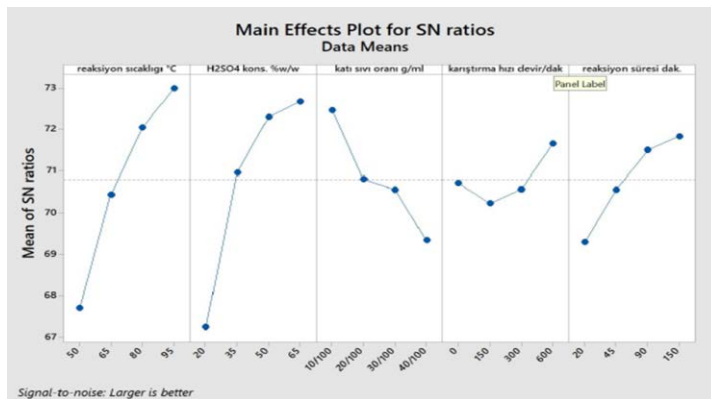
Tablo 7. Çok Boyutlu Optimizasyon için Performans İstatistiği Değerleri

| Parametre | Parametre Değeri (Seviyesi) | Performans İstatistiği | | | | Maliyet | Seçim |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------|-------|-------|---------|----------------|
| | | %Ni | %Cr | %Co | %Fe | | |
| A Reaksiyon Sıcaklığı (°C) | 50 | 37,00 | 8,95 | 38,40 | 13,30 | Min. | A ₄ |
| | 65 | 50,73 | 13,25 | 49,72 | 23,45 | | |
| | 80 | 62,86 | 18,44 | 60,28 | 36,10 | Max. | |
| | 95 | 69,31 | 21,46 | 65,41 | 39,86 | | |
| B Katı/Sıvı Oranı (g/mL) | 10/100 | 70,08 | 22,91 | 67,36 | 44,68 | Max. | B ₃ |
| | 20/100 | 55,22 | 15,11 | 52,78 | 27,36 | | |
| | 30/100 | 51,14 | 13,30 | 50,21 | 23,25 | Min. | |
| | 40/100 | 43,45 | 10,78 | 43,72 | 17,43 | | |
| C Asit Konsantrasyonu (% w/v) | 20 | 34,62 | 14,41 | 33,33 | 10,23 | Min. | C ₄ |
| | 35 | 55,17 | 15,72 | 51,38 | 30,56 | | |
| | 50 | 63,56 | 19,32 | 61,88 | 41,41 | Max. | |
| | 65 | 66,56 | 19,16 | 67,22 | 30,70 | | |
| D Reaksiyon Süresi (dk.) | 20 | 46,35 | 11,42 | 45,90 | 21,43 | Min. | |

| | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|------|----------------|
| | | 45 | 53,96 | 15,44 | 52,99 | 23,51 | | |
| | | 90 | 58,23 | 16,21 | 56,11 | 28,56 | | D ₄ |
| | | 150 | 61,37 | 19,02 | 58,82 | 39,23 | Max. | |
| E | Karıştırma Hızı (devir/dk) | 0 | 55,90 | 15,79 | 53,82 | 27,63 | Min. | |
| | | 150 | 51,89 | 14,58 | 51,60 | 27,93 | | E ₁ |
| | | 300 | 53,82 | 15,49 | 52,50 | 23,58 | | |
| | | 600 | 58,29 | 16,24 | 55,90 | 33,59 | Max. | |

Tablo 8. Deney Sonuçları

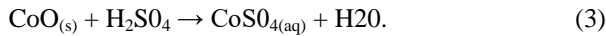
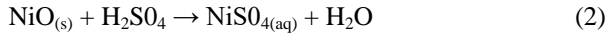
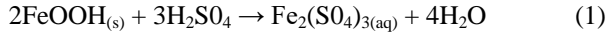
| Den.No | Rxn Sıc. (°C) | Asit Kon. (w/v) | Katı/Sıvı Oran. (g./mL) | Karışt. Hızı dev./dk. | Rxn Süre dk. | Çözün. Ni ²⁺ ppm | Çözün. Yüzde. % Ni | Çözün. Yüzde. % Cr | Çözün. Yüzde. % Co | Çözün. Yüzde. % Fe |
|--------|---------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 50 | 20 | 10/100 | 0 | 20 | 1630 | 24,05 | 4,87 | 25,00 | 4,55 |
| 2 | 50 | 35 | 20/100 | 150 | 45 | 2260 | 33,34 | 7,70 | 33,33 | 9,76 |
| 3 | 50 | 50 | 30/100 | 300 | 90 | 2973 | 43,86 | 11,17 | 45,28 | 17,37 |
| 4 | 50 | 65 | 40/100 | 600 | 150 | 3170 | 46,77 | 12,05 | 50,00 | 21,53 |
| 5 | 65 | 20 | 20/100 | 300 | 150 | 2430 | 35,85 | 8,68 | 33,33 | 11,13 |
| 6 | 65 | 35 | 10/100 | 600 | 90 | 4920 | 72,59 | 22,23 | 66,67 | 47,94 |
| 7 | 65 | 50 | 40/100 | 0 | 45 | 3233 | 47,70 | 12,48 | 48,06 | 20,70 |
| 8 | 65 | 65 | 30/100 | 150 | 20 | 3170 | 46,77 | 9,61 | 50,83 | 14,03 |
| 9 | 80 | 20 | 30/100 | 600 | 45 | 2777 | 40,97 | 9,22 | 38,89 | 13,96 |
| 10 | 80 | 35 | 40/100 | 300 | 20 | 2830 | 41,75 | 9,75 | 39,72 | 16,19 |
| 11 | 80 | 50 | 10/100 | 150 | 150 | 6090 | 89,85 | 32,17 | 86,11 | 76,63 |
| 12 | 80 | 65 | 20/100 | 0 | 90 | 5345 | 78,86 | 22,62 | 76,39 | 37,63 |
| 13 | 95 | 20 | 40/100 | 150 | 90 | 2548 | 37,59 | 8,83 | 36,11 | 11,28 |
| 14 | 95 | 35 | 30/100 | 0 | 150 | 4947 | 72,99 | 23,20 | 65,83 | 47,64 |
| 15 | 95 | 50 | 20/100 | 600 | 20 | 4935 | 72,81 | 21,45 | 68,05 | 50,93 |
| 16 | 95 | 65 | 10/100 | 300 | 45 | 6360 | 93,83 | 32,36 | 91,66 | 49,61 |



Şekil 4. Her Bir Parametrenin Çözünmedeki Etkinlik Derecesi Sırası Baz Alınarak Çizilen, Parametre Değişimlerine Karşı Dönüşüm Oranları Grafikleri (Performans İstatistiği, signal to noise ratio, S/N)

Lateritik cevherdeki ana bileşen olan demir, sülfürik asit ile demir sülfat vermek üzere çözünür (Rxn. 1). Goethite yapısında bulunan nikel ve kobalt ise, oksitleri veya hidroksitleri formunda kabul edilir ve sülfürik asitle Eşitlik 2 ve Eşitlik 3' e göre çözültide sülfatları halinde kalır.

Lateritik cevherinin H₂SO₄ ile verdiği reaksiyon aşağıdaki gibi gösterilebilir:



Reaksiyonlara göre, demir, nikel ve kobaltın sülfürik asit ile çözültiye geçme oranı oldukça kolaylaşmaktadır. Elde edilen sonuçlarda, bu durumu desteklemektedir. Denemelerden elde edilen veriler ışığında, çözünme oranını maksimum yapan parametre seviyelerinin A4, B1, C4, D2 ve E3 olduğu görüldü. Buna göre maksimum çözünmenin (% 93,83) sağlandığı proses şartları; reaksiyon sıcaklığı 95 °C, katı /sıvı oranı 10/100 (g/mL), asit konsantrasyonu % 65 (w/v), karıştırma hızı 300 devir/dak. ve reaksiyon süresi 45 dak. dır.

Maliyetlerin de dikkate alındığı durumda (Tablo 7 ve 8) ise, optimum proses şartları aşağıdaki gibidir:

Reaksiyon sıcaklığı : 95 °C

Katı/sıvı oranı: : 30 / 100 (g/mL)

Asit konsantrasyonu : % 65 (w/v)

Karıştırma hızı : 300 dev./ dak.

Reaksiyon süresi : 150 dak.

Maliyetin minimum olduğu şartlarda % 77,57 nikel, % 23,67 krom, % 69,02 kobalt ve % 48,65 demir çözünme oranı elde edildi. Maliyetlerin dikkate alındığı bu çalışma koşullarının ışığında, verimi biraz daha artırabilmek için diğer tüm koşullar aynı tutularak 240 ve 480 dk.lık reaksiyon sürelerinde deneyler tekrarlandı. Sürenin değiştirilerek deneylerin tekrarlanması sonucunda sırasıyla, % 81,45 ve 86,78' lik nikel, % 23,98 ve 24,23' lik krom, % 73,64 ve % 77,06' lik kobalt ile % 50,67 ve % 51,96' lık demir kazanım verimi elde edildi.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Taguchi Fraksiyonel Deney Tasarımı ile deney sayısı en aza indirilerek, zaman kaybının ve maliyetin önüne geçilmesi sağlandı. Taguchi deney tasarımında, nikel çözünme miktarının (% 93,83) maksimum olduğu deney koşulları; 95°C sıcaklık, 45 dakika liç süresi, 10 g cevher/100 mL' lik katı/sıvı oranı, 300 dev./dak. karıştırma hızı ve % 65 (w/v) sülfürik asit konsantrasyonu olarak tespit edilmesine karşın maliyetler göz önüne alındığında sıcaklık, karıştırma hızı ve asit konsantrasyonu aynı kalırken, liç süresi 150 dak. ve katı/sıvı

oranı 30g cevher/100mL' ye çıkmaktadır. Maliyetlerin göz önüne alındığı bu koşullardaki nikel çözünme oranı %77,57 olarak gerçekleştiği tespit edildi. Karıştırma yapılmaksızın en uygun çözünme koşulları ise; 95 °C sıcaklık, 150 dakika liç süresi, 20 g cevher/100 mL katı/sıvı oranı ve % 65 (w/v) sülfürik asit konsantrasyonu olarak bulundu. Bu koşullardaki nikel çözünme miktarı yaklaşık %90 olarak gerçekleşti. Tüm bu çalışmalar sonucunda sülfürik asitin; atmosferik şartlar altında çok küçük tanecik boyutlarına (50 mikron altında) sahip lateritik cevherler için, iyi bir çözücü reaktif olabileceği teklif edilebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan Lateritik cevherleri sağlayan ve Arge Merkezi Laboratuvarlarında ICP-OES cihazı ile elementel analizlerin yapılmasında destek olan Meta Nikel Kobalt A.Ş.' ye katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Abalı, Y., Bayça, S.U., Edgünlü, G., 2015, Optimization of pure borax pentahydrate extraction from calcined tincal, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 51(2), 375–385.
2. Abalı, Y., Çolak, S., Yapıcı, S., 1997, The optimization of the dissolution of phosphate rock with Cl_2 - SO_2 gas mixtures in aqueous medium, *Hydrometallurgy*, 46, 27-35.
3. Abalı, Y., Çopur, M., Yavuz, M., 2006, Determination of The Optimum Conditions for Dissolution of Magnesite with H_2SO_4 Solutions, *Ind. J. of Chem. Technol.*, 13, 391–397.
4. Ağaayak, T., Zedef, V., 2014, Leaching of a Turkish lateritic nickel ore in nitric acid solution, *Mine Planning and Equipment Selection*, 1039-1045.
5. Alcock, R.A., 1988, The character and occurrence of primary resources available to the nickel industry, *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt*, (eds: Tyroler, G.P., Landolt, C.A.), 67-89.
6. Aras, A., Ağaayak, T., 2017, Optimization of nickel extraction from lateritic ore in hydrochloric acid solution with hydrogen peroxide by Taguchi Method, *Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech.*, 5 (3), 341-352.
7. Arslan, F., Özer, Ö., Perek, K.T., Gürkan, V., Önal, G., 2006, Dissolution of lateritic ore in acidic media , *Proceedings of International Mineral Processing Congress, IMPC 2006, Istanbul, Turkey*, 3-8 September, 1500-1504.
8. Ayanda, O. S., Adekola, F. A., Baba, A. A., Fatoki, O. S., Ximba, B. J., 2011, “Comparative Study of the Kinetics of Dissolution of Laterite in Some Acidic Media”, *J. of Miner. & Mater. Character. & Eng.*, 10 (15), 1457–1472.
9. Büyükkakıncı E, Topkaya Y.A, 2009, Extraction of nickel from lateritic ores at atmospheric pressure with agitation leaching, *Hydrometallurgy*, 97, 33-38.
10. Büyükkakıncı, E., 2008, Extraction of Nickel from Lateritic Ores, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
11. Canterford, J., 1978, Leaching of some Australian nickeliferous laterites with sulfuric acid at atmospheric pressure, *Proc. Australas. Inst. Min. Metall.*, 265, 19-26.
12. Chander, S., 1982, Atmospheric pressure leaching of nickeliferous laterites in acidic media, *Trans. Indian Inst. Met.* 35(4), 366-371.
13. CRC Handbook of Chemistry and Physics, (ed: Lide, D.R.), CRC Press, 2010.
14. Curlock, W., 2004, Direct atmospheric leaching of saprolitic nickel laterites with sulfuric acid. *International Laterite Nickel Symposium, TMS, Warrendale*, 385-398.

15. Çiftçi, H., Atik, S., 2014, Lateritik Cevherlerden Nikel Kazanımında Biyoliç Yöntemi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30 (4), 275-284.
16. Çolakoğlu, C., 2008, Yerel Kaynaklı Lateritik Nikel Cevherlerinden Ferronikel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
17. Çopur, M., 2002, "An Optimization Study of Dissolution of Zn and Cu in ZnS Concentrate with HNO₃ Solutions", Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 16 (4), 191-197.
18. Dalvi, A.D., Bacon, W.G., Osborne, R.C., 2004, The past and future of nickel laterites, PDAC International Convention, Trade Show & Investors Exchange, 7-10 March, 1-27.
19. Demir, F., Dönmez, B., 2008, Optimization of the dissolution of magnesite in citric acid solutions, International Journal of Mineral Processing, 87(1-2), 60-64.
20. Dogan, T. H., Yartasi, A., 2014, "Optimization of Dissolution of Ulexite in Phosphate Acid Solutions", Journal of the Chemical Society of Pakistan, 36 (4), 601-605.
21. Gökteş, M., 2007, Manisa-Turgutlu-Çalıdağ Nikel Nikel Ham Cevherinin Yapısal Özelliklerinin ve Bunlara Dayalı Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
22. Göveli, A., 2006, Nickel Extraction from Gördes Laterites by Hydrochloric Acid Leaching, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
23. Guo, Q., Qu, J., Han, B., Zhang, P., Song, Y., Qi, T., 2015, "Innovative Technology for Processing Saprolitic Laterite Ores by Hydrochloric Acid Atmospheric Pressure Leaching", Minerals Engineering, 71, 1-6.
24. Güreç, Ç.T., 2011, Karaçam Laterik Nikel Cevherinin Sülfürik Asit-Hidrojen Peroksit Sistemindeki Çözünme Davranımı, Yüksek Lisans.
25. Hoatson, D.M., Jaireth, S., Jaques, A.L., 2006, Nickel sulfide deposits in Australia: characteristics, resources, and potential. Ore Geology Reviews 29, 177-241.
26. <https://www.nickelinstitute.org/about-nickel#04-first-use-nickel> (Erişim Tarihi: 11.05.2020)
27. <http://www.webelements.com/nickel/geology.html> (Erişim Tarihi: 11.05.2020)
28. <http://www.webmineral.com/Chem-Ni.html> (Erişim Tarihi: 11.05.2020)
29. Korkmaz, K., 2014, Comparative Study of High Pressure and Atmospheric Acid Leaching for the Extraction of Nickel and Cobalt from Refractory Nickel Laterite Ores, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
30. Köse, C.H., 2010, Hydrometallurgical Processing of Lateritic Nickel Ores, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
31. Köşeler, M., 2012, Mikrodalga Etkisinde Adatepe (Karaçam) Lateritik Cevherinin Liçing Şartlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
32. Kuck, P.H., 2005, Nickel. United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2005. United States Geological Survey, 114-115. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/nickel/nickemcs05.pdf> (Erişim Tarihi: 11.05.2020)
33. McRae, M. E., 2019, Nickel. United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2019. United States Geological Survey, 112-113. <https://prd-wret.s3-us-west.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs-2019-nicke.pdf> (Erişim Tarihi: 11.05.2020)
34. Mudd, G.M., 2010, Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites, Ore Geology Reviews, 38, 9-26.

35. Nasuh, A., 2014, Eskişehir-Karaçam Lateritik Cevherinden Basınçlı Sülfürik Asit Liçi ile Nikel Kazanımı, Doktora Tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
36. Olesik, J.W., Jones, D.R., 2006, Strategies to develop methods using ionmolecule reactions in a quadrupole reaction cell to overcome spectral overlaps in inductively coupled plasma mass spectrometry, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 21, 141-159.
37. Özdemir, V., 2006, Hydrometallurgical Extraction of Nickel and Cobalt From Çaldağ Lateritic Ore, Yüksek Lisans, Middle East Technical University, Ankara.
38. Rao, G.V., 2000, Regional Research Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, Bhubaneswar, India, Academic Press, III / Nickel and Cobalt Ores: Flotation, 3491-3500.
39. Seçen, B., 2011, Pressure Leaching of Sivrihisar-Yunusemre Nickel Laterites, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
40. Sudol, S., 2005, The thunder from down under: everything you wanted to know about laterites but were afraid to ask, *Canadian Mining Journal*.
41. Taguchi, G., 1987, *System of Experimental Design*, Quality Resources, New York.
42. Yıldırım, H., 2012, Yerel Lateritik Nikel Cevherinden Nikel Pik Demir Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ankara.

İZMİR İLİNDE AL₂O₃: C DOZİMETRELER KULLANILARAK SOLAR UVB RADYASYONUNUN ÖLÇÜLMESİ

Coşkun HARMANŞAH¹, Elçin EKDAL KARALI², Volkan SÖZERİ³

Accepted: 2020-12-30

DOI: 10.47118/somatbd.829561

ÖZET

Solar UV radyasyonunun ekolojik sistem üzerine önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Stratosferdeki ozon tabakasının incilmesi nedeniyle yeryüzüne ulaşan ultraviyole (UV) radyasyonundaki artışların oluşturabileceği riskler birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır. UVB radyasyonu, küresel solar UV radyasyonunun sadece küçük bir kısmını oluştursa da, insan ve hayvanlar ile bitkiler üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Ayrıca, UVB radyasyonun karasal ve deniz ekosistemindeki canlı organizmalar üzerinde olumsuz etkileri de bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, solar UVB radyasyonunun ölçülmesinde termolüminesans dozimetrelerinin (TLD) kullanılabilirliğini araştırmaktır. TLD'ler, ucuz olmaları kolay bulunabilmeleri ve basit kullanımları gibi bazı üstün özelliklere sahiptir. Araştırmamızda, UVB radyasyonunu ölçmek için Al₂O₃: C termolüminesans dozimetreleri kullanılmış olup bunlar, düşük iyonlaştırıcı radyasyon dozlarına ve UVB radyasyonuna çok duyarlıdır. Yeryüzüne ulaşan UVB radyasyonunun günlük miktarı çalışma yapılan günlerde 09:00 ile 16:00 saatleri arasında periyodik olarak alüminyum oksit dozimetrelerle ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden alınan UV radyasyon verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Solar UVB radyasyon, TLD, Al₂O₃:C dozimetre, Radyasyon ölçme

MEASUREMENT OF SOLAR UVB RADIATION USING AL₂O₃:C DOSIMETERS IN CITY OF IZMIR

ABSTRACT

It is well known that UV radiation has a significant effect on our ecologic system. The risks that may be caused by the increases in ultraviolet (UV) radiation reaching the earth's surface due to the depletion of stratospheric ozone have been studied by many researchers. Although UVB radiation consists only a small fraction of the global solar UV radiation, it causes harmful effects on human, animal and plant. Furthermore, UVB may have several adverse effects on living organism in terrestrial and sea ecosystem.

¹ Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, 35100, Bornova, İZMİR, Tel: 0 (232) 311 14 68, coskun.harmansah@ege.edu.tr

² Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, 351000, Bornova, İZMİR, Tel: 0 (232) 311 34 53, elcin.ekdal@ege.edu.tr

³ Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, 35100, Bornova, İZMİR, Tel: 0 (232) 311 14 72, volkan.sozeri@ege.edu.tr

The aim of this work is to investigate the usability of thermoluminescence dosimeters (TLDs) in measuring the solar UVB radiation. TLDs have some superior characteristics such as their availability, being cheap and easy to use. In this study, we used $Al_2O_3:C$ thermoluminescence dosimeters for measuring the UVB radiation, they are very sensitive to low ionizing radiation doses and UVB radiation. The daily exposures of the ground surface UVB radiation were periodically measured using aluminium oxide dosimeters. The measurements were taken from 09:00 to 16:00 in each study day. Obtained results were observed to be consistent with the UV data received from Ege University, Solar Energy Institute.

Key words: Solar UVB radiation, TLD, $Al_2O_3:C$ dosimeter, Radiation measurement

1. INTRODUCTION

Solar UV radiation is part of the electromagnetic spectrum. The UV spectrum is further subdivided into three regions according to wavelength: UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) and UVC (280-100 nm) (Sloney, 2007). When sunlight passes through the atmosphere, all UVC and about 90% of UVB radiation is absorbed by ozone, water vapour, oxygen and carbon dioxide. UVA radiation is less affected by the atmosphere but the energy of this radiation is not so high. Therefore, it is less harmful comparing to other part of UV radiation. The biological effects of solar UV radiation vary extremely depending on the wavelength. Diffey stated in his article that on summer day most of the terrestrial radiation is UVA (95%) and the remaining small part is UVB (4%) radiation. However, UVB is much more effective than UVA at causing biological damage (Diffey, 2002 and 2002).

It is well known that UV radiation has a significance effect on our lives, living organism, terrestrial and sea ecosystem (United Nations EP, 2006; Medhaug et al., 2009; McKenzie et al., 2011). Adequate levels of solar UV radiation are beneficial not only for the synthesis of vitamin D but also may help to prevent some type of cancers and also support human mental health (Norval et al., 2007; Humble, 2010; Gimenez et al., 2015). However, long periods of solar UV radiation exposure can cause harmful effects on eyes, immune system, and skin (Medhaug et al., 2009; Diepgen et al., 2012; United Nations EP, 2006). There are also harmful effects of UVB radiation on terrestrial ecosystem such as deceleration of photosynthesis of plants and infertility of soils because of loss of microorganisms in soils (Ekici and Aksoy, 2001). In addition, increases in solar UV level for animal and plant can cause change in breeding and altered species (Caldwell and Flint, 1994). Increases in skin cancer and cataracts; detrimental effects on terrestrial and sea ecosystems; chemical changes in the lower atmosphere (troposphere) depend on the intensity and exposure time to ambient solar radiation. (Diffey, 2002; Medhaug et al., 2009; Siani et al., 2009; Madronich, 1998; NEHC-TM92-5, 1992).

It has seen rapid growth in the number and quality of solar UV measurements last decade. In this period, many new commercial and scientific-based UV detectors have been developed for solar UV measurements. Also, various research and studies have been carried out to calibrate and intercomparisons of these detector systems. Detector systems used in solar UV radiation measurements have some advantages and disadvantages as compared with each other. There are some difficulties of consistently measuring solar UV-B radiation at ground level.

Researchers are trying different techniques and methods to overcome these difficulties. In order to achieve good and acceptable measurements, application of strict protocols both at the time of calibration and measurement are needed. The main problem here is that UVB radiation consists only a small fraction of the global solar UV radiation at ground level. Due to their high cost and expensive maintenance and calibration procedures, researchers are trying to develop more economical measurement systems using by different techniques and methods.

In this context, one of the methods used to measure UV radiation is the thermoluminescence (TL). When a material is exposed to ionizing radiation, part of the absorbed energy is stored in metastable energy levels of its electronic energy levels. Adding some impurities or causing defects in the lattice structure or in some other way may form local energy levels or traps in a material. Part of the stored energy may later be released as visible light by heating the material. This phenomenon is called TL (Escobar et al., 2003).

In recent years, considerable interest has been given to the investigation of the TL response of phosphors to the UV radiation (Vij, 1993). Examples of particular studies include work on pure CaF_2 , a useful dosimeter of terrestrial solar UV radiation (Edwin et al., 1972), and $\text{CaF}_2:\text{Dy}$, the latter displaying high TL response to UV radiation following sensitization by means of high temperature treatment (Bassi et al., 1975). Other works have been focused on the UV response of Al_2O_3 , investigating its sensitivity against UV radiation (Oster et al., 1994; Pradhan et al., 1996; Duggan et al., 2000; Sawakuchi et al., 2008). Furthermore, $\text{LiF}:\text{Mg,Cu,P}$ (TLD-100H), $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ (TLD-200), $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ (TLD-400), $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ (TLD-500), $7\text{LiF}:\text{Mg,Cu,P}$ (TLD-700H) and $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ (TLD-900) thermoluminescence dosimeters were investigated for their response to UV radiation. However, there are few studies in literature regarding the UVB measurement using the TL technique (Sono and McKeever, 2002; Abdullah et al., 2001; Vergana and Romero, 1996).

The aim of the current study is to investigate the usability of thermoluminescence dosimeters (TLD) for measuring the solar UVB radiation, due to having some superior characteristics such as their availability, being cheap and easy to use.

2. MATERIALS AND METHODS

In order to measure the UVB radiation, $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ pellets of 5 mm diameter and 1 mm thick provided by Landauer were used. The samples were pre-annealed in air at 900 °C for 15 minutes and quenched to room temperature to remove any existing charge from traps. Since the dosimeters are sensitive to daylight, they were protected from direct light during handling, irradiation and readout process. The glow curves were recorded by heating the samples at a uniform rate of 2 °C s⁻¹ ranged from 30 °C to a final temperature of 300 °C using a temperature controller. The luminescence emission was detected by a photo-multiplier tube (EMI 9635QB) with a heat absorbent filter (Schott KG-1) in order to prevent the black body radiation reaching the PM tube. The signal from PM tube was amplified and interfaced to a personal computer.

After the pre-annealing, to determine the UVB dose-response of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$, each sample packed in a 340 nm cut-off filter (Schott UG-11), was illuminated with a high-pressure mercury lamp (Philips 93136E) used as UV light source. This illumination was performed from 1 to 60 minutes and then TL signals were recorded Fig. 1 shows the experimental setup used to determination of UVB dose reponse of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$.

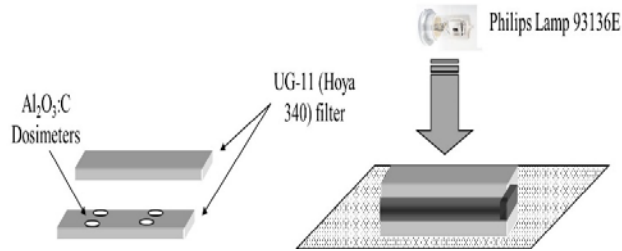


Figure 1. Experimental setup for UVB dose response of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$.

After determining the UVB dose response by mercury lamp, the dosimeters exposed to sun light from 9 am to 6 pm in 10 minutes periods (Fig. 2). The signals only arising from the sample were obtained after subtraction of the background, which were taken with a blank sample. The luminescence signals of dosimeters were integrated between 100° and 250°C , which provides the total UVB radiation dose response of the dosimeter. For the calibration of the $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dosimeter, A UV sensor (Vantage Pro Weather Station) was used in the same period and found the exposing UV radiation dose as UV index unit ($1 \text{ UV index} = 25 \text{ mW m}^{-2}$).

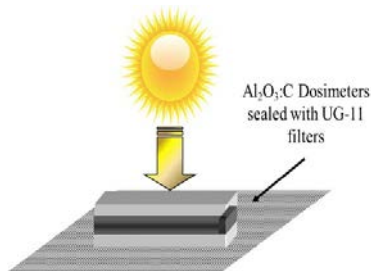


Figure 2. Experimental setup for solar UVB measurement

3. RESULTS

To determine the optimum UV exposure period to the solar UV radiation, the dose response curve of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ dosimeters should be derived. For this purpose, the dosimeter exposed to Hg lamp with UG-11 filter in different periods varied from 1 min to 60 min. After that TL measurements were conducted and the background signals were subtracted from the TL signal. Some of TL glow curves used plotting the UVB dose response curve of Al_2O_3 dosimeter are presented in Fig 3. It was observed that the glow curves peaked at 180°C . This result is in good agreement with the literature (McKeever et al., 1999).

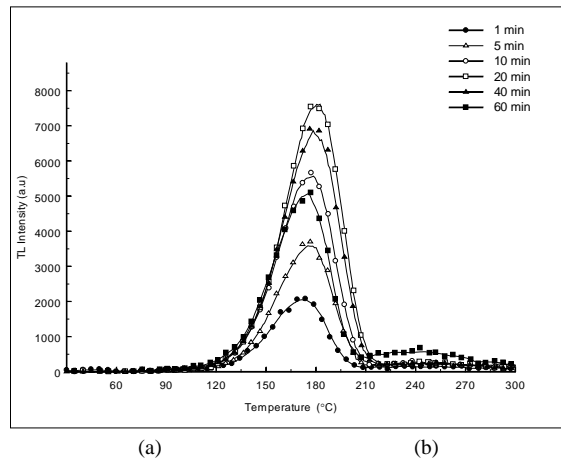


Figure 3. TL glow curves of Al₂O₃ dosimeters recorded after UVB exposure by Hg lamp.

The dose response curve was plotted by integrating the underlying area between 100 and 250 °C of these TL glow curves (Fig 4). These integrations were associated with the exposed UVB radiation dose of the dosimeter. It was observed that the dose response curve increased linearly up to 20 minutes and followed by a gradual decrease for longer exposure times which can be attributed to the saturation of the TL detectors. Therefore, the duration of exposing the dosimeters to the solar UVB was chosen as 10 min.

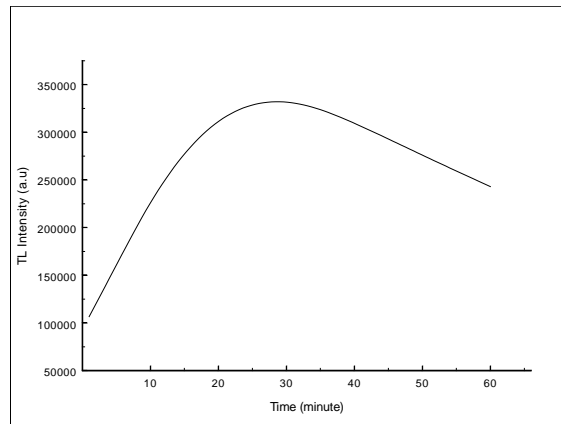


Figure 4. Test Dose response curve of Al₂O₃ dosimeters for UVB radiation.

After recording the TL signals of the dosimeters, underlying area between 100 and 250 °C of obtained TL glow curves were integrated so daily solar UVB radiation dose were determined. To convert integrating area values to mW m⁻² unit, which is a measure of UV index, solar UV measurements were made in Solar Energy Institute of Ege University, Turkey by using UV sensor that gives the results in UV index (1 UV index = 25 mW m⁻²). Figure 5 and Figure 6 present the daily solar UV radiation dose distribution measured by UV sensor and the daily solar UVB radiation dose distribution obtained by Al₂O₃:C TL detectors.

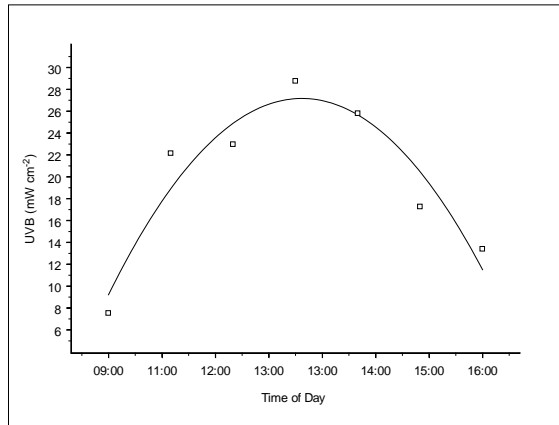


Figure 5. UV radiation dose distribution measured by UV sensor for 10 min.

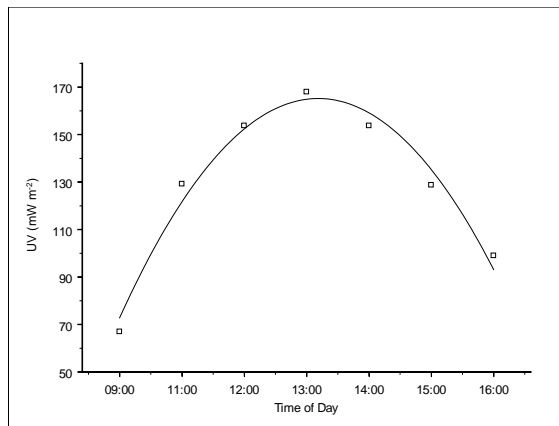


Figure 6. Distribution of UVB radiation dose obtained by Al₂O₃:C dosimeters after exposing 10 min. to the solar UVB.

The slight differences between the results obtained by UV sensor and TLDs may be speculated as follows; the obtained dose using UV sensor was the daily UV radiation dose, however, the obtained dose by using TL detectors was the daily UVB radiation dose since detectors was exposed to the solar UV using UG-11 cut-off filters. When Al₂O₃:C dosimeter exposed to direct solar UV radiation without packing with UG-11, accurate dose may not be determined because of the influence of Phototransferred Thermoluminescence (PTTL). These inaccuracies may arise because of some direct or indirect interactions of solar UV radiation.

4. CONCLUSION

The obtained results from the TLD measurements showed that the highest UVB radiation doses are between 12 and 14 o'clock. It is observed that the results are consistent with the results from meteorological UV radiation measurement system. For their superior characteristics such as availability, cheapness and ease of use, it can be suggested that Al₂O₃:C dosimeter can be used as sensors in UVB radiation measurements with the TL method.

Due to the harmful effects of UVB radiation on humans, animals and plants, measurements of daily exposures of the solar UV radiation are very important for the future of our planet. From this point of view, data from this work will provide valuable insights for studies on monitoring daily exposure of the solar UVB reaching earth's surface.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge to Solar Energy Institute of Ege University for solar UV dose measurements by UV sensor.

5. REFERENCES

- [1]. Abdullah M. N., Yusoff M. A., Rosli H. M., Bradley, D. A., (2001). Investigation of some commercial TLD chips/discs as UV dosimeters, *Radiation Physics and Chemistry*, 61, 497–499.
- [2]. Bassi, P., Busuoli, G., Rimondi, O., (1975). High intrinsic TL of CaF₂:Dy to UV light, *J.Health Phy.* 28 (4), 470–471.
- [3]. Caldwell, M. M., Flint, S. D., (1994). Stratospheric ozone reduction solar UV-B radiation and terrestrial ecosystems, *Climatic Change* 28(4), 375–394.
- [4]. Diepgen, T. L., Fartasch, M., Drexler, H., Schmitt, J., (2012). Occupational skin cancer induced by ultraviolet radiation and its prevention, *Br. J. Dermatol.* 167, 76–84.
- [5]. Diffey, B. L., (2002). Human exposure to solar ultraviolet radiation, *Journal of Cosmetic Dermatology* 1, 124–130.
- [6]. Diffey, B. L., (2002). Sources and measurement of ultraviolet radiation, *Methods* 28, 4–13.
- [7]. Duggan, L., Budzanowski, M., Przegietka, K., Reitsema, N., Wong, J., Kron, T., (2000). The light sensitivity of thermoluminescent materials: LiF:Mg, Cu, P, LiF:Mg, Ti and Al₂O₃:C, *Radiation Measurements*, 32(4), 335-342.
- [8]. Edwin, C., Cary, D., John, R., (1972). Thermoluminescence in natural calcium fluoride as a dosimeter for terrestrial solar ultraviolet radiation, *J. Appl. Phy.* 43 (1), 77–82.
- [9]. Ekici, M., Aksoy, B., (2001). Ultraviole Radyasyon Teknik Rapor, DMİ. Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [10]. Escobar -Alarcón, L., Villagrán, E., Camps, E., Romero, S., Villarreal-Barajas, J. E., González, P.R., (2003). Thermoluminescence of aluminum oxide thin films subject to ultraviolet irradiation, *Thin Solid Films*, 433, 126–130.
- [11]. Gimeenez, V. B., Ysasi, G. G., Moreno J. C., Serrano, M. A., (2015). Maximum Incident Erythemally Effective UV Exposure Received by Construction Workers, in Valencia, Spain, *Photochemistry and Photobiology*, 91: 1505–1509.

- [12]. Humble, M. B., (2010). Vitamin D, light and mental health. *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.* 101, 142–149.
- [13]. Madronich, S., McKenzie, R.L., Bjorn, L. O., Caldwell, M.M., (1998). Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 46, 5–19.
- [14]. McKeever, S. W. S., Akselrod, M. S. , Colyott, L. E. , Agersnap Larsen, N., Polf, J. C., Whitley, V., (1999). Characterization of Al_2O_3 for use in thermally and optically stimulated luminescence dosimetry, *Radiation Protection Dosimetry* 84:163-166.
- [15]. McKenzie, R. L., Aucamp, P. J., Bais, A. F., Björn, L. O., Ilyas, M., Madronich, S., (2011). Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 10, 182–198.
- [16]. Medhaug, I., Olseth, J. A., Reuder, J., (2009). UV radiation and skin cancer in Norway, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 96, 232–241.
- [17]. Nerushev, A. F., Tereb, N. V., (2004). Comparison of Ground-based and Satellite Measurements of Ultraviolet Radiation Exposures near the Ground, 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Proceedings, IEEE Xplore, DOI: 10.1109/IGARSS.2003.1294424
- [18]. Norval, M., Cullen, A. P., de Grujil, F. R., Longstreth, J., Takizawa, Y., Lucas, R. M., Noonan, F. P., van del Leun, J. C., (2007). The effects on human health from stratospheric ozone depletion and its interactions with climate change. *Photochem. Photobiol. Sci.* 6, 232–251.
- [19]. Oster, L., Weiss, D., Kristianpoller, N., (1994). A study of photostimulated thermoluminescence in C-doped Al_2O_3 crystals. *J. Appl. Phys.* 77, 1732–1736.
- [20]. Pradhan, A.S., Dash Shrho, P.K., Shirva, V.K., (1996). Thermoluminescence response of $Al_2O_3:C$ to UV and ionizing radiation. *J. Radiat. Prot. Dosim.* 64 (3), 227–231.
- [21]. Saez-Vergana, J.C., Romero, A. M., (1996). Measurement of daily environmental radiation doses using hypersensitive thermoluminescence materials, *Radiation Protection and Dosimetry*, Volume 66 No:1-4, pp. 167-172.
- [22]. Sawakuchi, G.O., Yukihara, E.G., McKeever, S.W.S., Benton, E.R., (2008). Optically stimulated luminescence fluence response of $Al_2O_3:C$ dosimeters exposed to different types of radiation, *Radiation Measurements*, 43, 450 – 454.
- [23]. Siani, A. M., Casale, G. R., Sisto, R., Borra, M., Kimlin M. G., Lang, C. A., Colosimo, A., (2009). Short-term UV Exposure of Sunbathers at a Mediterranean Sea Site, *Photochemistry and Photobiology*, 85, 171–177.

- [24]. Sliney D. H., (2007). International Commission on Illumination, Radiometric Quantities and Units Used in Photobiology and Photochemistry: Recommendations of the Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination), Photochem Photobiol. 83, 425-32.
- [25]. Sono, D. A., McKeever, S. W. S., (2002). Phototransferred Thermo-luminescence for Use in UVB Dosimetry, Radiation Protection Dosimetry, 100 (1-4), 309–312.
- [26]. Ultraviolet Radiation Guide, (1992). Technical Manual NEHC-TM92-5, Bureau of Medicine and Surgery, Navy Environmental Health Center.
- [27]. United Nations Environmental Programme, Environmental Effects of Ozone Depletion: 2006 Assessment, Technical Report, WMO/UNEP, Nairobi, Kenya, 2007.
- [28]. Vij, D. R., (1993). Thermoluminescence materials, PTR Prentice-Hall, Inc. A Simon a Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

SİMETRİK VE FARKLI ORYANTASYON AÇILARINA SAHİP TABAKALI KOMPOZİT KİRİŞLERİN DİNAMİK ANALİZİ

Mustafa Oğuz NALBANT¹, Ayla TEKİN²

Accepted: 2020-12-15

DOI: 10.47118/somatbd.825928

ÖZET

Bu çalışmada, simetrik ve farklı oryantasyon açılına sahip iki tabakalı kompozit kirişlerin dinamik analizi numerik olarak incelenmiştir. İlk kısımda gerçek boyutlara sahip tabakalı kirişin sonlu elemanlar metodu ile analitik çözümü yapılmıştır. Analitik çözümde kiriş Euler-Bernoulli kiriş teorisi kirişi kabul edilmiştir. İkinci kısımda ise sistem sönümsüz serbest titreşime maruz bırakılarak dinamik analizi yapılmıştır. Sistemin numerik analizi için matematik analiz programı olan MATLAB program dili kullanılmıştır. İki tabakalı çeşitli sınır şartlarına sahip kirişlerin; farklı açılarda ve uzunluk-kalınlık oranlarında doğal frekansları elde edilmiştir. Tabakalı kompozit kirişlerde büyük genlikli titreşimler oldukça etkilidir. Bu sebeple frekanslar ilk sekiz mod için tablo haline getirilip yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar, Kompozit Malzeme, Dinamik Analiz, Doğal Frekans

DYNAMIC ANALYSIS OF LAYERED COMPOSITE BEAMS WITH SYMMETRIC AND DIFFERENT ORIENTATION ANGLES

ABSTRACT

In this study, the dynamic analysis of two-layer composite beams with symmetric and different orientation angles was analyzed analytically and numerically. In the first part, the analytical solution of the layered beam with real dimensions has been made using the finite element method. In the analytical solution, the beam is accepted based on the Euler-Bernoulli beam theory. In the second part, Natural frequencies of two-layered which have various boundary conditions layered beams were obtained at different angles and length-thickness ratios using the MATLAB program language, which is a mathematical analysis program. Large amplitude vibrations are quite effective in laminated composite beams. For this reason, the frequencies were tabulated and interpreted for the first eight modes.

Keywords: Finite Elements, Composite Material, Vibration, Dynamic Analysis, Natural Frequency

¹ Öğr. Gör., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, mustafa.nalbant@cbu.edu.tr, Soma, Manisa, Türkiye.

² Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, ayla.tekin@cbu.edu.tr, Soma, Manisa, Türkiye.

1. GİRİŞ

Mühendislik malzemeleri dört ana başlıkta toplanır. Bunlar metaller, polimerler, seramikler ve kompozitlerdir. Kompozit malzemeler, diğer üç sınıflandırmanın kendi araların makroskobik boyutta birleşmesinden oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir. Kompozit malzemeler cam, boron ve grafit gibi yüksek dayanımlı ince liflerin epoksi reçine gibi bağlayıcı bir matris malzeme içine yerleştirilmesi ile değişik üretim yöntemleri kullanılarak elde edilirler. Matris içinde lifler kısa-uzun, sürekli-sürekli ya da çok yönlü yerleşmiş olabilir. İzotropik malzemelere kıyasla kompozit malzemeler; hafiflik, yüksek dayanım, yorulma mukavemeti ve korozyon dirençleri de daha iyidir.

Liflerin çekme dayanımlarının yüksek olmasına rağmen birkaç dezavantajı da vardır. Basınç yüklerini taşıyamazlar ve eksene dik yöndeki mekanik özellikleri kendi eksenleri doğrultusundaki özellikleri gibi iyi değildir. Bu nedenden dolayı lifler bir araya getirilip bir matris malzeme ile desteklenmelidirler. Düşey yönde dayanım artışı zorlanma durumuna göre liflerin düz veya çapraz uygun biçimde yönlendirilmesi ile elde edilir (Atilla G. Ve Caglioglu H, 2011).

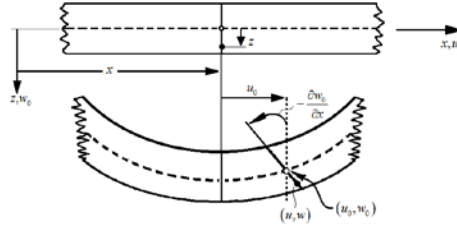
Kompozit malzemelerle ilgili (Lurie K.A., Guigen Z., Helen L., Sachin M., Min W. 2020, Cherkaev A.V. 2018, ve D.D.L. Chung, 2018) gibi farklı alanlarda yapılan akademik çalışma mevcuttur. Kompozit kirişlerin titreşim analizi de (K.M.A. Hossain, S. Hasib, T. Manzur, Alimirzaei S., Mohammadimehr M., Abdelouahed T. 2020 ve Farzad E., Ali D. 2018) gibi yine birçok araştırmacı için konu olmuş ve olmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada, simetrik ve farklı oryantasyonlar açılarında sahip iki tabakalı kompozit kirişlerin titreşim analizi analitik ve numerik olarak incelenmiştir. İlk kısımda gerçek boyutlara sahip tabakalı kirişin sonlu elemanlar metodu ile analitik çözümü yapılmıştır. Analitik çözümde kiriş Euler-Bernoulli kiriş teorisine dayalı kabul edilmiştir. İkinci kısımda ise matematik analiz programı olan MATLAB program dili kullanılarak iki tabakalı çift taraflı çeşitli sınır şartlarına sahip kirişlerin; simetrik ve farklı oryantasyonlar açılarında ve uzunluk-kalınlık oranlarında doğal frekansları elde edilmiştir. Tabakalı kompozit kirişlerde büyük genlikli titreşimler oldukça etkilidir. Bu sebeple frekanslar ilk sekiz mod için tablo haline getirilip yorumlanmıştır.

2. KLASİK KİRİŞ TEORİSİ

Euler Bernoulli kiriş teorisi olarak ta bilinen klasik kiriş teorisi, enine kesme deformasyonunu ve normal gerinim etkilerini ihmal eder (Atilla O., Emrah M. 2012).

\mathcal{E} gerinim ile u aksenal yer değiştirme arasındaki bağıntı şu şekilde verilir,



Şekil 1. Euler Bernoulli Kiriş Teorisi

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} \quad (1)$$

Eksenel yer değiştirme u ile kesitin θ dönüşü arasındaki ilişki (Wang, C.M., Reddy, J.N., Lee, K.M. 2000),

$$du = -z d\theta \quad (2)$$

Kiriş w sapması ile kesit dönüşü θ arasındaki ilişki şu şekilde yazılabilir (Petyt, M. 1990),

$$\theta \cong \frac{dw}{dx} \quad (3)$$

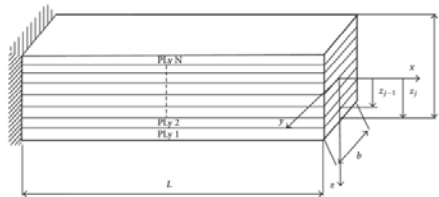
Denklem (3) ve (2), denklem (1)'de yerlerine yazılırsa(Petyt, M. 1990),

$$\varepsilon = -z \frac{d^2w}{dx^2} \quad (4)$$

Elde edilir. Denklemden kirişin eğriliği κ şu şekilde elde edilebilir(Petyt, M. 1990),

$$\kappa = \frac{d^2w}{dx^2} \quad (5)$$

3. TABAKALI KOMPOZİT KİRİŞİN MATEMATİKSEL MODELİ



Şekil 2. Tabakalı Kompozit Kirişin Geometrisi (Balci, M., Nalbant, M.O., Kara, E., Gundogdu, O. 2014)

Tabakalı kompozit Euler-Bernoulli kirişi için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Hooke yasasında şu şekilde verilir (Wang, C.M., Reddy, J.N., Lee, K.M. 2000)

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (6)$$

Burada D eğilme rijitlik matrisini verirken σ gerilimi temsil etmektedir. Malzemenin doğrusal ortotropik olduğu varsayılmıştır.

1 nolu eşitlikteki her terim aşağıdaki 7-9 nolu denklemlerdeki gibi tanımlanmıştır.

$$\{\sigma\}^i = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy}]^{T^i} \quad (7)$$

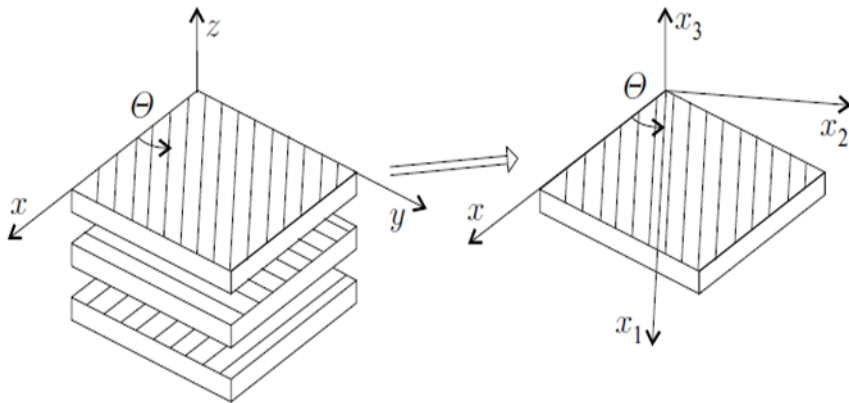
$$\{\varepsilon\}^i = \{\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \gamma_{xy}\}^{T^i} \quad (8)$$

$$[Q]^i = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix}^i \quad (9)$$

$[Q]^i$ Denklemde verilen i . katman için indirgenmiş elastik sabitler matrisini temsil eder (Reddy, J., N., Wang, C., M., Lee, K., H., 1997).

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}, \quad Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (10)$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}, \quad Q_{66} = G_{12}$$



Şekil 3. x, y, z koordinat sisteminden, x_1, x_2, x_3 koordinat sistemine geçiş ve tabaka açıları

$$[\sigma]_{x_1-x_2} = [T][\sigma]_{x-y} \quad (11)$$

Burada $[T]$, sırasıyla gerilim ve şekil değiştirme için dönüşüm matrisleridir.

$[\bar{Q}]$ rijitlik matrisi ise

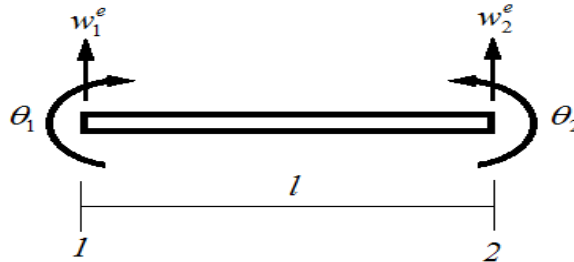
$$[\bar{Q}] = [T][Q][T]^T \quad (12)$$

İşlemler yapıldığında tabakaların rijitlik matrisleri şu şekilde tanımlanır (Balci, M., Nalbant, M.O., Kara, E., Gundogdu, O. 2014),

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N \bar{Q}_{ij}^{(k)} (z_k - z_{k-1}) \quad B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \bar{Q}_{ij}^{(k)} (z_k^2 - z_{k-1}^2) \quad D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N \bar{Q}_{ij}^{(k)} (z_k^3 - z_{k-1}^3)$$

4. SONLU ELEMENLAR MODELİ

Euler Bernoulli eğme kiriş teorisine uymak için her biri iki serbestlik derecesine sahip iki mesnete sahip düzlemsel bir kiriş elemanı seçildi. Kiriş sapması "w" olarak serbestlik derecesine ve "θ" kesitinin dönüşüne sahip olan kiriş elemanı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Düzlem Eğme Kiriş Eleman

Euler Bernoulli Tabakalı eğme kirişin rijitlik ve global kütle matrisleri sırasıyla aşağıdaki gibi bulunmuştur (Balci, M., Nalbant, M.O., Kara, E., Gundogdu, O. 2014),

$$[k]_e = t \int_{-1}^1 [B]^T [D][B] \partial x \quad (13)$$

$$[m_e] = \int_e \rho [N]^T [N] \partial V \quad (14)$$

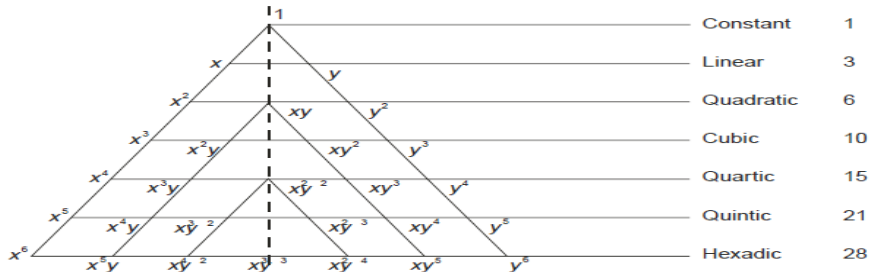
Eğme kirişi elemanı için geliştirilen kütle ve rijitlik matrisleri bir Euler-Bernoulli kirişini temsil edecek şekilde birleştirilirse,

$$[M] = \sum_{e=1}^n m^e$$

$$[K] = \sum_{e=1}^n k^e$$
(15)

[M] ve [K] sırasıyla global kütle matrisi ve rijitlik matrislerini, n ise modelde kullanılan sonlu elemanların sayısını ifade eder.

Şekil Fonksiyonunun Eldesi



Şekil 5. Pascal Üçgeni

Ortotropik malzemeye sahip kompozit malzemeden yapılan tabakalardan oluşturulmuş kiriş elemana ait şekil fonksiyonunun eldesi için kullanacak olduğumuz çökme değeri için şekil 5'te görülen pascal üçgeninden faydalanılmıştır.

$$w(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3$$
(16)

$$w = \{P\}^T \{a\}$$
(17)

Burada w (çökme) değerimizin birinci türevi bize θ (dönme) değerimizi vermektedir (Abreu, G.L.C.M.; Riberio, J.F.; Steffen, V. 2004).

Denklemden (17), a katsayı vektörü ve P, enterpolasyon polinom terim vektörüdür. Katsayı ve enterpolasyon polinom terim vektörü aşağıdaki formatta verilmiştir.

$$\{a\} = \{a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4\}^T$$

$$\{P\} = \{1 \ x \ x^2 \ x^3\}^T$$
(18)

Kirişin yer değiştirme denklemi aşağıdaki gibi verilir (Kollar, L.P.; Springer, G.S. 2003),

$$w = Nd$$
(19)

Denklem (19)'u denklem (16)' da yerine koyarsak,

$$\{d\} = [X] \{a\} \quad (20)$$

Elde edilir. Eşitlikteki X 4×4 'lük genişletilmiş yer değiştirme matrisini ifade eder. Burada katsayı vektörü elde edilir,

$$\{a\} = [X]^{-1} \{d\} \quad (21)$$

Elde edilen katsayı vektörü denklem (17) de yerine yazılırsa,

$$w = \{P\}^T [X]^{-1} \{d\} \quad (22)$$

Elde edilir. Denklem(22), denklem (21)'e entegre edilip düzenlenirse şekil fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir(Balci, M., Nalbant, M.O., Kara, E., Gundogdu, O. 2014).

$$N = \{P\}^T [X]^{-1} \quad (23)$$

5. DİNAMİK ANALİZ

Sönümsüz serbest titreşime maruz kalan kirişin hareket denklemi (24) nolu Denklemde verilmiştir. (Gökmen A., Hasan Ç., E. Sahin C., Muzaffer T., Ugur Y. 2008).

Küresel sistem için hareket denklemi,

$$[M] \{\ddot{q}\} + [K] \{q\} = 0 \quad (24)$$

Aşağıdaki biçimde harmonik bir çözüm önerirsek,

$$\{q\} = \{\psi\} \sin(\omega t) \quad (25)$$

Denklem (25), denklem (24)'e entegre edilirse,

$$-[M] \{\psi\} \omega^2 \sin(\omega t) + [K] \{\psi\} \sin(\omega t) = 0 \quad (26)$$

elde edilebilir. Denklem (26) ise daha sonra yeniden düzenlenirse, aşağıdaki özdeğer problem formunu alır,

$$([K] - \omega^2 [M]) \{\psi\} = 0 \quad (27)$$

Özdeğerler titreşim frekanslarını temsil ederken, özvektörler titreşim modlarını temsil etmektedir (Balci, M., Nalbant, M.O., Kara, E., Gundogdu, O. 2014).

6. NUMERİK ANALİZ

Bu çalışmada, tabakalı kompozit kirişin sayısal modeli, MATLAB’te ankastre-ankastre, basit-basit ve ankastre-serbest sınır koşulları ile oluşturulmuştur. İki tabakalı kompozit kiriş [0/45] , [-45/45] ve [0/0] tabaka oryantasyon açılarında analiz edilmiştir. Doğal frekansları farklı uzunluk-kalınlık oranlarında sekiz mod olarak bulunmuştur.

MATLAB’da kullanılacak tabakalı kompozit kirişin geometrik ve fiziksel özellikleri aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir. Çeşitli şartlarda yapılan analizler aşağıdaki tablolarda derlenmiştir.

Tablo 1: Tabakalı kompozit kirişin geometrik ve fiziksel özellikleri

| | | |
|------------------------|------------------------|--------------------------|
| $E_x=30\text{Gpa}$ | $E_y=3.5\text{Gpa}$ | $E_z=3.5\text{Gpa}$ |
| $G_{xy}=1.7\text{Gpa}$ | $G_{xz}=1.7\text{Gpa}$ | $G_{yz}=0.70\text{Gpa}$ |
| $\nu_{xy}=0.21$ | $\nu_{yz}=0.21$ | $\rho=1315\text{kg/m}^3$ |
| $L_x=2\text{m}$ | $h=0.05\text{m}$ | |

Çeşitli şartlarda yapılan analizler aşağıdaki tablolarda derlenmiştir.

Tablo 2. [0/45] Tabaka Açılarına Sahip Ankastre-Serbest Kirişin Doğal Frekans Tahminleri (Hz)

| L_x / h | Serbest Titreşim Doğal Frekansı (Hz) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|---------|----------|
| | Mod I | Mod II | Mod III | Mod IV | Mod V | Mod VI | Mod VII | Mod VIII |
| 20 | 1,4 | 9,2 | 25,8 | 50,6 | 83,6 | 125,0 | 174,4 | 232,4 |
| 50 | 2,3 | 14,7 | 41,3 | 81,0 | 133,9 | 200,0 | 279,3 | 371,9 |
| 100 | 0,5 | 3,6 | 10,3 | 20,2 | 33,4 | 50,0 | 69,8 | 92,9 |
| 200 | 0,1 | 0,9 | 2,5 | 5 | 8,3 | 12,5 | 17,4 | 23,2 |
| 300 | 0,06 | 0,4 | 1,1 | 2,2 | 3,7 | 5,5 | 7,7 | 10,3 |
| 400 | 0,03 | 0,2 | 0,6 | 1,2 | 2,1 | 3,1 | 4,3 | 5,8 |
| 500 | 0,02 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 2,0 | 2,7 | 3,7 |

Tablo 3. [-45/45] Tabaka Açılarına Sahip Ankastre-Serbest Kirişin Doğal Frekans Tahminleri (Hz)

| L_x / h | Serbest Titreşim Doğal Frekansı (Hz) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|---------|----------|
| | Mod I | Mod II | Mod III | Mod IV | Mod V | Mod VI | Mod VII | Mod VIII |
| 20 | 8,4 | 52,7 | 147,5 | 289,1 | 477,8 | 713,8 | 997,0 | 1327,3 |
| 50 | 1,3 | 8,4 | 23,6 | 46,2 | 76,4 | 114,2 | 159,5 | 212,3 |
| 100 | 0,3 | 2,1 | 5,9 | 11,5 | 19,1 | 28,5 | 39,8 | 53,0 |
| 200 | 0,08 | 0,5 | 1,4 | 2,9 | 4,7 | 7,1 | 9,9 | 13,2 |
| 300 | 0,03 | 0,2 | 0,6 | 1,2 | 2,1 | 3,1 | 4,4 | 5,9 |
| 400 | 0,02 | 0,1 | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 1,7 | 2,5 | 3,3 |
| 500 | 0,01 | 0,08 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 1,5 | 2,1 |

Tablo 4. [0/0] Tabaka Açıklarına Sahip Ankastre-Serbest Kirişin Doğal Frekans Tahminleri (Hz)

| L_x / h | Serbest Titreşim Doğal Frekansı (Hz) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|
| | Mod I | Mod II | Mod III | Mod IV | Mod V | Mod VI | Mod VII | Mod VIII |
| 20 | 19,3 | 120,9 | 338,5 | 663,3 | 1096,5 | 1637,9 | 2287,7 | 3045,7 |
| 50 | 3,08 | 19,3 | 54,1 | 106,1 | 175,4 | 262,0 | 366,0 | 487,3 |
| 100 | 0,7 | 4,83 | 13,5 | 26,5 | 43,8 | 65,5 | 91,5 | 121,8 |
| 200 | 0,2 | 1,2 | 3,3 | 6,6 | 10,9 | 16,3 | 22,8 | 30,4 |
| 300 | 0,08 | 0,5 | 1,5 | 2,9 | 4,8 | 7,2 | 10,1 | 13,5 |
| 400 | 0,04 | 0,3 | 0,8 | 1,6 | 2,7 | 4,1 | 5,7 | 7,6 |
| 500 | 0,03 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,7 | 2,6 | 3,6 | 4,8 |

Tablo 5. [0/0] Tabaka Açıklarına Sahip Ankastre-Ankastre Kirişin Doğal Frekans Tahminleri (Hz)

| L_x / h | Serbest Titreşim Doğal Frekansı (Hz) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|
| | Mod I | Mod II | Mod III | Mod IV | Mod V | Mod VI | Mod VII | Mod VIII |
| 20 | 120,9 | 338,5 | 663,3 | 1096,5 | 1637,9 | 2287,7 | 3045,7 | 3912,1 |
| 50 | 19,3 | 54,1 | 106,1 | 175,4 | 262,0 | 366,0 | 487,3 | 625,3 |
| 100 | 4,83 | 13,5 | 26,5 | 43,8 | 65,5 | 91,5 | 121,8 | 156,4 |
| 200 | 1,2 | 3,3 | 6,6 | 10,9 | 16,3 | 22,8 | 30,4 | 39,1 |
| 300 | 0,5 | 1,5 | 2,9 | 4,8 | 7,2 | 10,1 | 13,5 | 17,5 |
| 400 | 0,03 | 0,8 | 1,6 | 2,7 | 4,1 | 5,7 | 7,6 | 9,7 |
| 500 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,7 | 2,6 | 3,6 | 4,8 | 6,3 |

Tablo 6. [0/0] Tabaka Açıklarına Sahip Basit-Basit Kirişin Doğal Frekans Tahminleri (Hz)

| L_x / h | Serbest Titreşim Doğal Frekansı (Hz) | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|----------|
| | Mod I | Mod II | Mod III | Mod IV | Mod V | Mod VI | Mod VII | Mod VIII |
| 20 | 54,1 | 216,5 | 487,3 | 866,3 | 1353,7 | 1949,3 | 2653,2 | 3465,3 |
| 50 | 8,6 | 34,6 | 77,9 | 138,6 | 216,5 | 311,8 | 424,5 | 554,4 |
| 100 | 2,1 | 8,6 | 19,4 | 34,6 | 54,1 | 77,9 | 106,1 | 138,6 |
| 200 | 0,5 | 2,1 | 4,8 | 8,6 | 13,5 | 19,4 | 26,5 | 34,6 |
| 300 | 0,2 | 0,9 | 2,1 | 3,8 | 6,0 | 8,6 | 11,7 | 15,4 |
| 400 | 0,1 | 0,5 | 1,2 | 2,1 | 3,3 | 4,8 | 6,6 | 8,6 |
| 500 | 0,08 | 0,3 | 0,7 | 1,3 | 2,1 | 3,1 | 4,2 | 5,5 |

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ortotropik malzemeye sahip kompozit malzemeden yapılan simetrik ve farklı oryantasyonlar açıklarına sahip iki tabakalı kirişin çeşitli sınır şartları altında serbest titreşim davranışları incelenmesi amaçlanmıştır. Elemanın sonlu elemanlar metodu kullanılarak deplasmanları, şekil fonksiyonu, dirençlilik matrisi, rijitlik matrisi ve kütle matrisi, başarıyla elde edilmiştir.

Daha sonra MATLAB programında kirişin farklı uzunluk-kalınlık oranlarında simetrik ve farklı oryantasyonlar açılarına sahip tabakalardan oluşan durumlarında serbest titreşim doğal frekansları ilk sekiz mod olarak elde edildi. Bu çalışmalar sonucunda şu sonuçlar elde edildi.

- Farklı uzunluk-kalınlık oranlarına sahip kirişlerin doğal frekanslarının değiştiği, oranın artıkça doğal frekansların azaldığı gözlemlenmiştir.
- Tablo 2 ve Tablo 3'te kiriş çapraz açılı tabakalardan oluşmaktadır. Tablo 4'te ise kiriş simetrik açılara sahip tabakalardan oluşmaktadır. Bu üç tablonun verileri karşılaştırıldığında çapraz açılı kirişlerin serbest titreşim doğal frekanslarının simetrik açılı kirişin değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Tablo 4, 5 ve 6'te simetrik açılı tabakadan oluşan kiriş analiz edilmiştir. Veriler karşılaştırıldığında, Ankastre-Serbest sınır şartlarına sahip kirişin en düşük, Ankastre-Ankastre sınır şartlarına sahip kirişin ise en yüksek serbest titreşim doğal frekans değerlerine sahip olduğu gözlemlenmektedir.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Abreu, G.L.C.M.; Riberio, J.F.; Steffen, V.** 2004, "Finite element modeling of a plate with localized piezoelectric sensors and actuators", Journal of the Braz. Soc. Of Mech. Sci, vol. 26 (2), pp. 117- 128.
- [2] Alimirzaei S., Mohammadimehr M., Abdelouahed T. 2020, "Nonlinear analysis of viscoelastic micro-composite beam with geometrical imperfection using FEM: MSGT electro-magneto-elastic bending, buckling and vibration solutions", Structural Engineering and Mechanics, Vol. 71, No. 5 (2019) 485-502.
- [3] **Atilla G. , Caglioglu H., 2011**, "Vibration analysis of delaminated composite beams using analytical and FEM models", Indian Journal of Engineering & Material Sciences, Volume 18, Pages 7-14.
- [4] **Atilla O., Emrah M. 2012**, "Free vibration analysis of cross-ply laminated composite beams by mixed finite element", formulation international journal of structural stability and Dynamics, volume 12, No 6, pages 17, DOI: 10.1142/s0219455412500563.
- [5] Balci, M., Nalbant, M.O., Kara, E., & Gundogdu, O. 2014, "Free Vibration Analysis of a Laminated Composite Beam with Various Boundary Conditions", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 9, 1734-1746.
- [6] **D.D.L. Chung**, 2018, "Thermoelectric polymer-matrix structural and nonstructural composite materials", Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Volume 1, Issue 1, Pages 61-65.
- [7] Farzad E., Ali D. 2018, "On thermo-mechanical vibration analysis of multi-scale hybrid composite beams", Journal of Vibration and Control, Vol 25, Issue 4, page(s): 933-945, <https://doi.org/10.1177/1077546318806800>.

- [8] **Gökmen A., Hasan Ç., E. Sahin C., Muzaffer T., Ugur Y. 2008**, “Free Vibration Analysis of the Laminated Composite Beams by Using DQM”, Journal of Reinforced Plastics and Composites DOI: 10.1177/0731684407087561.
- [9] **Guigen Z., Helen L., Sachin M., Min W. 2020**, “Composites”, Biomaterials Science (Fourth Edition), Academic Press, Pages 415-429, ISBN 9780128161371.
- [10] **Jones, R., M.**, 1975, “Mechanics of Composite Materials”, Newyork, Hemisphere.
- [11] **K.M.A. Hossain, S. Hasib, T. Manzur, 2020**, “Shear behavior of novel hybrid composite beams made of self-consolidating concrete and engineered cementitious composites”, Eng. Structures, Volume 202.
- [12] **Kollar, L.P.; Springer, G.S.** 2003, “Mechanics of Composite Structures”, Cambridge Universty, 480, New York.
- [13] **Lurie K.A., Cherkaev A.V.** 2018, "Effective Characteristics of Composite Materials and the Optimal Design of Structural Elements. In: Cherkaev A.V., Kohn R. (eds) Topics in the Mathematical Modelling of Composite Materials. Modern Birkhäuser Classics. Birkhäuser, Cham.
- [14] **Petyt, M.** 1990, “Introduction to Finite Element Vibration Analysis”, Cambridge University, 558, New York.
- [15] **Reddy, J., N., Wang, C., M., Lee, K., H.**, 1997, “Relationships Between Bending Solutions of Classical and Shear Deformation Beam Theories”, International Journal of Solids and Structures, Vol. 34, 26, 3373-3384.
- [16] **S.S. Bhavikatti**, 2007 “Finite Element Analysis”, New age international Publishers.
- [17] **Wang, C.M., Reddy, J.N., Lee, K.M. 2000**. “Shear deformable beams and plates relations with classical solutions”, Elsevier, 296, Oxford.

EKSTRÜZYON TİPİ DÖVME PROSESİNDE KONİK KALIP AÇISININ DEFORMASYONA ETKİSİ

Simay SARIKAYA^{1*}, Saim KURAL¹

Accepted: 2020-12-15

DOI: 10.47118/somatbd.750470

ÖZET

Ekstrüzyon işlemi silindirik bir numuneye yüksek bir kuvvet uygulanarak numunedeki daha küçük kesit alanına sahip kovandan geçirilerek çapının küçültülmesidir. Kullanım yeri olarak genelde metal endüstrisidir. Düz ve uzun boruların üretimi için bu işlem tercih edilir. Yüksek kuvvetler uygulandığı için yüksek sıcaklıklarda üretimi yapılır.[1] Ekstrüzyon işleminde birçok önemli faktör vardır. Bunlardan biri kalıp tasarımıdır. Yüzey pürüzlülüğü ve homojen deformasyon açısından önemlidir. Ekstrüzyonda düzey yüzeyli kalıp ve konik girişli kalıp olarak 2 tip ekstrüzyon kalıbı çeşidi vardır. Konik girişli kalıpta kalıp açısının küçülmesi deformasyonun homojenliğini arttırmaktadır. Bu amaçla bu bildiride farklı açılardaki konik girişli kalıbın aynı tip numunedeki deformasyon etkisi araştırılmıştır. Simufact programı kullanılarak hidrolik preste numune malzemesi kurşun malzemesi seçilerek gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak numunedeki deformasyon birbirisiyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekstrüzyon tipi dövme, Deformasyon, Konik Girişli Kalıp

SUMMARY

The extrusion process is the reduction of the diameter of a cylinder sample by applying a high force through the sleeve with a smaller cross-sectional area. Generally, it is the metal industry. This process is used in the production of a straight and long pipes. It is produced at high temperatures compared to high forces. There are many important factors in the extrusion process. One of them is mold design. It is important in terms of surface roughness and homogeneous deformation. In extrusion, there are 2 types of extrusion molds as level surface mold and conical inlet mold. The reduction of the angle of the mold in the mold with conical inlet increases the homogeneity of the deformation. For this purpose, in the paper, the deformation effect of the tapered die with different angles in the same type of sample was investigated. Using the Simufact program the sample material in the hydraulic press was selected by selecting the lead material. As a result, the deformation in the sample was compared with each other.

Keywords: Extrusion type forging, Deformation, Conical Entry Mold.

^{1*} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Manisa. İletişim Adresi: sarikayasimay@gmail.com İletişim Numarası: 05445822610

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Manisa. İletişim Adresi: saimkural@gmail.com İletişim Numarası: 05355780580

1. GİRİŞ

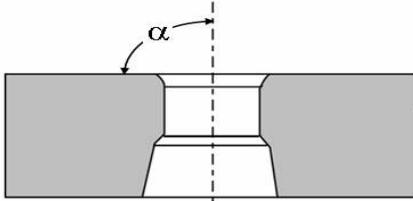
Ekstrüzyon silindirik bir iş parçasının bir itici sayesinde kuvvet uygulanarak daha az kesitli bir kalıptan geçirilmesi olarak tanımlanan bir plastik şekillendirme işlemidir. Düz ve uzun borular üretilebileceği gibi, karmaşık biçimlerde ürünler de bu proses sayesinde üretilebilir. Otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan karmaşık parçaların bir kısmı ekstrüzyon tipi dövme prosesleriyle imal edilmektedir.

Eğer kalıp ölçüleri numune için uygunsa tek seferde istenilen ürün ortaya çıkar ve bu ürün en az çatlak oluşumu açısından uygun kalıptan ötürü diğer plastik şekillendirme işlemlerine göre daha avantajlıdır.

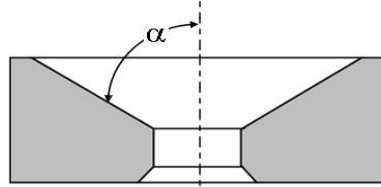
Ürün çıkışında deformasyonlar oluşabileceği ve yüksek sıcaklıklarda işlem görüldüğü için malzemenin dayanıklı olması gerekir. Paslanmaz çelik, nikel esaslı alaşımlar en uygun malzemelerdir.

Direk ekstrüzyonun tanımı şu şekildedir; kalıp ve kovan sabit, metal numunenin bir itici yardımıyla kalıba doğru itilmesi ile gerçekleştirilen plastik şekil değiştirme işlemidir.[2]

Ekstrüzyon kalıplarının düz yüzeyli kalıp ve konik girişli kalıp olarak 2 çeşidi vardır. Şekil 1 ve şekil 2’de kalıp çeşitleri mevcuttur.



Şekil 1: Düz Yüzeyli Kalıp.



Şekil 2: Konik Yüzeyli Kalıp.

Düz yüzeyli kalıplarda kalıp açısı metalin şeklini değiştirmez. Konik girişli kalıpların girişleri keskin olduğu için iyi bir yağlayıcı ile deformasyon en aza indirilebilir. Konik girişli kalıpta kalıp açısı deformasyon homojenliği ve ekstrüzyon basıncı ile doğru orantılıdır. Kalıp açısının artması ile kalıpta sürtünmenin oluşma ihtimali vardır. Ekstrüzyon işlemi için en uygun kalıp yarım açısı (α), 45-60 derece arasındadır. [3]

Ekstrüzyon tipi dövme işlemi pratikliğinden ötürü sanayi alanında kullanımı yaygındır. Pratikte yaygın olmasından dolayı teorik olarak yapılan çalışmalarda da çalışma alanı geniştir. Konu ile ilgili literatürdeki ilk çalışma Kudo tarafından yapılmıştır. Kudo düzlem genleme hali için ekstrüzyon dövme prosesini incelemiş ve bir üst sınır çözümü geliştirmiştir.[4] Sonlu elemanlar modeli yardımıyla yapılan ekstrüzyon işleminde ürün kalitesi için birçok önemli faktör vardır. Bunlara malzeme akışı ve deformasyon kuvvetini etkileyen ekstrüzyon türü, ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon sıcaklığı, sürtünme koşulları, kalıp tasarımı ve ekstrüzyon oranı sayılabilir.(Ayer 2012). [5] Azad-Noorani vd. (2005) sonlu elemanlar analizi kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada aynı özelliklere sahip ürün için konik ve eğrisel yüzeyli kalıpları karşılaştırmış. Doğrusal kalıplarda %12 daha yüksek ekstrüzyon kuvveti oluştuğu sonucuna varmışlardır.[6] Bakhshi- Jooybari vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, konik ve

eğrisel kalıplar kullanılmıştır. Sonuç olarak kurşun ve alüminyum ekstrüzyonu sonlu elemanlar metodu ve üst sınır metodu kullanılarak analiz edilmiştir.[7] Gbenebor vd. (2013) Kalıp yarım açısının malzeme üzerinde etkilerini karşılaştırmıştır. Bunlar malzemenin deformasyon oranı, basma mukavemeti, maksimum ekstrüzyon basıncı ve enerji absorbe yeteneği üzerindeki etkisidir. Kalıp açısı ile maksimum ekstrüzyon basıncının orantılı olduğu, belli bir kalıp açısından sonra enerji absorbe yeteneğinin yükseldiği görülmüştür.[8] Wu ve Hsu farklı kalıp açıları ve geçiş radyüslerine sahip kalıplar için teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır.[9]

2. MATERYAL VE METOD

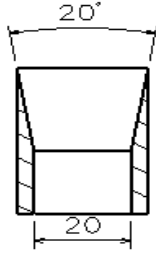
Çizimler için Catia programı, simülasyon için Simufact programı kullanılmıştır.

CATIA: Fransız şirketi tarafından üretilen bir yazılımdır. Türkçe anlamı bilgisayar destekli üç boyutlu interaktif kullanım'dır. Catia'nın amacı bir fikri operasyon aşamasına geçmeden önce ürün görselini ve gerekli imalat fazlarını görmemizi sağlamaktır. Otomotiv, uçak üretim sektörlerinde ve diğer simülasyon sektörlerinde kullanılabilecek uygun ve yeterli bir programdır. Üç boyutlu çizimin dışında gerilme analizi, statik ve dinamik analizler gibi analiz yapma özelliğe sahiptir.[10]

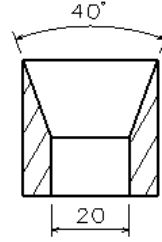
SIMUFACT: Metal şekillendirme, mekanik birleştirme, kaynak ve hızlı prototipleme uygulama alanları için özel olarak geliştirilmiş bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Farklı analiz türleri için geliştirilmiş birçok programı kapsamaktadır. Şu prosesler simüle edilebilir; soğuk, ılık ve sıcak dövme, sıcak profile haddeleme, sac şekillendirme, Açık kalıpta dövme, kaynaklı birleştirme; sürtünme kaynağı, ısıl işlem. Şu parametreleri incelemek mümkün; şekillendirme kuvveti ve torkları. Parça üzerindeki; malzeme akışı, katlanma, kalıp doldurma, çapak, sıcaklık dağılımı, kalınlık değişimi, artık gerilme, sünek kırılma, sertlik, Kalıp üzerindeki; gerilme ve deformasyon dağılımı, sıcaklık dağılımı, aşınma dağılımı.

Simülasyon çalışmaları direkt ekstrüzyon tipi dövme işlemi göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu amaçla 4 açı değeriyle konik girişli kalıp tasarlanmıştır. Bu açılar sırasıyla simetri çizgisiyle 10, 20, 30 ve 45 dereceli kalıplardır. Deney malzemesi için oda sıcaklığında pekleşmediği için kurşun seçilmiştir. 4 farklı simülasyonda kalıp açılarının etkisinin ön plana çıkması için bazı değerler sabit tutulmuştur. İtcinin ve kalıbın sıcaklığı 20 Celcius, numunenin sıcaklığı 60 Celcius, sürtünme katsayısı 0.07 Coulomb alınmıştır. Ayrıca 5 mm/sn hızlı hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Numune hepsinde aynı çubuk ölçüleri kullanılmıştır; 11 mm yarıçapında ve 15 mm uzunluğundadır.[11]

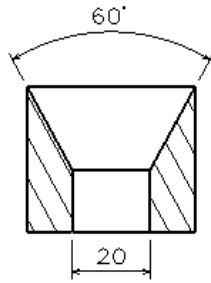
Kalıp ölçüleri aşağıdaki şekillerde sırayla verilmiştir.



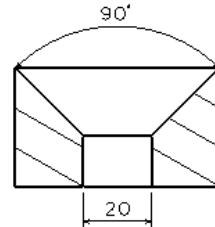
Şekil 3: 10° kalıbı.



Şekil 4: 20° kalıbı.



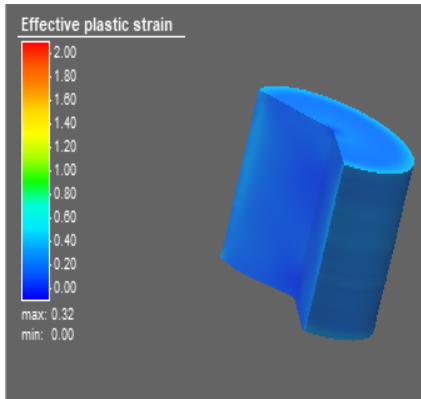
Şekil 5: 30° kalıbı.



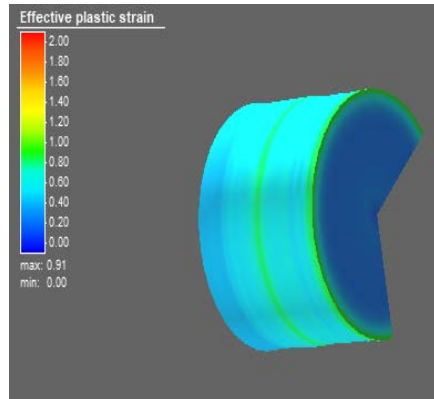
Şekil 6: 45° kalıbı.

3. SONUÇ

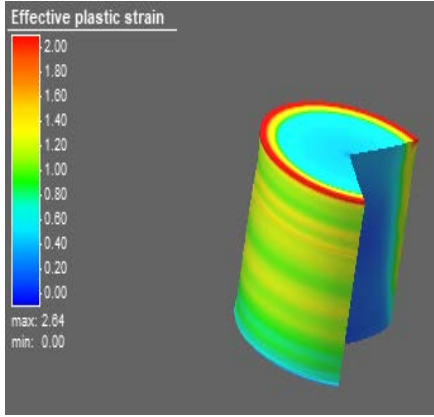
Simülasyon sonuçlarının görselleri aşağıdaki gibi verilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için deformasyon miktarı maksimum 2 minimum 0 olacak şekilde ayarlanmıştır.



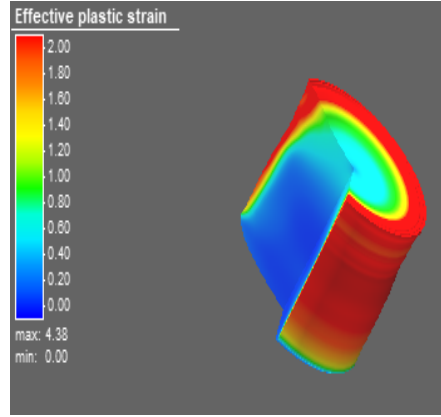
Şekil 7: 10° kalıbının deformasyonu.



Şekil 8: 20° kalıbının deformasyonu.



Şekil 9: 30° kalıbının deformasyonu.

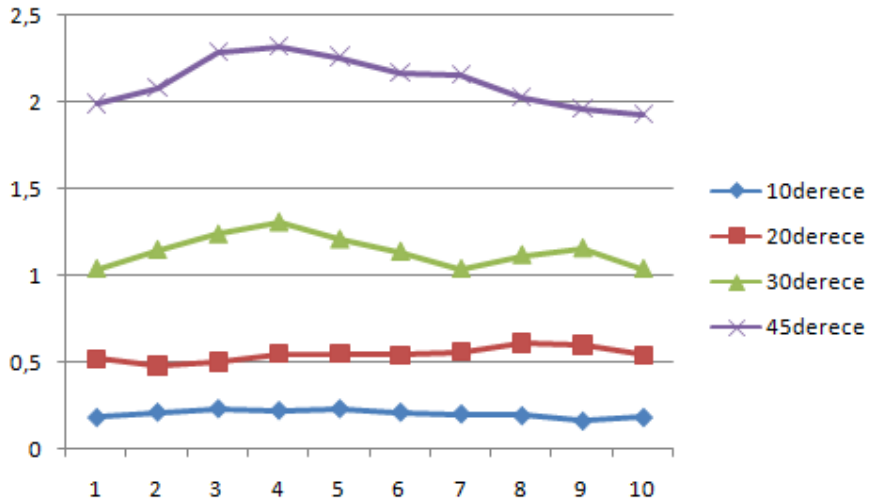


Şekil 10: 45° kalıbının deformasyonu.

Görsellerden açı arttıkça şekildeki deformasyonun arttığı gözlemlenmiştir. Net değerlere ulaşmak için kalıplar üzerinden 10 farklı değer alınmış ve karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 1: 5 Kalıp Üzerinden Alınan Değerler.

| Nokta No. | 10° kalıbı | 20° kalıbı | 30° kalıbı | 45° kalıbı |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0,18 | 0,52 | 1,04 | 1,99 |
| 2 | 0,21 | 0,48 | 1,15 | 2,08 |
| 3 | 0,23 | 0,50 | 1,24 | 2,29 |
| 4 | 0,22 | 0,55 | 1,31 | 2,32 |
| 5 | 0,23 | 0,55 | 1,21 | 2,26 |
| 6 | 0,21 | 0,54 | 1,14 | 2,17 |
| 7 | 0,20 | 0,56 | 1,04 | 2,16 |
| 8 | 0,19 | 0,61 | 1,12 | 2,03 |
| 9 | 0,16 | 0,60 | 1,16 | 1,96 |
| 10 | 0,18 | 0,54 | 10,4 | 1,93 |



Grafik 1: 5 Kalıp Üzerinden Alınan Değerlerin Grafiği.

- Ekstrüzyon ile ilgili verilerde kalıp açısının numunenin deformasyonu için önemli olduğu araştırıldı ve Simufact programında farklı kalıp açılarında aynı numuneye ekstrüzyon uygulandı.
- 3 boyutlu simülasyon programının sonuçlarına göre kalıp açısının artması numune üzerindeki deformasyonun artmasına sebep olmuştur. Kalıp açısı ve numune deformasyonu doğrusal orantılıdır. Kalıp açısının azaltmak numunenin hem iç şekil değişimi hem de dışındaki şekil değişimini en aza indirmek için önemli bir faktördür.
- 4. kalıptaki değerinin maksimum değer üzerine çıkması girilen değer deformasyon miktarı üzerinde yetersiz kalmasından dolayıdır. Kalıp açısının büyüklüğünün deformasyona katkısında önemli olduğu tekrar gözlemlenmiştir. Buradan yola çıkarak 45° kalıp açısının üzerine çıkıldığı zaman numune üzerinde ciddi deformasyonlar ve çatlaklar oluşabileceği öngörülmüştür.
- Ayrıca kalıp açısı arttıkça kalıp üzerindeki deformasyon değerlerinin homojenliğinin bozulduğu gözlemlenmiştir. İşlem sonrasında numuneden istenen pürüzsüzlüğe ulaşmak için başka işlemlerden de geçirilmesi gerekebilir.
- Bunlar göz önüne alınarak üretim esnasında kalıp açısının oldukça küçük tutulması numune, zaman, maliyet gibi birçok açıdan avantajlı olacaktır.

4. KAYNAKÇA

- [1] <http://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/302879>
- [2] <http://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/213852>
- [3] <https://www.academia.edu/33326686/EKSTR%C3%9CZYON>
- [4] Kudo, H., Some Analytical Experimental Studies of Axisymmetric Cold Forging and Extrusion, *Int. J. Mech. Sci.*, 1960; 2:71-117.
- [5] Ayer, Ö., (2012). “Düz Dişlilerin İmalat Yöntemi Optimizasyonu ve Analizler. Doktora Tezi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [6] Azad-Noorani, M., Bakhshi-Jooybari, M., Hosseinipour, S.J., Gorji, A., (2005). “Experimental and numerical study of optimal die profile in cold forward rod extrusion of aluminum”, *J Mater Process Technol*, 164– 165:1572–1577.
- [7] Bakhshi-Jooybari, M., Saboori, M., Noorani-Azad, M., Hosseinipour, S.J., (2007). “Combined upper bound and slab method, finite element and experimental study of optimal die profile in extrusion”, *Mater Des*, 28, 1812–1818.
- [8] Gbenebor, O., Fayomi, O., Popoola, A. Inegbenebor, A., Oyawale, F., (2012). “Extrusion die geometry effects on the energy absorbing properties and deformation response of 6063-type Al–Mg–Si aluminum alloy”, *Results in Physics*, 3, 1–6.
- [9] Wu, C.Y., Hsu, Y.C., The Influence of Die Shape on the Flow Deformation of Extrusion Forging, *J. Mat. Pro. Tech.*, 2002, 124:67-76.
- [10] <https://www.3dcatia.com/programlar-hakkinda-bilgiler/catia-nedir-catia-ne-icin-kullanilir/>
- [11] <http://www.netformmetal.com/yazilimlar/simufact-welding>

T.C. MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
SOMA MESLEK YÜKSEKOKULU TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ
YAZIM KURALLARI VE YAYIN İLKELERİ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi**, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu tarafından yılda iki kez yayımlanır. Dergide, Meslek Yüksekokulları Teknik Programlarında yer alan anabilim dallarıyla ilgili konularda özgün ve nitelikli çalışmalar, yabancı dillerden Türkçe'ye çeviriler ve güncel tez özetleri yayımlanabilir.

Dergiye gönderilen eserlerde aranacak yayın ilkeleri ve yazım kuralları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

1-) Dergiye gönderilen yazı ve makaleler daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış ve yayın hakları verilmemiş olmalıdır.

2-) Dergide yayınlanacak yazı ve makaleler Türkçe, İngilizce, Fransızca ve Almanca'dan herhangi biriyle yapılabilir. Ancak Türkçe hazırlanan çalışmalarda Türk Dil Kurumunun belirlediği kurallar esas alınmalıdır. Çalışmanın başında Türkçe başlık ve en fazla 200 sözcükten oluşan Türkçe ve İngilizce özet ile en fazla 10 tane anahtar sözcük verilmelidir.

3-) Dergide yayımlanacak çalışmaların biçim sırası

- Türkçe başlık
- Özet
- Anahtar sözcükler
- İngilizce özet
- İngilizce anahtar sözcükler
- Metin
- Kaynaklar
- Ekler

şeklinde olmalıdır.

4-) Çalışmanın başlığı sol üst kenardan 6 cm. aşağıdan yazılmalıdır. Başlığın sağ alt tarafına yazar veya yazarların adları akademik ünvanlarla birlikte yazılmalı çalıştığı kurum, iletişim ve elektronik posta adresleri ise adların yanına konulacak dipnot işaretleriyle sayfa altına verilmelidir. Eğer çalışma başka bir kurumdan destek aldıysa başlık yanına verilecek dipnotla sayfa altına ilgili kurum yazılmalıdır.

5-) Dergiye gönderilecek yazı ve makaleler MS Word programında yazılmış üç kopya olarak eposta veya kargo yoluyla gönderilmelidir.

6-) Çalışmalar ekleriyle birlikte 15 sayfayı geçmemelidir.

7-) Metin yazımı A4 boyutundaki kağıda tek aralıklı olarak times new roman tur karakteriyle 10 punto, dipnot ve açıklamalar 8 punto ile yazılmalıdır. Başlıklar 12 punto koyu, özet ve dipnotlar tek ara ile yazılmalıdır. Sayfa boyutları sol 5 cm, sağ 4 cm, üst 7 cm ve alt 5 cm. olacak şekilde ayarlanmalıdır.

8-) Metin içindeki alıntı ve aktarma yoluyla kullanılan kaynaklar; parantez sistemine göre soyadı, yılı ve sayfası olacak şekilde metin içinde cümle bitiminde gösterilmeli ve ayrıca kaynakçada da yer almalıdır. Açıklama ve diğer dipnotlar numaralandırma esasına göre metnin sonuna eklenmelidir.

9-) Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi** ulusal hakemli bir dergidir. Dergiye gönderilen yazı ve makaleler ilgili alandaki en az iki hakeme gönderilir. Oy birliği sağlanamazsa üçüncü bir hakeme gönderilerek sonuca karar verilir. Yazı ve makalelerin içeriğinden yazarlar ve hakemler sorumludur.

10-) Yazı ve makalesi yayımlanan her yazara derginin ilgili sayısından 1 adet gönderilir. Ayrıca telif ücreti ödenmez.

11-) Dergi yayım ilkelerine, yazım kurallarına ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygun olmayan yazı ve makaleler yayım kurulunca dikkate alınmaz.