



JIHSCI

INTERNATIONAL JOURNAL OF NEW HORIZONS IN THE SCIENCES

International Academic Reviewed Journal

Vol 1 Issue 2
December 2023

www.jihsci.com

ISSN: 2980-3837



INTERNATIONAL JOURNAL OF NEW HORIZONS IN THE SCIENCES

Academic Journal

Volume 1

Issue 2

December 2023

www.jihsci.com

info@jihsci.com





INTERNATIONAL JOURNAL OF NEW HORIZONS IN THE SCIENCES

Editor	Öğr.Gör. Mustafa OF mustafaof@kocaeli.edu.tr
Vice Editor	Öğr.Gör. Burak Çakır burak@kocaeli.edu.tr
Editorial Board	Prof.Dr. Hanefi Bayraktar, Atatürk University Prof.Dr. Hüseyin Toros, İstanbul Technical University Prof.Dr. Flora Merko, Aleksander Moisiu Durres University, Albania Prof.Dr. Lyudmyla Symochko, Uzhhorod National University, Ukraine Assoc.Prof.Dr. Mehboob Nagarbawdi, Aki's Poona College Of Arts, India Lect. Mustafa Of, Kocaeli University
Cover Design	Semra OF semraof@hotmail.com

ISSN: 2980-3837

The International Journal of New Horizons in The Sciences (JIHSCI) is designed to share the latest research and discoveries, discovering ideas and innovations in the field of science. The JIHSCI journal is a peer-reviewed academic journal published every six months. The journal provides a platform for academics, researchers and experts working in the field of science. Articles published in the journal can be used in accordance with the rules of publication ethics provided that the source is shown. All responsibility of the articles published / to be published in our journal belongs to the author or authors. JIHSCI journal accepts articles in Turkish and English. The electronic version of the journal is available at <https://jihsci.com> address.

The double-blind referee system is applied in the evaluation of refereeing. The evaluation period of the article is between 1 month and 3 months. An article with a plagiarism rate of more than 20% is rejected. Articles whose peer-review is positive are published in a number deemed appropriate by the editorial board.

Dear Readers,

I am very happy and proud to take a step towards a bright future in the mighty light of science. I am here to share with you the second issue of the International Journal of New Horizons in Sciences (JIHSCI). I am honored to invite you all on this exciting journey.

The International Journal of New Horizons in The Sciences (JIHSCI) is an international meeting point for research and knowledge sharing. This platform, which covers many disciplines in the academic community, serves as a tool for the discovery of new knowledge, the evaluation of scientific studies and the enrichment of our academic community.

Our aim is to contribute to the accumulation of knowledge by presenting superior quality scientific content to our readers. Our journal is a platform that adheres to ethical rules where distinguished articles are published with strict peer review processes. Thanks to these high standards, you can be sure that every single article in our journal is reliable, scientific and innovative.

Our academic world has a constantly evolving structure. Therefore, as the JIHSCI, we aim to focus not only on classical topics but also on new and emerging research areas. We are committed to supporting creative thinking, bold experiments and data-driven results to explore new horizons of science.

The success of this journal depends, of course, not only on us, but also on the contributions of you, our esteemed scientists. By sharing your articles with us and acting as a reviewer, you can help us make our mark in the world of scientific publishing. As an academic journal, New Horizons offers you the opportunity to share your valuable work, experience and knowledge with a wider audience.

Finally, I would like to express my gratitude to all the academicians, referees and our editorial team who supported the publication of our journal. Thanks to your trust and support, we have been able to realize this exciting project. As a pioneer of innovative thinking and academic research, our journal will progress to an even brighter future in the light of scientific developments.

Each article, which has undergone rigorous review by our respected referees, has been carefully selected to provide the best and most reliable version of scientific knowledge. Therefore, you can confidently refer to the content in New Horizons and get important tips to move your research forward.

Our goal is to move the world of science even further and find solutions to the problems facing humanity. The contributions of you, our esteemed academicians, researchers and scientists, will play an important role in the success of our journal. New Horizons will help you leave your mark on your scientific impact by giving you the opportunity to share your knowledge and experience with the world.

We sincerely hope that the International Journal of New Horizons in Sciences (JIHSCI) will be full of success in its publication life. At every step in the world of science, the support of our esteemed readers will carry us further and make our journal even more valuable. I wish that the International Journal of New Horizons in Natural and Applied Sciences will be full of success in its publication life.

Lecturer Mustafa OF

Kocaeli/Türkiye, December 2023

RESEARCH ARTICLES

Anıl ŞEKER Furkan DEĞİRMENCİOĞLU	CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT YAPIDA TERMOPLASTİK POLİMER MALZEME İLE ÜRETİLEN SÜSPANSİYON PİSTONUNUN ANALİZİ VE ÜRETİMİ	47-55
Anıl ŞEKER Furkan DEĞİRMENCİOĞLU	VİRAJ DENGİ ÇUBUĞU ÜRETİM AŞAMALARINDA KAFA EZME PROSESİNDE BURKULMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN APARAT TASARIMI VE ÜRETİMİ	56 - 61
Saliha Çelikcan BİLGİN Hüseyin TOROS Turgay Tugay BİLGİN	EVALUATION OF DIFFERENT IMPUTATION METHODS FOR HANDLING MISSING AIR POLLUTION DATA IN BURSA, TURKEY	62 - 66
Sevda ŞAHAN Ece KORKUT Aleyna GÖKÇE Emre ONAN	OPTIMIZATION OF CLINOPTILOLITE TYPE ZEOLITE PARTICLE SIZES ON DIFFERENT NLGI GRADE LITHIUM SOAP GREASE FORMULATIONS	67 - 82
Gülşah KEKLİK	UNDERSTANDING EVOLUTIONARY RELATIONSHIPS AND ANALYSIS METHODS THROUGH MEGA SOFTWARE	83 - 90
Şuayip ELDEMİR Oğuz ERDEM	METALİK KÖPÜKLER VE UYGULAMA ALANLARI	91 - 101

CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT YAPIDA TERMOPLASTİK POLİMER MALZEME İLE ÜRETİLEN SÜSPANSİYON PİSTONUNUN ANALİZİ VE ÜRETİMİ

Anıl ŞEKER

anilseker@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7460-0151>

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya, Kütahya, Türkiye

Furkan DEĞİRMENCİOĞLU

furkandegirmencioglu45@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4835-1842>

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Bursa, Türkiye

ÖZET: Hızla değişen otomotiv sektöründe, ağır vasıta araçlarının hafifletilmesi, emisyon değerlerinin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması büyük bir önem taşımaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için takviyeli poliamit malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler, yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olmalarıyla dikkat çekiyorlar ve otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedirler. Poliamitler, geri dönüştürülebilir termoplastik polimer malzemem olmalarıyla çevre dostu bir seçenek sunmaktadırlar. Özellikle cam elyaf takviyeli poliamitler, hem dayanıklı hem de hafif malzemelerin elde edilmesini sağlamaktadırlar. Bu çalışmada, ağır ticari araçlarda kullanılan hava süspansiyon körüğünün araç alt dingil bağlantısını gerçekleştirmeye yarayan süspansiyon pistonunun, geleneksel soğuk metal şekillendirme yerine hammaddesi cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeden üretimi gerçekleştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Kompozit Malzeme, Süspansiyon Pistonu, Termoplastik Polimer

ANALYSIS AND PRODUCTION OF SUSPENSION PISTON PRODUCED WITH GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITE THERMOPLASTIC POLYMER MATERIAL

ABSTRACT: In the rapidly changing automotive industry, it is of great importance to lighten heavy vehicles, reduce emission values and increase energy efficiency. To achieve these goals, the use of reinforced polyamide materials is becoming increasingly common. These materials stand out for their high strength-to-weight ratio and are preferred in the automotive industry. Polyamides offer an environmentally friendly option as they are recyclable thermoplastic polymer materials. In particular, glass fiber reinforced polyamides provide both durable and light materials. In this study, the suspension piston, which is used to connect the lower axle of the air suspension spring used in heavy commercial vehicles, was produced from glass fiber reinforced thermoplastic composite material instead of traditional cold metal forming.

KEYWORDS: Composite Material, Suspension Piston, Thermoplastic Polymer

Date of Submission: 14.11.2023

Date of acceptance: 22.12.2023

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446647>

1. GİRİŞ

Dinamik ve hızlı gelişen otomotiv sektöründe gün geçtikçe sürekli artış göstermekte olan performans talepleri, çevresel risklerin azaltılması ve sürdürülebilir enerji yaklaşımları ve üretimde kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin geniş bir skalada olması gerekmektedir (Anand ve Dutta,2013). Bu beklentiyi karşılamak ise geri dönüştürülebilir malzeme kullanmak ve emisyon değerlerini düşürmek gibi eylemlerle mümkündür. Emisyon değerlerini düşürmenin yollarından bir tanesi de aracı oluşturan parçalarda hafifletme çalışmaları yapmaktır. Polimer matris esaslı kompozit malzemelerin kullanımı, mühendislik problemlerinin aşılmasına imkân verdiğinden dolayı endüstride kullanımları yaygın hale gelmiştir (Özdemir v.d.,2021).

Kompozit malzemeler, çok güçlü ve sert olmalarıyla birlikte aynı zamanda çok hafif olmaları nedeniyle endüstri için kullanışlı malzemelerdir. Mukavemet/ağırlık ve sertlik/ağırlık oranları çelik veya alüminyumdan daha yüksek olabilmekte ve ayrıca metaller, seramikler veya polimerlerle tek başına elde edilemeyen mekanik özellik kombinasyonlarını elde etmek mümkün olabilmektedir (Malhotra v.d., 2012). Kompozit malzemeler, sayısı birden fazla olan bileşenlerin mikro veya makro seviyede bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir (Karakoç,2009). Kompozit malzemeler, genellikle matris, takviye

ve dolgu bileşenlerinden oluşmaktadır (İlhan ve Feyzullahoğlu,2019). Termoset matrisler, ucuz ve kalıplama teknolojilerine uygun olmalarıyla endüstride tercih edilmektedirler. Fakat termoset malzemelerin geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanılması ise, termoplastik malzemelere kıyasla farklı ve karmaşık geri dönüşüm süreçleri içermektedir(Yang vd. 2012, Asmatalu vd. 2014). Termoplastik matrisler ise termoset matrislerin aksine geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Termoplastik malzemeler, üretimin sonunda da sıcaklık değerlerinde değişiklikler yapılarak tekrardan form verilebilir hale getirilebilmektedir. Sıcaklık değerlerinde meydana gelen değişiklikler sonucunda termoplastik matrislerin sadece fiziksel özellikleri değişmekle birlikte, kimyasal özelliklerinde bir değişiklik olmamaktadır(Özer,2015).

Polimer matris esaslı kompozitler, mühendislik problemlerinin aşılmasına imkân verdiğinden dolayı son yıllarda popüler hale gelmiştir (Özdemir v.d., 2020). Matris malzemesi yüksek sıcaklıklardaki davranışına göre termoset ve termoplastik polimerler olarak sınıflandırılır. Termoset malzemelerin üstün gerilme ve sıcaklık dayanımları olmasına rağmen üretime yatkınlığı azdır ve geri dönüştürülemezler. Termoplastikler ise geri dönüştürülebilir ve seri üretime uyarlanabilir olmasından dolayı günden güne kullanımları artmaktadır. Termoset ve termoplastik polimerlere ilave olarak ise cam fiber, karbon fiberler, alümina fiberler, aramid fiberler ve bor fiberler kullanılmaktadır.

Cam elyaf, takviye malzemeleri arasında gösterdikleri önemli mekanik ve kimyasal özellikleriyle kompozit malzemelerde yaygın olarak yer alır(Deogonda ve Vijaykumar, 2013). Cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler; özgül dayanımlarının ve özgül sertlik değerlerinin yüksek olması, ve hafif olmalarıyla birlikte uzay, havacılık, otomotiv ve diğer endüstriyel uygulamalarda bu malzemeye olan ilgi artmaktadır (Smith,1999).

Termoplastik malzeme çeşitlerinden bir olan cam elyaf takviyeli PA66 malzemesi, yüksek sıcaklık ve basınçlarda, soğutucu sıvılara dayanıklı olduğu için otomobil radyatör tankı üst kapak ve termostatlarda kullanılmaktadır(Gür,2011). Epoksi bağlayıcılara dayalı cam elyaf takviyeli plastikler havacılık sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemeler, uçak yapılarının farklı bölümlerini oluşturmak için ideal bir seçenek oluşturmaktadır. Özellikle düşük sıcaklıkta dahi mükemmel performans göstermeleri ve zorlu koşullarda dayanıklılıklarını korumaları önemli avantajlar sunmaktadır. Hafiflik, dayanıklılık ve geniş sıcaklık aralığında çalışabilme kabiliyetleri, uçak yapılarının güvenliği, verimliliği ve uzun ömürlülük açısından büyük bir değer taşımakta olduğundan havacılık endüstrisi için kritik önem taşımaktadır (Sokolov v.d., 2015).

Mortazavian ve Fatemi, kısa cam lifi ile kuvvetlendirilen termoplastik kompozit malzemelerin çekme kuvvetinin yöne bağlı olarak değişmesini incelemişler ve enjeksiyon kalıplamada akışın yönünde malzemenin çekme dayanımı yüksek çıkmıştır (Mortazavian ve Fatemi, 2015). Toptaş ve Fındık, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, fiberlerle güçlendirilmiş termoplastik matrisli ve dikdörtgen delikli çelik kompozit plakaların elastik gerilme, kalıcı deformasyon ve plastik şekil değiştirmesini incelemişler ve karbon, cam ve karbon-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde en yüksek mukavemet değerinin üç modelin içinde karbon-cam elyaf takviyeli kompozit modelde olduğu gözlemlenmiştir (Toptaş ve Fındık, 2023). Tan yaptığı çalışmada poliamid 66+PA6I/6T enjeksiyon kalıplama parçalarının çarpılma, hacimsel büzülme ve çevrim süresi üzerindeki etkilerini belirlemek için RSM ve GWO yöntemlerini kullanarak optimize edilen tasarım değişkenleriyle, polimer kompozitin amaç değerleri ve çekme modülü arasındaki etkileşimi araştırmış ve her iki optimizasyon yöntemiyle elde edilen sayısal değerlerle test numuneleri üzerindeki artık gerilmeler azaldığı sonucunda ulaşmıştır (Tan,2020). Tüzemen ve arkadaşları, alüminyum alaşımı ve PA66+PA6-HI cam elyaf takviyeli plastik matris kompozit malzeme olmak üzere iki farklı malzeme üzerinde çalışmışlardır. Kompozit malzemeli tasarımın hem mekanik hem de hafiflik hususlarını karşıladığı sonucunda ulaşmışlardır (Tüzemen v.d., 2015)

Kompozit malzemeler hakkında yapılan çalışmalarda sonlu elemanlar yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin genel prensibi parçadan bütüne gitmektir(Liu ve Quek,2003). Sonlu elemanlar analizi; mühendis ve bilim insanlarına, karmaşık geometrilerin veya yapıların imal edilmeden önce gerçek dünyadaki fiziksel etkilere nasıl tepki vereceğini önceden analiz ederek yardımcı olmaktadır (Damlar v.d., 2014). Günümüz endüstrisinde sonlu elemanlar analizi, kaliteyi optimize etmek ve bileşenlerin maliyetlerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Rusu v.d.,

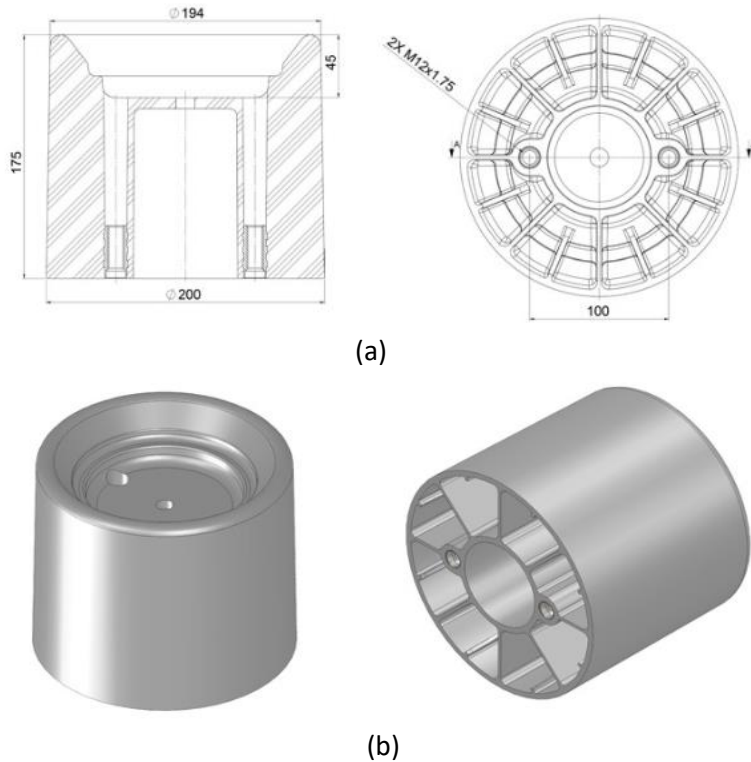
2018). Sonlu elemanlar analizi ile; tasarım süreci iyileştirilerek daha iyi dayanımlara sahip ürünler üretilebilir ve prototip imalatı azaltılarak maliyet, zaman, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli termoplastik polimer malzeme kullanılarak hava süspansiyon sisteminin elemanlarından biri olan süspansiyon pistonunun tasarımı, sonlu elemanlar analizi ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya öncelikle literatür taraması yapılarak başlanmıştır. Literatür taramalarından elde edilen bilgiler göz önünde bulundurularak süspansiyon pistonu tasarlanmış ve sonrasında sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarıyla gerekli doğrulamalar yapıldıktan sonra süspansiyon pistonunun plastik enjeksiyon kalıp tasarımı, analizi ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Süspansiyon Piston Tasarımı

Süspansiyon pistonunun tasarım aşamasına geçilmeden önce literatür araştırması yapılmış ve bu araştırmalardan elde edilen bilgiler göz önünde bulundurularak süspansiyon pistonu tasarımı tamamlanmıştır. Süspansiyon pistonunun CAD ortamındaki iki boyutlu görüntüsü Şekil 1a' da ve üç boyutlu görüntüsü Şekil 1b' de verilmiştir.



Şekil 1. Süspansiyon pistonunun iki boyutlu (a) ve üç boyutlu (b) görüntüleri

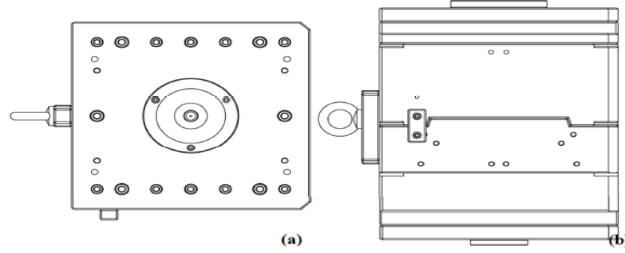
2.2. Kalıp Tasarımı

Süspansiyon pistonunun tasarımı tamamlandıktan sonra, plastik enjeksiyon kalıp tasarımı da başarıyla tamamlanmıştır. Şekil 2' de görülen plastik enjeksiyon kalıbı, bir yolluk içermektedir. Bu kalıp, alt-üst plaka, çekirdek, kalıp itici pimleri, kolonlar, civatalar ve burçlar gibi temel kalıp elemanlarını içermektedir.

Kullanılan malzemeler, kalıp elemanlarının dayanıklılığını ve performansını artırmak amacıyla dikkatle seçilmiştir. Özellikle malzeme seçimi, belirli gereksinimlere uygun olarak yapılmıştır:

Alt ve üst plakalar için 1050 imalat çeliği tercih edilmiştir. Bu çelik, yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı ile bilinmektedir. Çekirdek, 2379 soğuk iş takımı çeliğinden imal edilmiştir. Bu çelik türü, kalıplama işlemleri için uygun bir seçenektir ve dayanıklılık sağlar. Kalıp itici pimler özel alaşımlı

çelikten üretilmiştir. Bu çelik türü, yüksek sıcaklıklara dayanabilme yeteneği ile kalıp itici işlevini yerine getirmektedir. Kolonlar için imalat çeliği tercih edilmiştir, bu da dayanıklılık ve uzun ömür sağlamaktadır. Burçlar ise özel alaşımlı çelikten üretilmiştir, bu sayede aşınma direnci ve dayanıklılık artırılmıştır. Bu kalıp tasarımı, süspansiyon pistonunun üretiminde kalite ve verimliliği artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Kaliteli malzemelerin kullanılması ve dikkatli tasarım süreci, ürünün uzun ömürlü olmasını ve istenilen performansı sağlamasını sağlamaktadır.



Şekil 2. Plastik enjeksiyon kalıbı için kapalı halinin (a) üstten ve (b) yandan iki boyutlu tasarım görseli

2.3. Hammadde

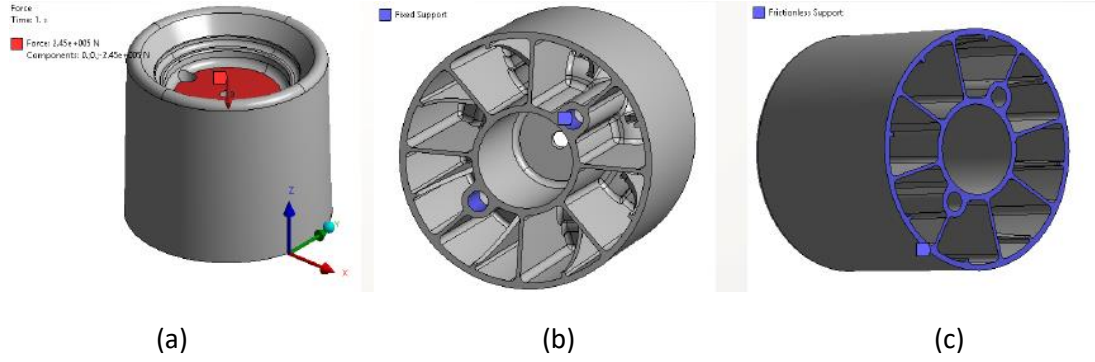
Süspansiyon pistonunun tasarım sürecinde, akışkanlık durumu oldukça kritik bir parametredir. Bu nedenle, ürünün başarılı bir şekilde üretilmesi ve istenen özelliklere sahip olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla, plastik enjeksiyon kalıbı tasarımında akışkanlık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, kalıp içindeki plastik malzemenin akış davranışını, dolguluğunu ve soğuma süreçlerini ayrıntılı bir şekilde incelemeyi hedeflemektedir. Özellikle, cam elyaf takviyeli kompozit yapıdaki termoplastik polimer malzemeler için yapılan bu analizin sonuçları, ürünün kalitesini ve performansını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

Tablo 1. Cam elyaf takviyeli kompozit yapıda termoplastik polimer malzemenin genel özellikleri

Malzeme Özellikleri	Değerler
Yoğunluk (g/cm ³)	1,36
Denge Nemi (%)	1,9
Kalıp Çekmesi (%) (Paralel)	0,4
Erime Sıcaklığı (°C)	245
Kalıp Çekmesi (%) (Paralel)	1,1
Çekme Modülü (MPa)	8000
Young Modülü (MPa)	9300
Eğilme Mukavemeti (MPa)	275

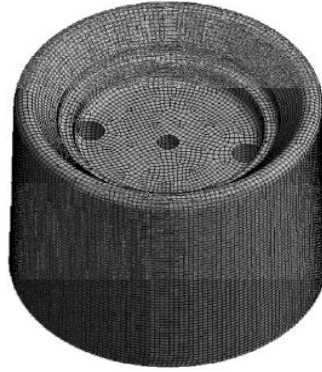
2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Süspansiyon Pistonunun Statik Analizi

Süspansiyon pistonunun sonlu elemanlar yöntemi ile statik analizi yapılarak üretimi tamamlandıktan sonra gerçek fiziksel koşullara nasıl tepki vereceği hakkında bilgi edinilmiştir. Analiz ortamında uygulanan sınır şartları Şekil 3' te görülmektedir. Şekil 4a' da 245.000 N yük sınır şartı, Şekil 4b' de süspansiyon pistonunun sabitlendiği bölgeler ve Şekil 4c' de ise süspansiyon pistonunun alt yüzeyine, temas yüzeyinin hedef yüzey üzerinde teğetsel kayma hareketi gerçekleştirebilmesi için teğetsel kayma kısıtlaması verildiği görülmektedir.



Şekil 3. Yük sınır şartı (a), mesnet sınır şartı (b) ve teğetsel kayma kısıtı (c)

Analiz ortamında sınır şartları girildikten sonra mesh uygulama aşamasına geçilmiştir. Süspansiyon pistonunun mesh uygulanmış görüntüsü Şekil 4’ te, ayrıca mesh ağ değerleri Tablo 2’ de verilmiştir.

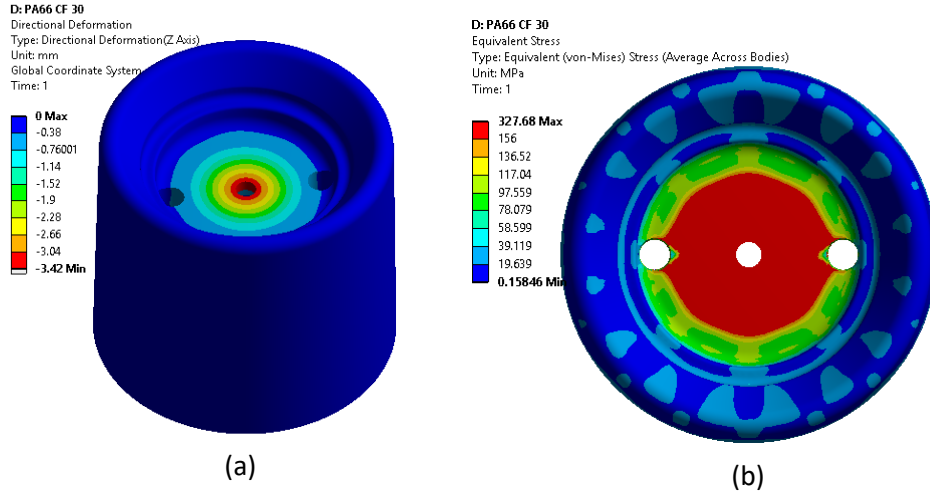


Şekil 4. Tasarımın mesh uygulanmış görüntüsü

Tablo 2. Sonlu elemanlar ağ değerleri

Eleman Sayısı	Düğüm Nokta Sayısı
101864	407410

Mesh işlemi de tamamlandıktan sonra sınır şartları önceden girilmiş olan süspansiyon pistonunun analiz sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5a’da yer değiştirme ve Şekil 5b’ de eş değer gerilme sonucu görülmektedir. Analiz sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre maksimum yer değiştirme 3,42 mm, maksimum eş değer gerilme ise yaklaşık olarak 328 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 5. (a) Yer değiştirme sonucu (mm) ve (b) eş gerilme sonucu (MPa)

Tablo 3. Analiz Sonuçları

Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum eş değer gerilme (MPa)
3,42	328

2.5. Süspansiyon Piston Üretimi

Tasarım ve analiz aşamalarında sonra süspansiyon pistonunun üretim aşamasına geçilmiştir. Süspansiyon pistonu üretimi plastik enjeksiyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen süspansiyon pistonu Şekil 6’ da paylaşılmıştır.



Şekil 6. Plastik enjeksiyon yöntemi şematik gösterimi

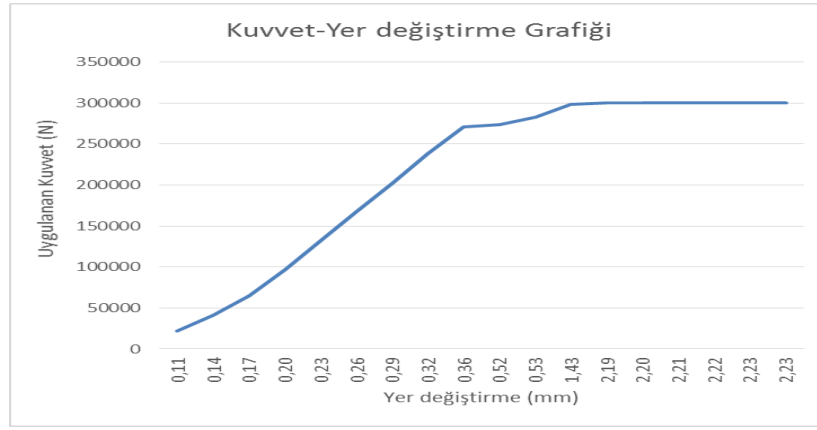
3. BULGULAR

Üretimi gerçekleştirilen süspansiyon pistonunun yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla basma testi uygulanmıştır. Bu test, süspansiyon pistonunun dayanıklılığını ve uygulanan yük altındaki deformasyonunu belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde, 300.000 Newton yük altında pistonun dayanıklılığı değerlendirilerek, maksimum dayanım noktası ve deformasyon eğilimi analiz edilmiştir. Basma-kırma test cihazına yerleştirilen süspansiyon pistonu Şekil 8’ de görülmektedir.



Şekil 8. Basma-Kırma test cihazına yerleştirilen prototip

Basma testinin sonuçları Şekil 9’ da verilmiştir. Basma testi sonucuna göre maksimum yer değiştirme 2,23 mm çıkmıştır.



Şekil 9. Basma testi sonuç grafiği

Basma testinde kuvvetlere göre yer değiştirme miktarı değerleri Tablo 4’ te verilmiştir. Süspansiyon pistonun 300.000 N yük değerinde yer değiştirme miktarı 2,23 mm değerine yakınsadığı için basma testi bu değerde sonlandırılmıştır.

Tablo 4. Basma testi sonucu elde edilen kuvvet-yer değiştirme verileri

Kuvvet (Newton)	Yer değiştirme (mm)
22380	0,11
40800	0,14
64730	0,17
97280	0,20
131890	0,23
167300	0,26
202450	0,29
237630	0,32
270860	0,36
273200	0,52
282750	0,53
298500	1,43
300000	2,19
300000	2,20
300000	2,21
300000	2,22
300000	2,23
300000	2,23

4. TARTIŞMA

Çalışmada otomotiv sanayisinde artan çevreci yaklaşımı karşılamak amacıyla termoplastik polimer süspansiyon pistonu üretimi gerçekleştirilmiştir. Termoplastik polimer süspansiyon pistonu sayesinde ciddi bir oranda kütle azalışı sağlanmıştır. Bu konu dahilinde daha hafif ve metal süspansiyon pistonlarına göre mukavemet bakımından yeterli plastik süspansiyon pistonu kullanılabilirliği tartışılmıştır. Ayrıca plastik süspansiyon pistonu farklı kompozit malzemelerden imal edilerek mukavemet değerinin artırılması hakkında çalışma yapılabilir.

5. SONUÇ

Bulgulardan elde edilen sonuçlara göre;

- Basma testi sonuçlarında elde edilen verilerin, analiz sonuçlarıyla hafif bir fark göstermesi, analiz aşamasında kullanılan mesh (ağ örgü) kriterlerinin daha iyi bir şekilde yapılabileceğini işaret edebilir. Bu durum, analizin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için mesh uygulama sürecinin daha dikkatli ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi gerektiğini göstermektedir.
- Seri üretime uygun geri dönüştürülebilir bir süspansiyon pistonu üretimi gerçekleştirilmiştir.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonu, metal süspansiyon pistonuna göre daha kısa sürelerde imal edilebilirliği görülmüştür.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonu sayesinde çelik süspansiyon pistonlarına göre %70 oranında ağırlığı azaltılmış daha hafif ve metali ikame eden süspansiyon pistonu imal edilebileceği görülmüştür.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonlarının araçlarda kullanılması, araçların hafiflemesine ve bu nedenle emisyon değerlerinde düşüş yaşanmasına katkı sağlayabileceği öngörülmektedir. Bu durum çevre dostu ve sürdürülebilir bir otomotiv endüstrisinin hedeflerine ulaşma yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.
- Termoplastik polimer süspansiyon pistonu üretimi sırasında kaynak gibi ek işlemlere ihtiyaç duyulmadığından dolayı işçilik ve hammadde maliyetlerinin azaltılabileceği ve aynı zamanda daha verimli bir üretim süreci sunacağı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu proje Demircioğlu Group Ar-Ge Merkezi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Demircioğlu Group yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Anand Y. ve Dutta V. "Testing of composites: a review". Advanced Materials Manufacturing & Characterization, 3(1): 359-364, (2013).
- [2]. Asmatulu E., Twomey J., Overcash M. 2014. Recycling Of Fiber-Reinforced Composites And Direct Structural Composite Recycling Concept. J. of Comp. Mat. 48(5): 593-608.
- [3]. Damlar İ., Özyilmaz E., Altan A. ve Özyilmaz E. (2014). Üç Boyutlu Sonlu Eleman Analiz Yöntemiyle İki Ticari İmplant Sisteminin Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi. Journal of Engineering Sciences and Design, 2(3), 175-180.
- [4]. Deogonda P. ve Vijaykumar N. C. (2013). Mechanical Property Of Glass Fiber Reinforcement Epoxy Composites. International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER) (2013), 1(4), 2347-3878.
- [5]. Gür A.O., 2011. Poliamid 66 / Sepiyolit Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin Karakterize Edilmesi (Yüksek Lisans Tezi). <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/80187/T05043.pdf?sequence=1>
- [6]. İlhan R. ve Feyzullahoğlu E. (2009). Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(2), 355-381.
- [7]. Karakoç H. Toz Metal Al7075/B4C/Si3N4 Kompozit Malzemelerin Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, (Accepted: 13.11.2019).
- [8]. Liu G.R. ve Quek, S.S. (2003). The Finite Element Method: a Practical Course, Ed: Liu G.R. and Quek S.S. Butterworth Heinemann, Oxford, 1-11.
- [9]. Malhotra N., Sheikh K. and Rani S. (2012) A Review on Mechanical Characterization of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. Journal of Engineering Research and Studies, 3, 75-80.
- [10]. Mortazavian S. ve Fatemi A. (2015). Fatigue Behavior And Modeling Of Short Fiber Reinforced Polymer Composites: A Literature Review. International Journal of Fatigue, (2015), 70(1), 297-321.

- [11].Özdemir, A.O., Karataş, Ç. ve Yücesu H.S. (2021). Elyaf Konfigürasyonunun Termoplastik Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 2021; 24(2) : 599-607.
- [12].Özer H. 2015. Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). <https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/1684/1/426007.pdf>
- [13].Rusu G.P., Popp M.O., Barsan A. ve Olesik M. (2018). Crimping Profile Optimization On The Air Spring Using Finite Element Method. ACTA Universitatis Cibiniensis, 70(1), 43-47.
- [14].Smith W. F., Principles of Materials Science and Engineering. MacGraw-Hill, (1990).
- [15].Sokolov I. I., Nikiforov V. A., ve Mukhametov R.R. (2016). High-Temperature Glass-Fiber-Reinforced Plastics for Aeronautical Products. Polymer Science, Series D, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 428–430.
- [16].Tan F. 2020. Experimental Investigation of Mechanical Properties for Injection Molded PA66+PA6I/6T Composite Using RSM and Grey Wolf Optimization. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 7, No: 2, 2020 835-847.
- [17].Toptaş D. E. ve Findik T. (2023). Termoplastik Matrisli Cam Ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Ansys Programı İle Modellenmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, 2(1), 61-66.
- [18].Tüzemen M.Ç., Ağaoğlu M., Karakaya M., Salamci E. ve Küçüktürk G. (2015). Design and Analysis of Lightweight Automotive Component for Turbocharger Units. Manufacturing Science and Technology 3(5): 278-285.
- [19].Yang Y., Boom R., Irion B., Heerden D., Kuiper P., Wit H. (2012). Recycling of Composite Materials. Chem. Eng. and Process., 51:53–68.

VİRAJ DENGİ ÇUBUĞU ÜRETİM AŞAMALARINDA KAFA EZME PROSESİNDE BURKULMA PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ İÇİN APARAT TASARIMI VE ÜRETİMİ

Anıl ŞEKER

anilseker@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7460-0151>

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya, Kütahya, Türkiye

Furkan DEĞİRMENCİOĞLU

furkandegirmencioglu45@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4835-1842>

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Bursa, Türkiye

ÖZET: Otomotiv endüstrisi, dünya çapında ve ülkemizde sürekli olarak gelişme göstermekte ve bu gelişimle birlikte kalite beklentileri de artmaktadır. Artan kalite beklentileriyle beraber, kalite problemlerine çözüm yolları aranmaktadır. Bu bağlamda bulunan çözüm yollarından biri ise üretim süreçlerini iyileştirmektir. Geliştirilen üretim süreçleri, ürünlerin daha hassas bir şekilde işlenmesini mümkün kılarak daha dar tolerans aralıklarında üretim yapılmasına olanak tanımaktadır. Hassas bir üretim gerektiren ve sıkça otomobillerde kullanılan ürünlerden biri de stabilizatör, anti roll bar ve denge mili olarak da adlandırılan viraj denge çubuğudur. Aynı zamanda denge mili veya yanıl kontrol çubuğu olarak da adlandırılan viraj denge çubuğu, araç süspansiyon sisteminin kritik bir parçasıdır. Viraj denge çubuğu,, havallı süspansiyon körükleriyle koordineli bir şekilde çalışarak aracın virajlarda, dönme esnasında oluşan merkezkaç kuvveti nedeniyle yana yatmasını ve savrulmasını önler. Bu sayede aracın yol tutuş kabiliyetini artırarak sürüş güvenliğini iyileştirir. Bu çalışmada kafa ezme prosesinde viraj denge çubuğunda bulunan iki uç kafanın simetrik olmamasına sebep olan burkulma problemine modüler aparat tasarımı ve imalatı yapılarak çözüm aranmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Viraj Denge Çubuğu, Denge Mili, Aparat Tasarımı, Sıcak Şekillendirme

DESIGN AND PRODUCTION OF APPARATUS FOR THE SOLUTION OF BUCKLING PROBLEM IN THE HEAD CRUSHING PROCESS IN THE ANTI-ROLL BAR PRODUCTION STAGES

ABSTRACT: The automotive industry is constantly developing around the world and in our country, and with this development, quality expectations are also increasing. With the increasing quality expectations, solutions to quality problems are sought. One of the solutions in this context is to improve production processes. The developed production processes make it possible to process the products more precisely, allowing production to be carried out within narrower tolerance ranges. One of the products that requires precise production and is frequently used in automobiles is the anti-roll bar, also called stabilizer, anti-roll bar and balance shaft. The anti-roll bar, also called the stabilizer shaft or lateral control bar, is a critical part of the vehicle suspension system. The anti-roll bar works in coordination with the air suspension bellows to prevent the vehicle from tilting and skidding due to centrifugal force during cornering. In this way, it improves driving safety by increasing the handling ability of the vehicle. In this study, a solution was sought by designing and manufacturing modular apparatus for the buckling problem, which causes the two end heads in the anti-roll bar to be unsymmetrical in the head crushing process.

KEYWORDS: Anti-Roll Bar, Balance Shaft, Apparatus Design, Hot Forming

Date of Submission: 13.11.2023
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446674>

Date of acceptance: 19.12.2023

1. GİRİŞ

Genellikle yük taşımak için kullanılan ağır vasıta ticari araçların günümüzde kullanımı oldukça yaygındır. Ağır vasıta araçların güvenli bir şekilde gideceği yere ulaşması önem arz etmektedir. Bu yüzden araçların yol tutuş kabiliyetini iyileştirmek gereklidir. Yol tutuş kabiliyetini iyileştirmenin yollarından biri de süspansiyon sistemini geliştirmektir. Süspansiyon sistemi elemanlarından biri de viraj denge çubuğudur (Madhukumar v.d., 2023). Viraj denge çubuğu, dünya çapında “stabiliser bar” ve “anti-sway bar” ismiyle de geçmektedir (Mastura v.d., 2017). Viraj denge çubuğu, sağ ve sol süspansiyon elemanlarını birbirine bağlayan bir mil veya borudur (Bharane v.d., 2014). Ağır vasıta

araçların çoğunda, yuvarlanma stabilitesini artırmak için tüm akslarda viraj denge çubukları bulunmaktadır. Viraj denge çubuğu genellikle çelik malzemeden yapılır ve şasi gövdesi ile sağ ve sol tekerleklerle bağlanan bir yay görevi görmektedir (Vu v.d., 2016).

Viraj denge çubuğunun ana işlevi süspansiyon sisteminin rijitliğini artırarak virajlarda aracın devrilmeye olan eğilimini azaltmaktır. Ayrıca bir diğer işlevi, yoldaki bozukluklar sebebiyle araçta olan yalpalanmayı engellemektir. Viraj denge çubuğunun bir diğer faydası da kamber açısı değişimini sınırlayarak çekişi iyileştirmesidir (Bharane v.d., 2014). Viraj denge çubuklarından bazıları şiddetli gövde yuvarlanmalarında süspansiyona uygulanan toplam dikey yükün %30-40'ını alacak şekilde üretilebilmektedir (Bayrakçeken v.d., 2006). Viraj denge çubuğu, bu avantajlar sayesinde ağır vasıta araçların yol tutuşunun iyileştirilmesinde rol oynamaktadır.

Viraj denge çubuğunun avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Örneğin araç tümsekler üzerinde hareket ederken viraj denge çubuğunun diğer tekerleği kaldırma eğiliminde olmasıdır. Bu durum araçta dengesizliğe neden olur. Ayrıca, bu kuvvet iticidir ve viraj denge çubuğu üzerinde büyük bir torka neden olan büyük bir büyüklüğe sahiptir. Bu nedenle, viraj denge çubuğunun çarpma sırasında darbeyi sürdürebilecek kadar burulma sertliğine sahip olması gerekir (Yadav, 2020). Bu yüzden tasarım ve imalat aşamasında bu özelliklerin viraj denge çubuğuna kazandırılması gerekmektedir.

Viraj denge çubuğunun kompleks olmayan bir işleve sahip olmasına rağmen araç ağırlık aktarımı yuvarlanma direnci, araç ve süspansiyon geometrileri gibi faktörlerden etkilenmektedir. Bu sebeple viraj denge çubuğu tasarım aşamasında homojen araç ağırlık dağılımı, kol kısımlarında esneme olmadığı ve viraj alma koşullarının sabit durumda olduğu koşullar varsayılmaktadır (Wheatley ve Zaeimi, 2022). Doğru tasarlanmış bir aktif süspansiyon sistemi ile işlevini iyi bir şekilde yerine getiren viraj denge çubuğu üretilebilir. Araç süspansiyonunun tasarımında sürüş konforu ve kontrol edilebilirlik kriterleri aynı anda sağlanamaz. Genel olarak tasarımcı iki parametre arasında göreceli bir ödünleşimle sonuçlanacaktır. Çözümlerden biri, sistemin özelliklerini yol ve sürüş koşullarına göre değiştirmek için süspansiyon sisteminde aktif elemanların kullanılmasıdır. Ciddi sürüş koşullarından biri, bir arabanın keskin bir dönüşü veya viraja yüksek hızla gelmesidir. Sınırlayıcı koşulların aşılması, aracın devrilmesine neden olabilir ve hasara ve yaralanmalara neden olabilir (Kurhe ve Daspute, 2018).

Patrak ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada viraj denge çubuğu tasarım aşamasını belli kısıtları ele alarak tamamlamışlardır. Sonrasında belirli kısıtlar altında çalışacak viraj denge çubuğunun malzemesini belirlemek amacıyla viraj denge çubuğuna etki edecek burulma kuvvetleri içeren simülasyon çalışması yapmışlardır. Harshal ve arkadaşları, viraj denge çubuğunun sertliğine etki eden temel geometrik parametre değerlerini incelemişler ve viraj denge çubuğunun rijitliği, viraj denge çubuğunun daha az bölümünün bükülmeyesiyle elde edileceği ve viraj denge çubuğunun esnekliği açısından, burçların birbirinden uzak olması gerektiği sonucuna varmışlardır (Harshal v.d., 2014). Topaç ve arkadaşları, şehirlerarası yolcu otobüsü için tasarlanmış viraj denge çubuğunun büküm kısımlarındaki gerilim yoğunluğunu gidermek amacıyla viraj denge çubuğunda bulunan kritik bölgelerin şeklini optimize etmişler ve bu sayede gerilme yoğunlaşmasını azaltmışlardır (Topaç v.d., 2011).

Bu çalışma, viraj denge çubuğu üretim sürecinde karşılaşılan bir sorunu çözme amacı taşımaktadır. Söz konusu sorun, viraj denge çubuğu üretim aşamalarından biri olan kafa ezme prosesi ile ilgilidir. Bu proses sırasında, viraj denge çubuğunun kafa kısmı ısıtılarak presle şekil verilirken, çubuğun iyi bir şekilde sabitlenmediği durumlarda burkulma sorunu meydana gelmektedir. Bu sorunun sonucunda, denge çubuğunun araçlara sağladığı yol tutuş performansının azalması ve süspansiyon sistemine montajının yapılamaması gibi olumsuz durumlar ortaya çıkmaktadır. Burkulma problemini engellemek amacıyla, operatör etkisi azaltılarak ve iki uç kafanın simetrik olmasını sağlayarak, modüler bir aparatın tasarlanması hedeflenmektedir. Bu aparat, viraj denge çubuğu kafa ezme prosesinde daha güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede yol tutuş performansının düşmesi ve montaj sorunları gibi olumsuz etkilerin önlenmesi amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Viraj denge çubuğunun burkulma problemini gidermek amacıyla, Solidworks CAD yazılımı kullanılarak modüler aparatın tasarımı başlatılmıştır. Bu tasarım aşamasında, aparatın her bir parçasının detaylı 2D ve 3D modellenmesi yapılmıştır. CAD tasarımı tamamlandıktan sonra, üretim süreçlerini

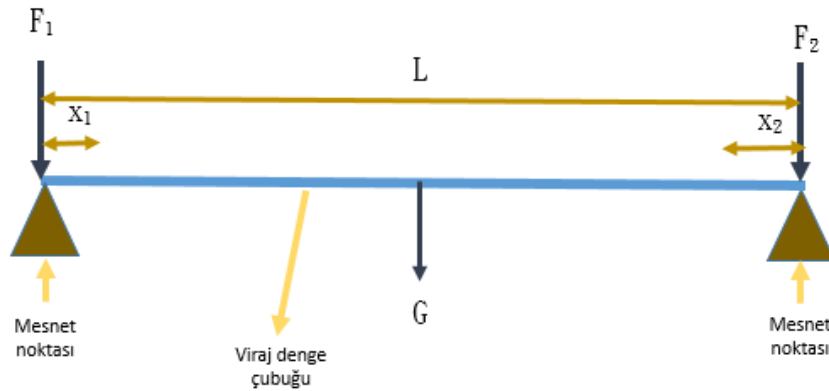
yönlendirebilmek için bu tasarımlar CAM yazılımına aktarılmıştır. Ayrıca, her parçanın teknik çizimleri oluşturulmuş ve standartlara uygunluğu sağlanmıştır. Parçaların üretimi için, CNC torna ve CNC freze tezgahları kullanılmıştır. Bu makineler, hassas işleme sağlamak amacıyla CAD/CAM verilerini kullanmıştır. Ham malzemeler bu tezgahlarda işlenerek parçalar elde edilmiştir. Üretilen parçalar, modüler aparatın son montajı için bir araya getirilmiştir. Bu aşamada, ayrıca standart malzemeler de kullanılmıştır. Modüler aparat, mevcut kafa ezme prosesine entegre edilmiştir. Bu sayede, viraj denge çubuğu kafa ezme prosesine tabi tutulabilmektedir. İşlem gören viraj denge çubuğunun kalitesi, kumpas, mihengir ve fiyestür gibi hassas ölçüm araçları kullanılarak kontrol edilmiştir. Son olarak, ürünün tasarımı, üç boyutlu lazer tarayıcı ile taranmış ve orijinal CAD tasarımı ile karşılaştırılmıştır.

2.1. Modüler Aparatın Tasarımı

Modüler aparatın viraj denge çubuğunun burkulma problemini engellemesine ilişkin tasarımı Solidworks ortamında yapılmıştır. Modüler aparatın tasarımına başlanmadan önce 250 ton pres yükü ve viraj denge çubuğunun mesnet noktalarının piston basma ve pres basma noktalarına olan uzaklıklarından yararlanılarak tutma kuvveti 2500 N olarak hesaplanmış ve bu tutma kuvvetine göre uygun pnömatik klemptir seçilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan viraj denge çubuğu serbest cisim denge diyagramı Şekil 1’ de verilmiştir. Seçilen pnömatik pistonun teknik özellikleri ise Tablo 1’ de verilmiştir. Kafa ezme prosesinde pnömatik klemptir seçiminde emniyet katsayısı hesabı da yapılmıştır.

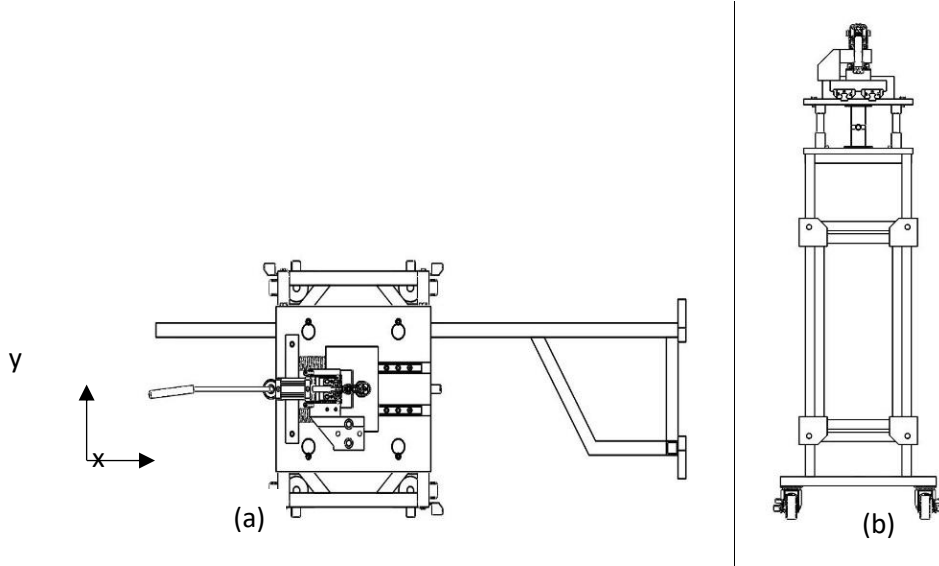
Tablo 1. Kullanılan pnömatik klemptir teknik özellikleri

Baskı Kuvveti	Tutma Kuvveti	Çalışma Açısı
2000 N	2500 N	95°



Şekil 1. Viraj denge çubuğuna serbest cisim denge diyagramı

Sonrasında, şirket içerisinde üretilen viraj denge çubuklarının uzunluk ve çap ölçüleri referans alınarak, modüler aparatın boyutları belirlenmiştir. Tasarım aşaması, toplam tasarım kütleline uygun tekerlek seçimi ile tamamlanmıştır. Burkulma problemini önlemek amacıyla, pnömatik pistonun ucuna sabitlenmesine yardımcı olan bir parça eklenmiştir. Viraj denge çubuğunda, kafa ezme işlemi sırasında pres baskı kuvveti nedeniyle meydana gelen uzamaya, izin veren kayar yataklı ve yay tamponlu bir mekanizma kullanılmıştır. Modüler aparatın farklı viraj denge çubuklarına uyum sağlayabilmesi için uzunluk ve yükseklik ayarı yapılabilen bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de, modüler aparat tasarımının farklı açılardan görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 2. Modüler aparat tasarımının üstten (a) ve önden (b) görünümü

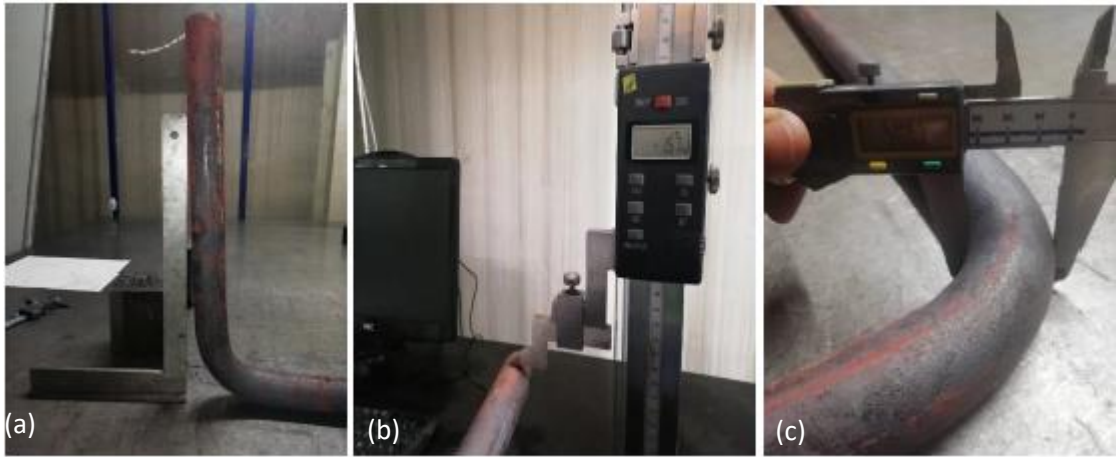
Şekil 2’de görülmekte olduğu üzere karkas yapı, sistemin ana taşıyıcı görevini üstlenmektedir. Karkas yapı belirli bölgelerinden atkı olarak isimlendirilen parçalarla desteklenerek rijitliği artırılmıştır. Alt ve üst plakalar sayesinde üst grup karkas yapıya montajlanmıştır. Alt ve üst plakaya bağlı kolonlar, modüler aparatta yükseklik ayarı yapılırken kılavuzlama görevi görmektedirler. Pnömatik silindir ve ucuna bağlanan parça, viraj denge çubuğu kafa ezme prosesi esnasında sabitleme görevini üstlenmektedir. Lineer kızaklar ve 43,8 N/mm rijitlik oranı ve 13.3 mm stroke mesafesine sahip çelik yaylar sayesinde viraj denge çubuğunun, lineer kızakların yataklandığı ekseninde ($-x$) yönünde yapacağı harekete tepki kuvveti oluşturulmuş ve tek ekseninde serbestlik verilmesiyle viraj denge çubuğunun uzamasına izin verilerek kafa ezme işleminin daha verimli gerçekleşmesi sağlanmıştır. Tekerlekler sayesinde modüler aparatın pres tezgahına olan uzaklığı rahat bir şekilde ayarlanabilmektedir. Tasarım aşamasından sonra imal edilecek ürünlerin teknik resimleri çizilip üretim ve montaj aşamasına geçilmiştir.

2.2. Modüler Aparat Parçalarının Üretimi ve Montajı

Tasarlanan modüler aparatta ham malzemeden işlenerek kullanılan ürünler; karkas yapı, plakalar, viraj denge çubuğunu sabitlemeye yardımcı parça ve kolonlardır. Plakalar St-37 malzemesinin lazer kesimiyle elde edilmiştir. Viraj denge çubuğunu sabitlemeye yardımcı parça ve proses sırasında viraj denge çubuğuyla sürekli temas halinde olan plaka ise AISI 4140 çeliğinden imal edilmiştir. Sonrasında bu parçalara, sıcak şekillendirme prosesi boyunca viraj denge çubuğuyla sürekli temas halinde olacağından, aşınmalarını için ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Plakaların lazer kesimi yapıp CNC freze tezgahında montaj delikleri açılmış ve sonrasında oksidasyon işlemine tabi tutularak korozyona karşı dirençli hale getirilmiştir. Dişi ve erkek kolonlar AISI 4140 malzemesinin CNC torna tezgahında işlenmesiyle imal edilmiştir. Kolonlar kendi içlerinde birbirleriyle temas halinde olacağından işlendikten sonra ısıtılma işlemine tabi tutularak sertleştirilmiştir. Standart malzemeler temin edildikten sonra montaj aşamasına geçilmiştir. Montajı tamamlanan modüler aparatın viraj denge çubuğunun kafa ezme prosesinde saha denemeleri yapılmıştır.

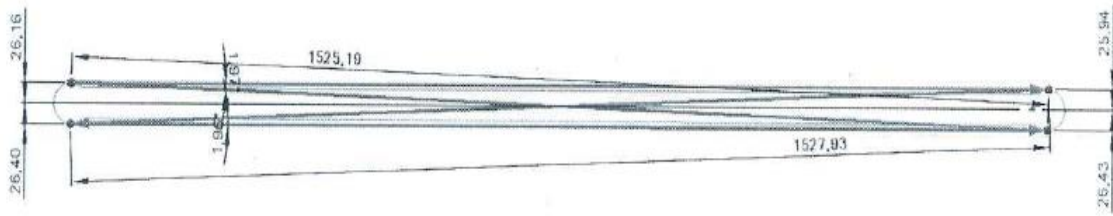
3. BULGULAR

Modüler aparatın montaj aşaması tamamlandıktan sonra, kafa ezme prosesine entegre edilerek deneme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sahada yapılan bu çalışmaların sonuçları, kafa ezme prosesi tamamlanan viraj denge çubuğunun fiziksel ve bilgisayar tabanlı kontrolleri ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, modüler aparatın kafa ezme prosesi üzerindeki etkisi ve performansı analiz edilmiştir. Kontroller, viraj denge çubuğunun istenilen kalite ve spesifikasyonlara uygun olarak üretildiğini doğrulamak amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçlarına dayanarak, modüler aparatın kafa ezme prosesi entegrasyonunun, viraj denge çubuğu üretiminde olumlu bir etkiye sahip olup olmadığına dair kararlar verilmiştir. Şekil 3’te viraj denge çubuğunun fiziksel kontrolüne yer verilmiştir.



Şekil 3. Diklik kontrolü (a), mihengir ile ölçüm (b) ve kumpas ile ölçüm (c)

Modüler aparat ile kafa ezme prosesi tamamlanan viraj denge çubuğu 3B lazer tarayıcı ile taranmıştır. 3B tarama sonucundan alınan ölçüler Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3B tarama verisinden alınan ölçüler

Şekil 4'teki viraj denge çubuğunun açı ve sehim değerlerinden görülmektedir. Tarama işlemi, ürünün geometrik doğruluğunu teyit etmek amacıyla gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler, modüler aparatın üretim prosesi üzerindeki olumlu etkilerini kanıtlamıştır.

4. TARTIŞMA

Çalışmada, otomotiv sanayisinde çoğunlukla ağır vasıta taşıtlarda kullanılan viraj denge çubuğunun kafa ezme prosesinde yaşanan burkulma probleminin nasıl önüne geçileceği araştırılmış ve bu problem için mevcut prosese modüler aparat entegre edilmesi uygun görülmüştür. Modüler aparat ile kafa ezme prosesi gerçekleşen viraj denge çubuğunun, sadece operatör etkisinde olan kafa ezme prosesine göre burkulma miktarı istenen tolerans seviyelerine çekilmiştir. Bu kapsamda, viraj denge çubuğunun kafa ezme prosesinde modüler aparat ile işlem görmesinin gerekliliği tartışılmıştır.

5. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, modüler aparat ile tamamlanan kafa ezme prosesinde işlenen viraj denge çubuğunun, fiziksel ölçümler ve 3B tarayıcı işlemi sonucu elde edilen verilere dayanarak, viraj denge çubuğunun, kafa ezme prosesi sırasında modüler aparatın etkisiyle uygun tolerans aralıklarında işlem gördüğü sonucuna varılmıştır. Üretimi ve montajı yapılan modüler aparat sayesinde;

- Viraj denge çubuğunun kafa kısımlarının simetrik olması sağlanmıştır,
- Kafa ezme prosesinde meydana gelen burkulma sorununa çözüm bulunmuştur,
- Operatörden kaynaklı hata oranları azalmıştır,
- Hata oranlarının azalmasıyla birlikte ürün kalitesinde artış meydana gelmiştir,
- Kafa ezme prosesi daha verimli hale getirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu proje Demircioğlu Group Ar-Ge Merkezi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Demircioğlu Group yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Bayrakçeken H., Taşgetiren S. ve Aslantaş K. (2006). Fracture of An Automobile Anti-Roll Bar. Engineering Failure Analysis 13 (2006) 732–738
- [2]. Bharane P., Tanpure K. ve Kerkal G. (2014). Optimization of Anti-Roll bar using Ansys Parametric Design Language (APDL). International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2, Issue 5.
- [3]. Bharane P., Tanpure K., Patil A. ve Kerkal G. (2014). Design, Analysis and Optimization of Anti-Roll Bar. Int. Journal of Engineering Research and Applications, 9(4), 137-140.
- [4]. Harshal B., Rushikesh K. ve Baskar P. (2014). Finite Element Analysis of Anti-Roll Bar to Optimize the Stiffness of the Anti-Roll Bar and the Body Roll. International Journal Of Modern Engineering Research, Volume 4 , Issue 5 11-23.
- [5]. Kurhe N.M. ve Daspute D.H. (2018). Dynamic Analysis of Anti Roll Bar. Materials Today: Proceedings 5, 5(5), 12490-12498.
- [6]. Madhukumar K., Rajkumar M.T., Vishvakarma A. ve Pokale R. (2023). Design and Analysis of Anti-Roll Bar in Formula Vehicle. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. Volume 11 Issue 5, 5135-5141.
- [7]. Mastura M.T., Sapuan S.M., Mansor M.R. ve Nuraini A. A. (2017). Conceptual Design of a Natural Fibre-Reinforced Composite Automotive Anti-Roll Bar Using a Hybrid Approach. Int J Adv Manuf Technol (2017) 91:2031–2048.
- [8]. Topaç M. M., Enginar H. E. ve Kuralay S.N. (2011). Reduction of Stress Concentration at The Corner Bends Of The Anti-Roll Bar By Using Parametric Optimisation. Mathematical and Computational Applications, Vol. 16, No. 1, pp. 148-158.
- [9]. Vu V. T., Senane O., Dugard L. ve Gaspar P. (2016). Active Anti-Roll Bar Control Using Electronic Servo Valve Hydraulic Damper On Single Unit Heavy Vehicle. 8th IFAC International Symposium on Advances in Automotive Control, 49(11), 418-425.
- [10]. Wheatley G. ve Zaeimi M. (2022). Anti-Roll Bar Design For A Formula Sae Vehicle Suspension. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2022, 116, 257-270.
- [11]. Yadav A. (2020). Design of High Strength Anti-Roll Bar Using Centrifugal Casting Process to Improve Mechanical Properties. International Research Journal of Engineering and Technology, 7(1).

EVALUATION OF DIFFERENT IMPUTATION METHODS FOR HANDLING MISSING AIR POLLUTION DATA IN BURSA, TURKEY

Saliha Çelikcan BİLGİN

saliha.celikcanbilgin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-2512-4802>
Istanbul Technical University, Graduate School, Atmospheric Sciences Master Program,
İstanbul, Türkiye

Prof. Dr. Hüseyin TOROS

toros@itu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-3028-6308>
Istanbul Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Meteorological
Engineering, İstanbul, Türkiye

Prof. Dr. Turgay Tugay BİLGİN

turgay.bilgin@btu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9245-5728>
Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Computer
Engineering, Bursa, Türkiye

ABSTRACT: Air pollution data integrity is paramount for effective environmental management and public health protection. This study aims to address the issue of data integrity related to air pollution in Bursa and evaluates various advanced imputation techniques to effectively complete missing data. Five different methods, including linear regression, K-Nearest Neighbors (KNN), decision trees, random forests, and linear interpolation, are compared for filling gaps in the PM_{2.5} dataset. Our findings demonstrate that these advanced imputation techniques enhance the completeness and accuracy of air pollution data.

The significance of our study underscores the critical role of accurately and reliably completing missing air pollution data in environmental management and public health. These findings can guide researchers in selecting the most appropriate imputation method for the analysis of air pollution data. Additionally, this study establishes a foundation for addressing the issue of missing data in future research and the formulation of environmental policies.

KEYWORDS: Air Pollution, Data Imputation, Imputation Techniques

Date of Submission: 14.11.2023
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446681>

Date of acceptance: 24.12.2023

1. INTRODUCTION

Air pollution is a critical environmental issue with far-reaching consequences for public health and the environment. Accurate and complete data on air quality is essential for monitoring and managing pollution levels effectively. However, missing or incomplete data can be a common challenge in environmental research. In this article, we explore various imputation methods to address missing air pollution data in Bursa province, Turkey.

Bursa, located in northwestern Turkey, is one of the country's most populous and industrialized provinces. Rapid urbanization and industrial growth have led to increased air pollution concerns in the region. Monitoring air quality is vital to assess the impact of pollutants on public health and the environment.

In this study, the PM_{2.5} data of Bursa station, which has the same name as Bursa province, were taken as a sample. The data obtained from this station were used as input for advanced techniques such as linear regression, K-nearest neighbor (KNN), decision trees, random forests and linear interpolation. For the linear regression method, PM_{2.5} data from Uludağ University station, which is close to Bursa station, were included in the study. By comparing and analyzing these methods, we aim to provide insights into the most appropriate approach to load air pollution data in this region.

Various data imputation methods can be used in meteorological air pollution datasets. One approach is the use of ensemble-imputation-classification frameworks, which involve filling missing records using single and multiple imputation procedures and then using an ensemble of diverse classifiers to find the air pollution level (Narasimhan & Vanitha, 2023). Another method is based on multivariate time series clustering, which imputes missing air pollutant concentration data by considering spatial and temporal similarities between monitoring stations (Alahamade et al., 2021).

Neural networks, such as NARX neural networks, can also be employed for imputing missing data in air pollutant sensors (Calle et al., 2020). Additionally, low rank matrix completion (LRMC) can be used as a spatial interpolation method to impute missing values in air pollutants data sets (Liu et al., 2020). Other techniques include mean imputation, spline interpolation, simple moving average, exponentially weighted moving average, and Kalman smoothing on structural time series and autoregressive integrated moving average models (Wijesekara & Liyanage, 2020). One study compared five imputation methods, including mean imputation, conditional mean imputation, K-Nearest Neighbor imputation, multiple imputation, and Bayesian Principal Component Analysis imputation, and found that they were able to reconstruct the dataset with good performance in terms of completeness, errors, and bias (Quinteros et al., 2019). Another study aimed to reduce uncertainty in air quality assessment by experimenting with different approaches to estimate missing pollutant data at monitoring stations and within time series (Alahamade et al., 2020). Additionally, a study evaluated four imputation methods, including Mean Top Bottom, Linear Regression, Multiple Imputation, and Nearest Neighbor, and found that Mean Top Bottom was the most appropriate method for filling in missing values in air pollutants data (Zakaria & Noor, 2018). These methods are used to fill in missing values in the air pollutants data obtained from continuous ambient air quality monitoring stations. The performance of these imputation methods can be evaluated using measures such as Mean Absolute Error, Root Mean Squared Error, Coefficient of Determination, and Index of Agreement (Hadeed et al., 2020).

2. METHODOLOGY

To mitigate the impact of missing data and ensure the completeness of air pollution records, researchers and environmental scientists rely on imputation methods. Imputation techniques are statistical approaches used to estimate or fill in missing values based on available information and patterns within the dataset. These methods play a crucial role in data preprocessing, enabling more robust analyses and modeling of air quality trends.

In this article, we delve into an exploration of common imputation methods employed in addressing missing air pollution data. Each of these methods has distinct characteristics and advantages tailored to accommodate the challenges posed by incomplete datasets. We have examined five imputation methods, each tailored to address the challenges of missing air pollution data.

Linear Regression Imputation: Linear regression estimates missing values by fitting a linear model based on available data. The imputed value ((Y_i)) for the missing data point at position (i) can be calculated as follows:

$$[Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i] \quad (1)$$

Where:

- (Y_i) is the imputed value.
- (β_0) is the intercept of the linear model.
- (β_1) is the slope of the linear model.
- (X_i) represents the available data for other relevant variables.
- (ϵ_i) is the error term.

K-Nearest Neighbors (KNN) Imputation: K-nearest neighbors imputation estimates missing values by averaging the values of the K most similar data points. The formula for KNN imputation is:

$$[Y_i = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K Y_{N_j}] \quad (2)$$

Where:

- (Y_i) is the imputed value.
- (K) is the number of nearest neighbors.
- (Y_{N_j}) represents the observed values of the (j) -th nearest neighbor.

Decision Tree Imputation: Decision tree imputation uses a decision tree algorithm to predict missing values. The imputed value (Y_i) is determined based on the decision tree rules. Decision tree-based imputation is a method that leverages decision tree models to estimate missing data points. Decision trees are versatile algorithms that can capture complex relationships and non-linear patterns within datasets. This approach is particularly effective when dealing with datasets where variables interact in intricate and non-linear ways, allowing for more accurate imputations in such scenarios.

Random Forest Imputation: Random forests are an ensemble learning method that combines multiple decision trees. The imputed value (Y_i) is the average prediction from all the decision trees in the random forest. Random Forest Imputation leverages this forest structure to predict missing data points and often stands out for its enhanced predictive performance in the dataset.

Linear Interpolation: Linear interpolation estimates missing values by assuming a linear relationship between consecutive data points. The formula for linear interpolation between two adjacent data points (X_a) and (X_b) at times (t_a) and (t_b) is:

$$[Y_i = \frac{(X_b - X_a)}{(t_b - t_a)}(t_i - t_a) + X_a] \quad (3)$$

Where:

- (Y_i) is the imputed value at time (t_i) .
- (X_a) and (X_b) are the known values at times (t_a) and (t_b) .
- (t_i) is the time for which imputation is needed.

3. FINDINGS

To evaluate the performance of these imputation methods, we collected $PM_{2.5}$ data from Bursa station. We introduced artificial missing values into the dataset to simulate real-world scenarios. In addition, we also utilized air pollution data from the Uludag University station, located close to the Bursa station, and used this data as a correlation dataset with no missing values.

The 24-hour $PM_{2.5}$ data of 2 stations obtained from the National Air Quality Monitoring Network (UHKİA) of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change of the Republic of Turkey dated May 14, 2022, were used (*Hava Kalitesi - İstasyon Veri İndirme | T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*, n.d.). We removed 7 consecutive hours of data (from 04:00 to 10:00) from the Bursa station from the data set.

In our comparative analysis, we placed a particular emphasis on understanding the shape and trend of missing data patterns within the air pollution dataset. This involved closely examining the distribution of missing values over time or space and identifying any discernible trends or patterns. Understanding the temporal or spatial characteristics of missing data is crucial for selecting the most appropriate imputation method, as different methods may be better suited to handle specific missing data profiles.

Additionally, we paid special attention to instances of large consecutive missing data stretches within the dataset. These extended gaps in the data can significantly impact the integrity of the dataset and, subsequently, the accuracy of imputations. Identifying and addressing such consecutive missing data is essential to ensure the reliability of the imputation results and the overall quality of the air pollution dataset.

By focusing on both the shape and trends of missing data, as well as addressing consecutive missing data, our analysis aimed to provide a comprehensive assessment of the performance and suitability of different imputation methods in handling the unique challenges posed by the air pollution dataset in Bursa station.

Figure 1 shows the comparison of 7 consecutive hours of missing $PM_{2.5}$ values of Bursa station with the actual values. Accordingly, it is seen that the closest data imputation process to the actual values of the data at Bursa station is realized with the Linear Regression method using the data at Uludag University station. The results of the other methods are far from a data imputation in accordance with the actual values.

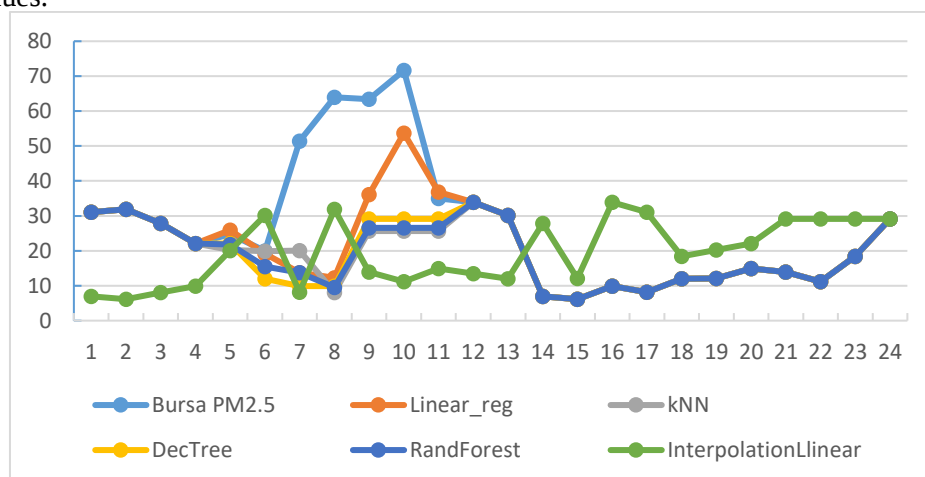


Figure 1: Comparison of Different Method Results with Actual Values

4. DISCUSSIONS

In the course of our comprehensive investigation, we harnessed air pollution data from two key monitoring stations: Bursa station and Uludag University station, with a specific focus on $PM_{2.5}$ concentrations. At Bursa station, we created a new test dataset by removing the data points between 04:00 and 10:00 on May 14, 2022. We then started the task of estimating the missing values in this specific time interval. We used the Uludag University data, which is located close to Bursa station, in a linear regression method. In the pursuit of our research objectives, we deployed an array of sophisticated imputation methodologies, including linear regression, K-nearest neighbor (KNN), Decision Tree, Random Forest, and Linear Interpolation. These methodologies were carefully selected due to their efficacy in handling missing data scenarios.

Our comparative analysis was predicated on the alignment of imputed missing data with actual observed data. The results of these experiments provide valuable insights into the performance of each imputation method, as shown in Figure 1.

Notably, our findings reveal that the Linear Regression method emerged as the most proficient in terms of replicating the form and trend of the missing data. This outcome underscores the utility of linear regression in addressing missing data challenges in air pollution datasets. However, it is essential to recognize that the choice of the most suitable imputation method should be contingent upon the specific characteristics of the dataset and the research objectives at hand.

The empirical evidence presented in this study contributes to the broader discourse on imputation techniques for air pollution data, offering a nuanced perspective on their efficacy and applicability in real-world environmental monitoring and management contexts.

5. CONCLUSION

Researchers need to particularly consider factors such as the characteristics of data in their study domains and the requirements for accuracy. The conducted comparative analysis has demonstrated that advanced methods, including linear regression, K-Nearest Neighbors (KNN), decision trees, random forests, and linear interpolation, can offer higher accuracy and flexibility compared to simple statistical methods.

Researchers should carefully evaluate the specific needs of their studies and the requirements of their datasets when selecting a data imputation method. Additionally, it is essential to acknowledge the limitations and potential biases introduced by imputation and to document the imputation process transparently in research publications.

As a result, it is observed that advanced imputation methods play a critical role in enhancing the reliability and completeness of air pollution data, both in the province of Bursa and from a broader perspective. This circumstance contributes to the more effective preservation of environmental management and public health, providing opportunities for the development of more efficient strategies in these areas.

REFERENCES

- Alahamade, W., Lake, I., Reeves, C. E., & De La Iglesia, B. (2021). Evaluation of multi-variate time series clustering for imputation of air pollution data. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems Discussions*, 2021, 1–23.
- Alahamade, W., Lake, I., Reeves, C. E., & De La Iglesia, B. (2020). Clustering Imputation for Air Pollution Data. In E. A. De La Cal, J. R. Villar Flecha, H. Quintián, & E. Corchado (Eds.), *Hybrid Artificial Intelligent Systems* (Vol. 12344, pp. 585–597). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61705-9_48
- Calle, M., Orellana, M., & Ortega-Chasi, P. (2020). NARX Neural Network for Imputation of Missing Data in Air Pollution Datasets. In G. Rodriguez Morales, E. R. Fonseca C., J. P. Salgado, P. Pérez-Gosende, M. Orellana Cordero, & S. Berrezueta (Eds.), *Information and Communication Technologies* (Vol. 1307, pp. 226–240). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62833-8_18
- Hadeed, S. J., O'Rourke, M. K., Burgess, J. L., Harris, R. B., & Canales, R. A. (2020). Imputation methods for addressing missing data in short-term monitoring of air pollutants. *Science of the Total Environment*, 730, 139140.
- Hava Kalitesi—İstasyon Veri İndirme | T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (n.d.). Retrieved October 26, 2023, from https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew
- Liu, X., Wang, X., Zou, L., Xia, J., & Pang, W. (2020). Spatial imputation for air pollutants data sets via low rank matrix completion algorithm. *Environment International*, 139, 105713.
- Narasimhan, D., & Vanitha, M. (2023). Machine Learning Approach-based Big Data Imputation Methods for Outdoor Air Quality Forecasting. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 82(03), 338–347.
- Quinteros, M. E., Lu, S., Blazquez, C., Cárdenas-R, J. P., Ossa, X., Delgado-Saborit, J.-M., Harrison, R. M., & Ruiz-Rudolph, P. (2019). Use of data imputation tools to reconstruct incomplete air quality datasets: A case-study in Temuco, Chile. *Atmospheric Environment*, 200, 40–49.
- Wijsekara, W. M. L. K. N., & Liyanage, L. (2020). Comparison of Imputation Methods for Missing Values in Air Pollution Data: Case Study on Sydney Air Quality Index. In K. Arai, S. Kapoor, & R. Bhatia (Eds.), *Advances in Information and Communication* (Vol. 1130, pp. 257–269). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39442-4_20
- Zakaria, N. A., & Noor, N. M. (2018). Imputation methods for filling missing data in urban air pollution data formalaysia. *Urbanism. Arhitectura. Constructii*, 9(2), 159.

OPTIMIZATION OF CLINOPTILOLITE TYPE ZEOLITE PARTICLE SIZES ON DIFFERENT NLGI GRADE LITHIUM SOAP GREASE FORMULATIONS

MSc. Chemist Sevda ŞAHAN

sevda.sahan@petrolofisi.com.tr

Petrol Ofisi A.Ş., Petrol Ofisi Technology Center (POTEM), İstanbul, Türkiye

Chemical Engineer Ece KORKUT

ece.korkut@petrolofisi.com.tr

Petrol Ofisi A.Ş., Petrol Ofisi Technology Center (POTEM), İstanbul, Türkiye

Chemical Engineer Aleyna GÖKÇE

aleyna.gokce@petrolofisi.com.tr

Petrol Ofisi A.Ş., Petrol Ofisi Technology Center (POTEM), İstanbul, Türkiye

Emre ONAN

emre.onan@petrolofisi.com.tr

Petrol Ofisi A.Ş., Petrol Ofisi Technology Center (POTEM), İstanbul, Türkiye

ABSTRACT: Particle sizes of zeolites vary according to usage areas and needs. Zeolite ratios for required performance characteristics of lithium soap greases have been optimized in our previous study as 1%. In this study, we have been examined improvement of water resistance characteristic performance with using different size zeolites like: 10 µm, 40 µm, 100 µm and 700 µm. Three different NLGI grades lithium soaps have been used as: 00, 2 and 3. The zeolite size that showed highest water resistance performance was selected. Additionally, we have been reported that zeolites have been deteriorate extreme pressure performance characteristics of greases. Because of this reason we have been also studied with a commercial extreme pressure additive to increase load resistance performances of grease formulations. Appropriate size of zeolites type with optimized ratio used in studied formulations. And performance characteristics like: appearance, penetration, dropping point, NLGI no, wear scar, weld load, water spray and water washout have been reported.

KEYWORDS: Lubricant, Lithium Grease, Clinoptilolite Zeolite, Water Resistance, Load Resistance

Date of Submission: 16.11.2023
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446697>

Date of acceptance: 25.12.2023

1. INTRODUCTION

1.1. Solid Lubricants in Greases

Solid lubricants are common solutions for supporting of liquid lubricants and greases bearings that works under extreme operation conditions like high temperatures and pressures. [2]

General advantages of solid lubricants are: [4]

- Good stability under extreme conditions
- Changing thermal conductivity properties according to the base oil type
- Good resistance under environmental dirt
- Good chemical stability
- Good load carrying capability

General disadvantages of solid lubricants are: [4]

- Bad friction performance under hydrodynamic lubrication
- Changing thermal conductivity properties according to the base oil type
- Different colour according to solid lubricant type

It is widely known in grease industry that solid lubricants are used in extreme conditions, low speed boundary lubrication contact areas. [3]

1.2 Extreme Pressure Additives in Greases

Generally, both liquid lubricant and solid/semi-solid lubricant formulations have similar ingredients which are:

- Lubricant (which could be liquid, solid or semi-solid)
- Additives

Different types of additives can be used according to the lubricants' physical and chemical properties. Performance additive packages, corrosion inhibitors, extreme pressure additives, anti-wear additives, anti-foam additives, emulsifiers, metallic detergents, solid lubricants are some of the most used additive types in different types of lubricants.³ In this study we have been focused on especially load carrying improvement additives which are basically anti wear agents and extreme pressure additives [3]. Generally anti wear additives contains phosphorous derivatives [3]. Most used phosphorous derived anti wear additive molecules have been shown in figure-1-4. Figure 1

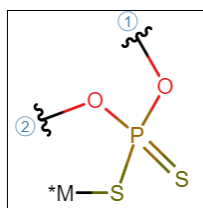


Figure 1. Structural form of metal dialkyl dithiophosphate

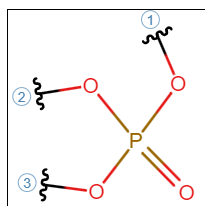


Figure 2. Structural form of tricresyl phosphate

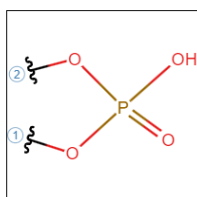


Figure 3. Structural form of dialkyl phosphite

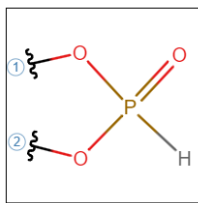


Figure 4. Structural form of phosphate

Generally extreme pressure additives contain sulphur and chlorine, etc [3]. Most used sulphur contain extreme pressure additives have been shown in figure-5-6.

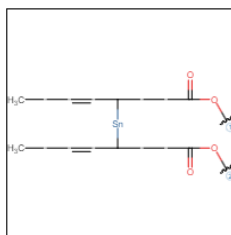


Figure 5. Structural form of sulphurized fatty ester

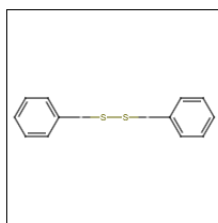


Figure 6. Structural form of dibenzyl disulphide

Working mechanism of extreme pressure additives are well known in the lubrication industry. Basic most known mechanism is shown in following figure 7. In the working environment extreme pressure additives' molecules reacted with the surface of the contact material. This reaction is not started with contact. Increasing working temperature cause the reaction of extreme pressure additive molecules with contact surface material [4].

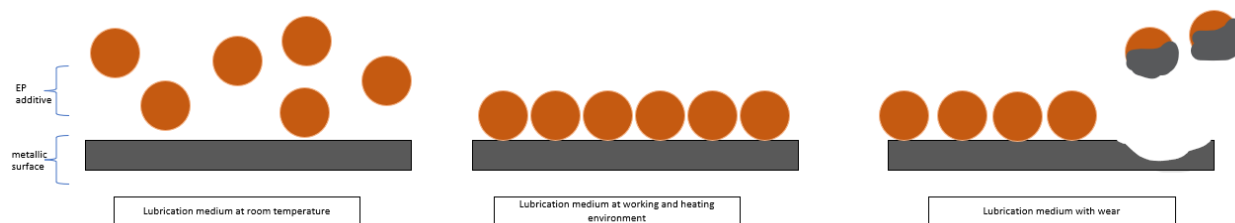


Figure 7. Working mechanism of extreme pressure additives

1.3. Zeolites

Zeolites are naturally abundant and synthetically produces inorganic, alkaline crystalline materials which are containing aluminium oxides, silicon oxides, hydrated aluminium silicates in their molecular structure [5][7][9][10]. Zeolites are generally using as catalysts in different applications, adsorbent material in different surfaces, detergent precursors and ion exchange materials in different environments [5][6]. Besides these areas there are lots of areas and applications where zeolites could be used. But it is also known that zeolites are good water absorbent/holding materials because of channels and tunnels in their molecular structure [10][6]. Crystalline structure of clinoptilolite zeolites include micropores to retain water in inner pores and secondary mesoporous to aeration and drainage [10].

He, Z.L et all [14] and Bigelow, C.A et all [15] reported that water absorbing capacity of different materials with different applications have been improved with using zeolites. Despite that according to our knowledge there is not any other study which used zeolites and clinoptilolite zeolites to improve the water adsorption properties of greases except our previous study reported by Sevda Şahan et all [16].

The term zeolite means boiling stone in Greek [7].

Clinoptilolite-which has an open formula $(\text{Na}_3\text{K}_3)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ is one of the wide abundant types of natural zeolites [7][11][12][13]. According to M. C ulfaz et all [17] Si/Al ratio of clinoptilolite is between 4 and 5,5. Mostly it is used in environmental applications to absorb the toxic wastes and different medical applications. Besides that it is one of the well known properties of clinoptilolite zeolites that clinoptilolite zeolites adsorb the heavy metals in the working environment [7][8]. It is also known that cation exchange properties of clinoptilolite zeolites affected from the alkaline metal cations, chemical preparation methodology, physical preparation methodology, loading methodology and also regeneration type [18][19]. Common structural form of clinoptilolite type zeolites have been shown in figure 8.

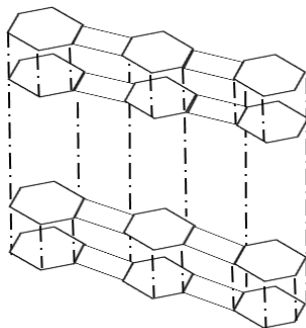


Figure 8. Structural form of clinoptilolite type zeolites

1.4. Size Effect of Zeolites

There are different types of zeolites according to their molecular structure and their particle sizes. According to surface mechanics it is expected that to increasing the surface area of clinoptilolite zeolites as decreasing particle sizes. In case of zeolites, it should be expected that as decreasing particle sizes to increasing adsorption capacity [9].

According to A. R. Demirkiran et all [9]. differences in particle sizes of clinoptilolite zeolites showed different adsorption performances. And they also reported that oil adsorption of clinoptilolite type zeolites is higher at relatively lower temperatures like 500°C than higher temperatures like 700°C and 900°C [9]. In this study we have been attempting to investigate the size effect of clinoptilolite type zeolites on optimum usage ratio in lithium soap greases. Respectively 10 µm, 40 µm, 100 µm and 700 µm sized zeolites visual appearance has been shown in figure 8.



Figure 9. Visual appearance of different sized clinoptilolite zeolites

According to our knowledge there is not any commercial usage of clinoptilolite zeolites in greases. Lithium soap greases are one of the mostly used grease type in lubrication industry during long year. This could be attended on lithium soap greases' good performance characteristics.

Despite of their good performance characteristics in some application areas lithium soap greases required to improve their performance characteristics like water resistance and load resistance. In our previous study by Sevda Şahan et al [16], we have been concluded that clinoptilolite type zeolites could be an alternative additive in spite of commercially known polymeric additives to improve greases' water resistance properties.

2. METHODOLOGY

At our previous study we have been reported that 1 % usage of clinoptilolite type zeolites is the optimum ratio to improve the water resistance performance properties of lithium soap greases. In this study consistency levels of used greases selected as NLGI 00, NLGI 2 and NLGI 3 grades.

As zeolite, we have been used clinoptilolite type zeolites based on our previous study. And to observe differences of performance effects of different sizes we have been selected and used 10 µm, 40 µm, 100 µm and 700 µm sized zeolites. All types of zeolites applied respectively 1 % ratio into different consistency level greases. Different characteristic test methodologies have been applied to observe performance properties of different sized zeolites in different consistency level lithium soap greases like: appearance, penetration, dropping point, NLGI no, wear scar, weld load, water spray and water washout.

2.1. Equipments and Test Methods

All performance analysis tested at POTEM. Consistency, 4 ball wear scar, 4 ball weld load, water spray off, water resistance, dropping point analysis of synthesized greases have been reported. Consistency test applied according to ASTM D217 test standard. 4 ball wear scar test applied according to ASTM D2266 test standard. Weld load test applied according to ASTM D2596 test standard. Water spray off test applied according to ASTM D4049 test standard. Water resistance test applied according to ASTM D1264 test standard. Dropping point test applied according to ASTM D566 test standard.

2.2. Tables and Figures

Different NLGI grade lithium greases' formulation details have been shown for NLGI 00 grade in table-1, for NLGI 2 grade in table-2 and for NLGI 3 grade in table-3.

Table-1. Formulation detail of NLGI 00 grade lithium greases

FORMULATION, % WEIGHT	C1	C2	C3	C4	C5	C5-EP
Lithium soap grease formulation NLGI 00 level	100	99	99	99	99	
Zeolite 10µm		1				
Zeolite 40µm			1			
Zeolite 100µm				1		
Zeolite 700µm					1	

Formulation C5						95
EP/AW Additive						5

Table-2. Formulation detail of NLGI 2 grade lithium greases

FORMULATION, % WEIGHT	B1	B2	B3	B4	B5	B5-EP
Lithium soap grease formulation NLGI 2level	100	99	99	99	99	
Zeolite 10µm		1				
Zeolite 40µm			1			
Zeolite 100µm				1		
Zeolite 700µm					1	
Formulation B5						95
EP/AW Additive						5

Table-3. Formulation detail of NLGI 3 grade lithium greases

FORMULATION, % WEIGHT	A1	A2	A3	A4	A5	A5-EP
Lithium soap grease formulation NLGI 3 level	100	99	99	99	99	
Zeolite 10µm		1				
Zeolite 40µm			1			
Zeolite 100µm				1		
Zeolite 700µm					1	
Formulation A5						95
EP/AW Additive						5

Visual appearance of NLGI 3 grade lithium soap formulations have been shown in figure-10.

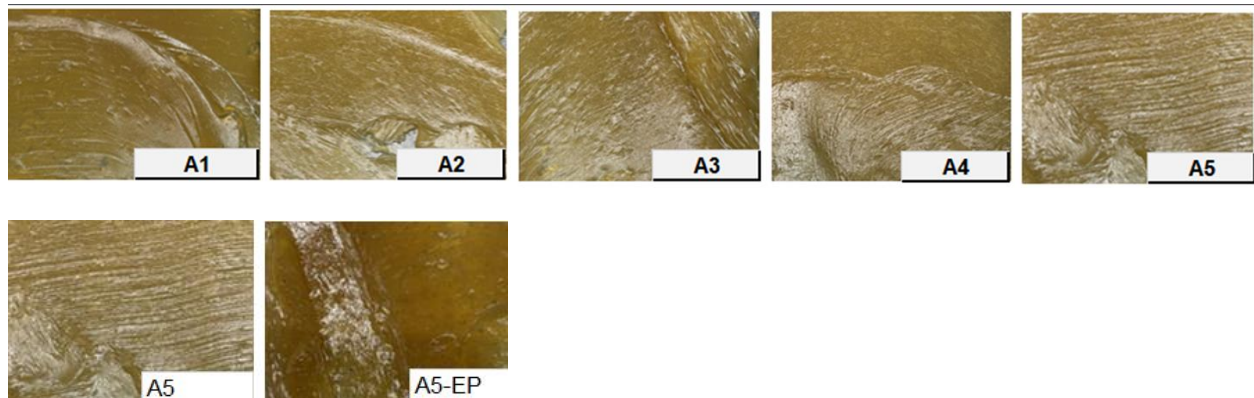


Figure 10. Visual appearances of NLGI 3 grade lithium soap formulations

Visual appearance of NLGI 2 grade lithium soap formulations have been shown in figure-10.

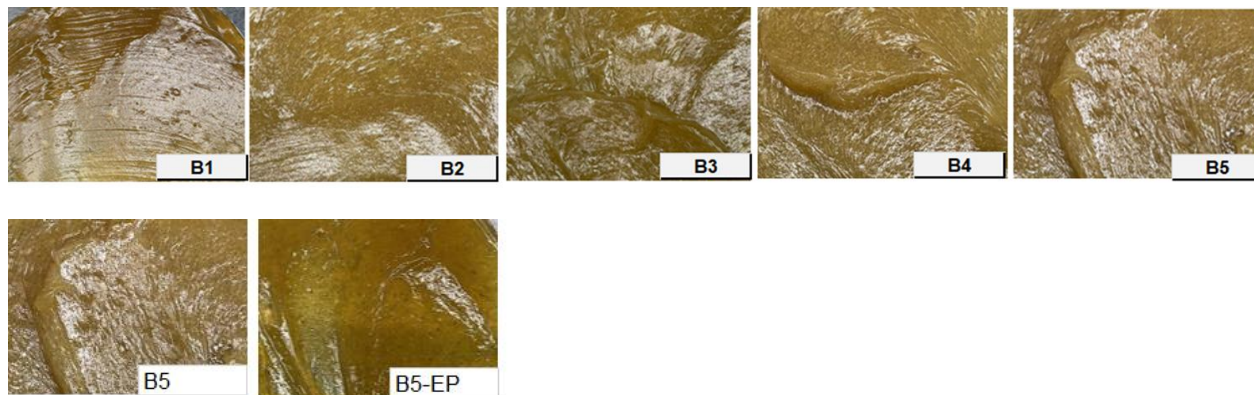


Figure 11. Visual appearances of NLGI 2 grade lithium soap formulations

Visual appearance of NLGI 00 grade lithium soap formulations have been shown in figure-10.

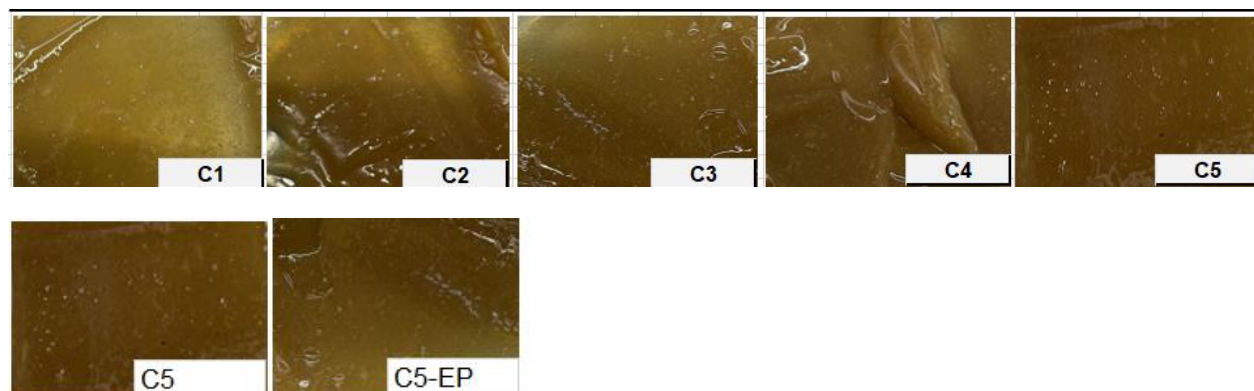


Figure 12. Visual appearances of NLGI 00 grade lithium soap formulations

Consistency test results of different NLGI grade grease formulations have been shown in figure 13.

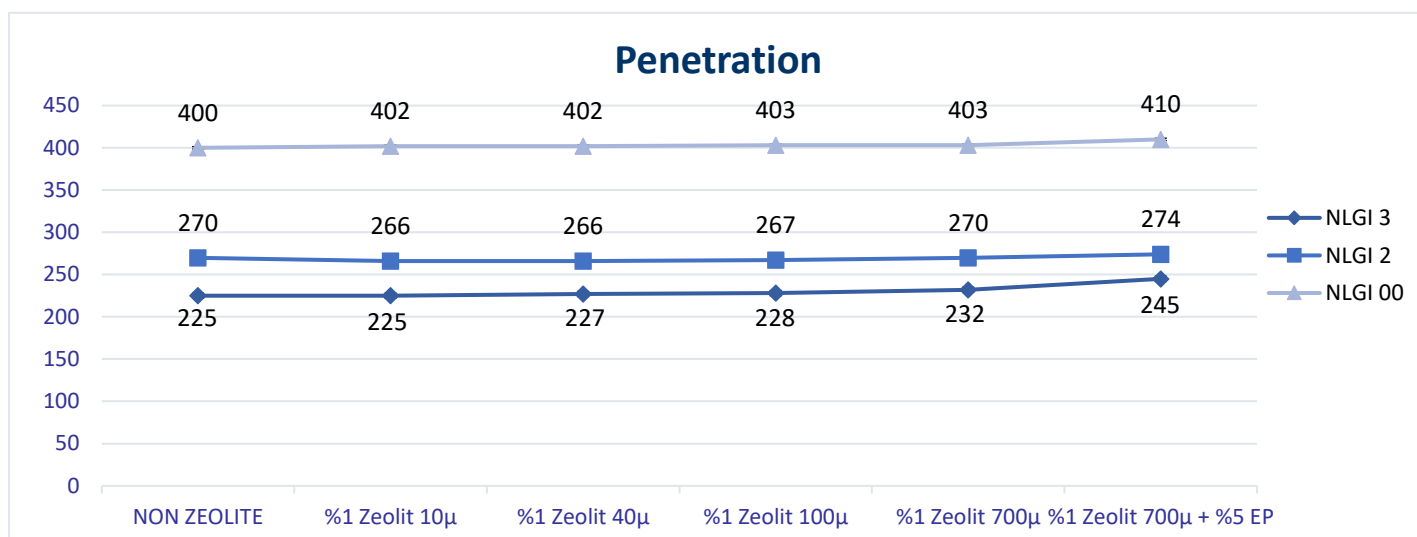


Figure 13. Penetration test results of grease formulations

Dropping point test results of different NLGI grade grease formulations have been shown in figure 14.

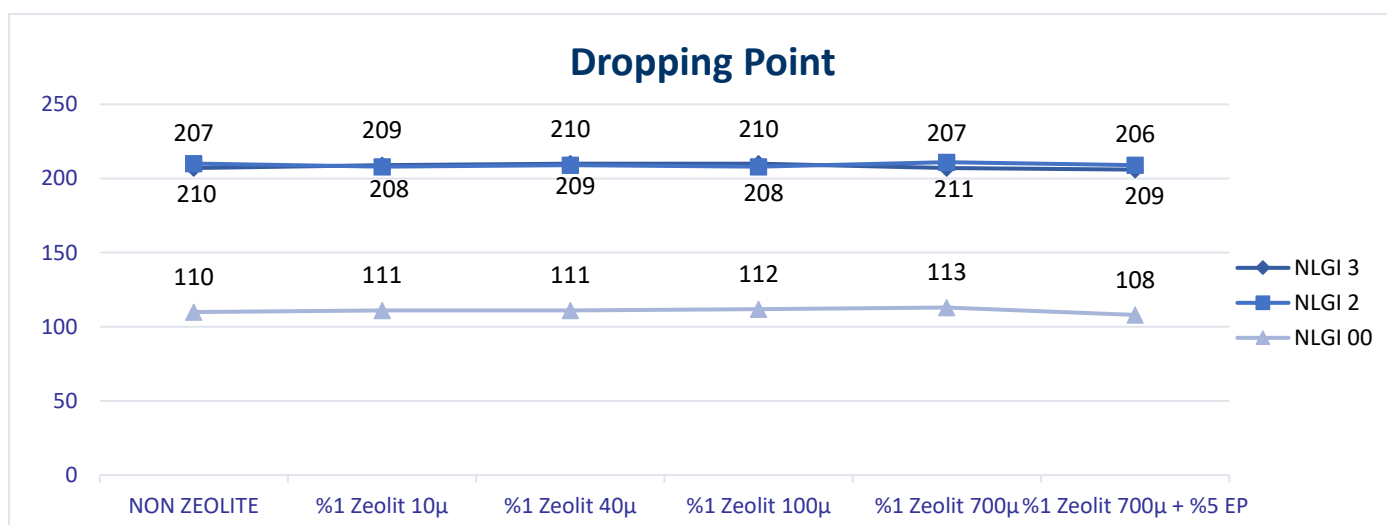


Figure 14. Dropping point test results of grease formulations

Wear scar test results of different NLGI grade grease formulations have been shown in figure 15.

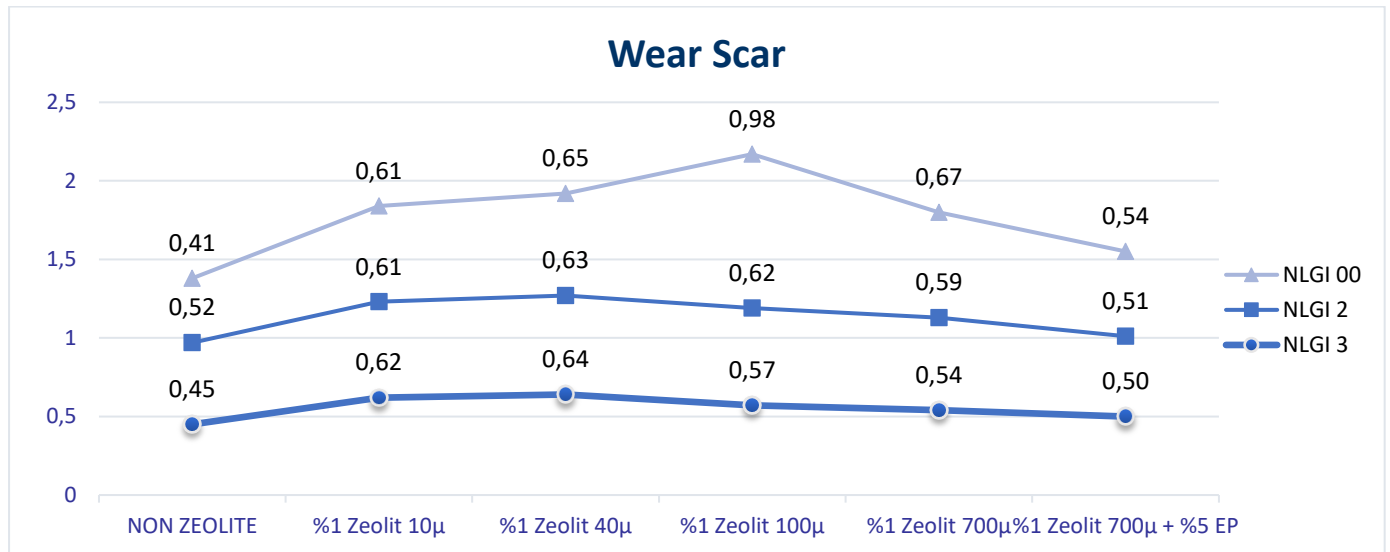


Figure 15. Wear scar test results of grease formulations

Besides that, four ball wear scar visuals of different grease formulations have been shown in figure 16-17-18.

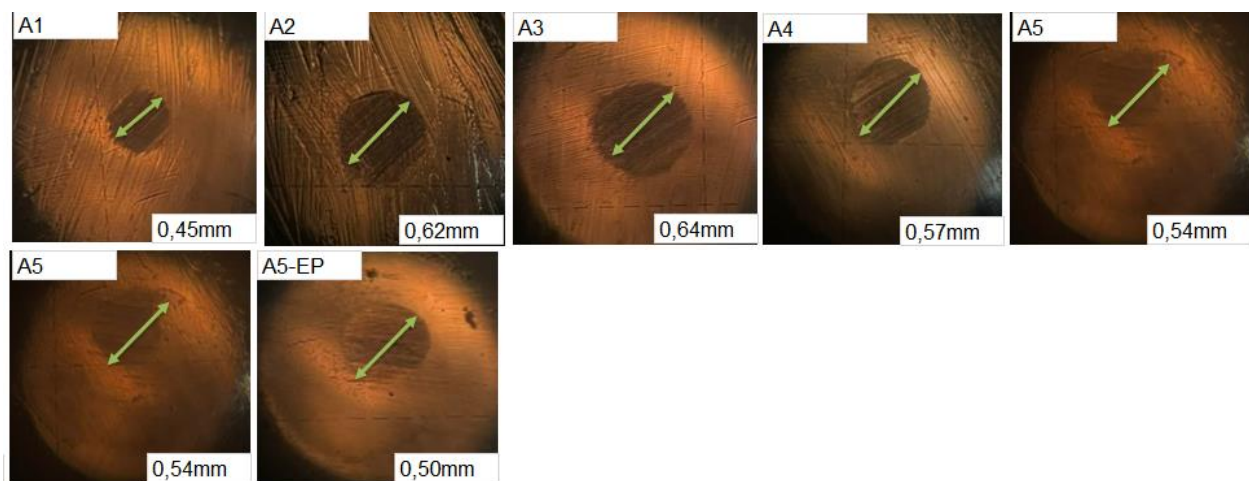


Figure 16. 4 ball wear scar visuals of NLGI 3 grade lithium soap formulations

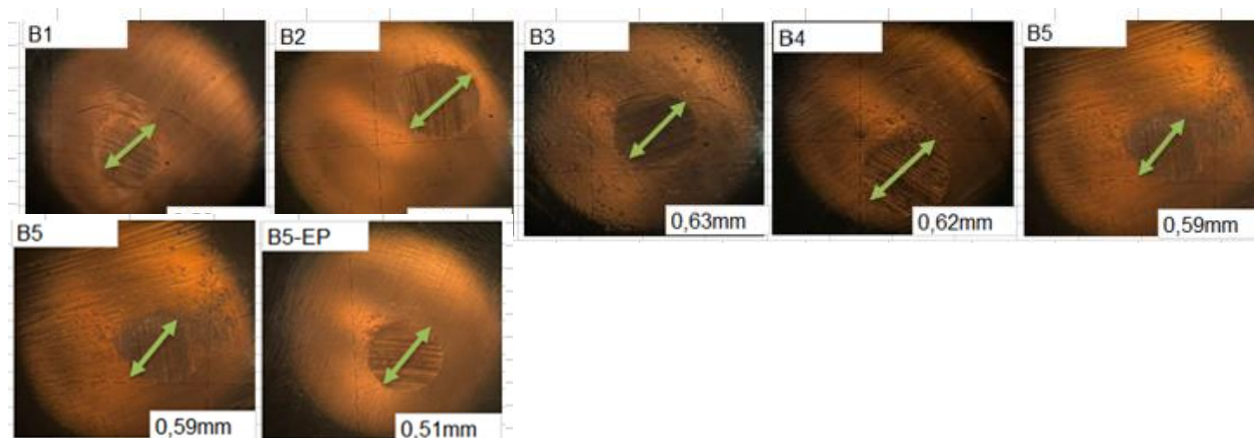


Figure 17. 4 ball wear scar visuals of NLGI 2 grade lithium soap formulations

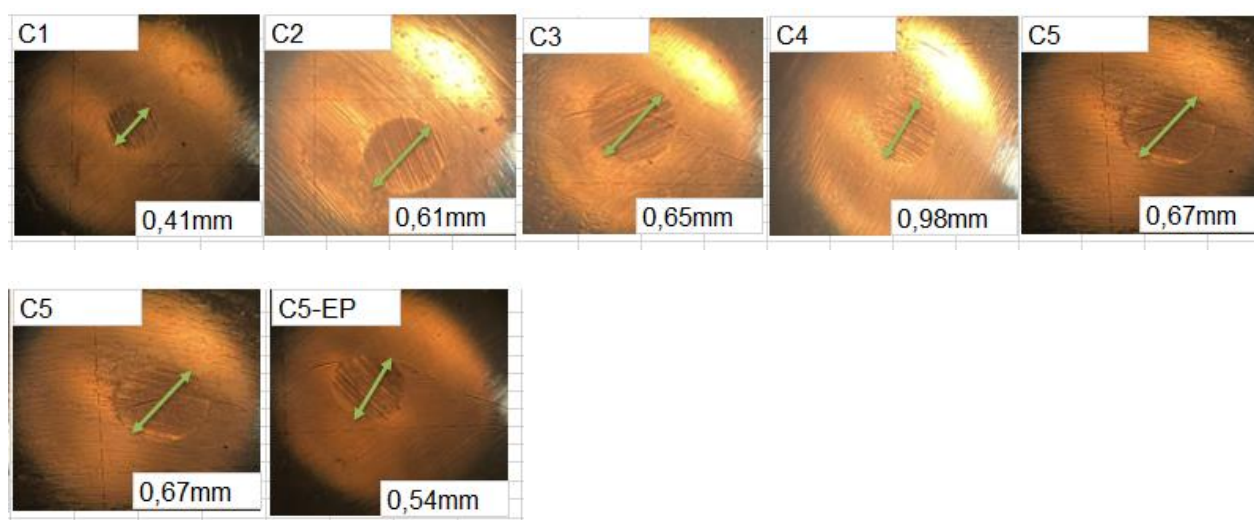


Figure 18. 4 ball wear scar visuals of NLGI 00 grade lithium soap formulations

Four ball weld load test results of different NLGI grade grease formulations have been shown in figure 19.

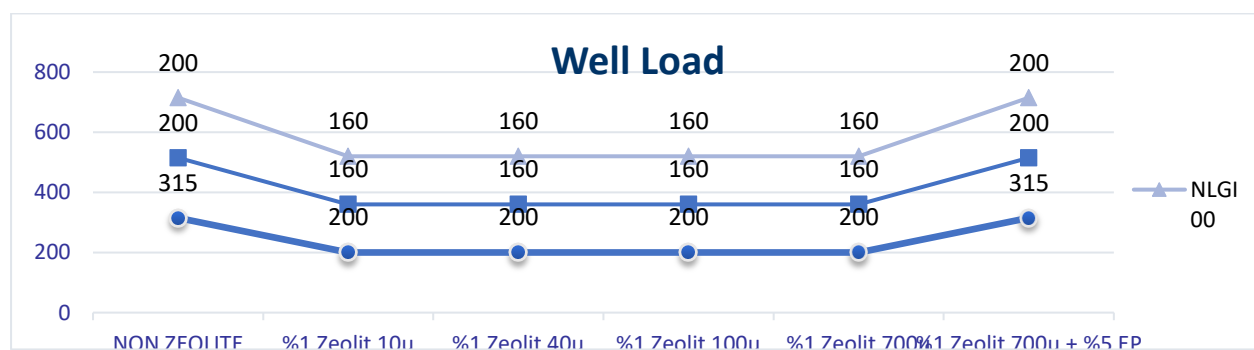


Figure 19. Four ball weld load test results of grease formulations

Water washout test results of different NLGI grade grease formulations have been shown in figure 20.

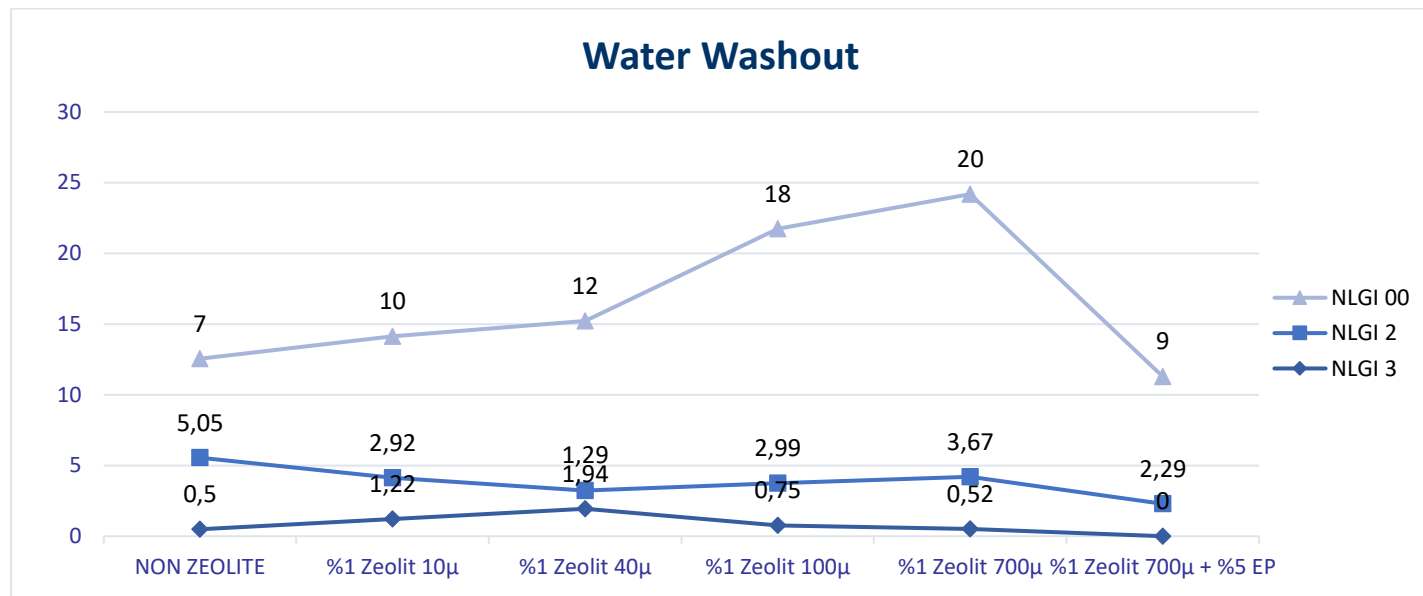


Figure 20. Water washout test results of grease formulations

Water spray off test results of different NLGI grade grease formulations have been shown in figure 21.

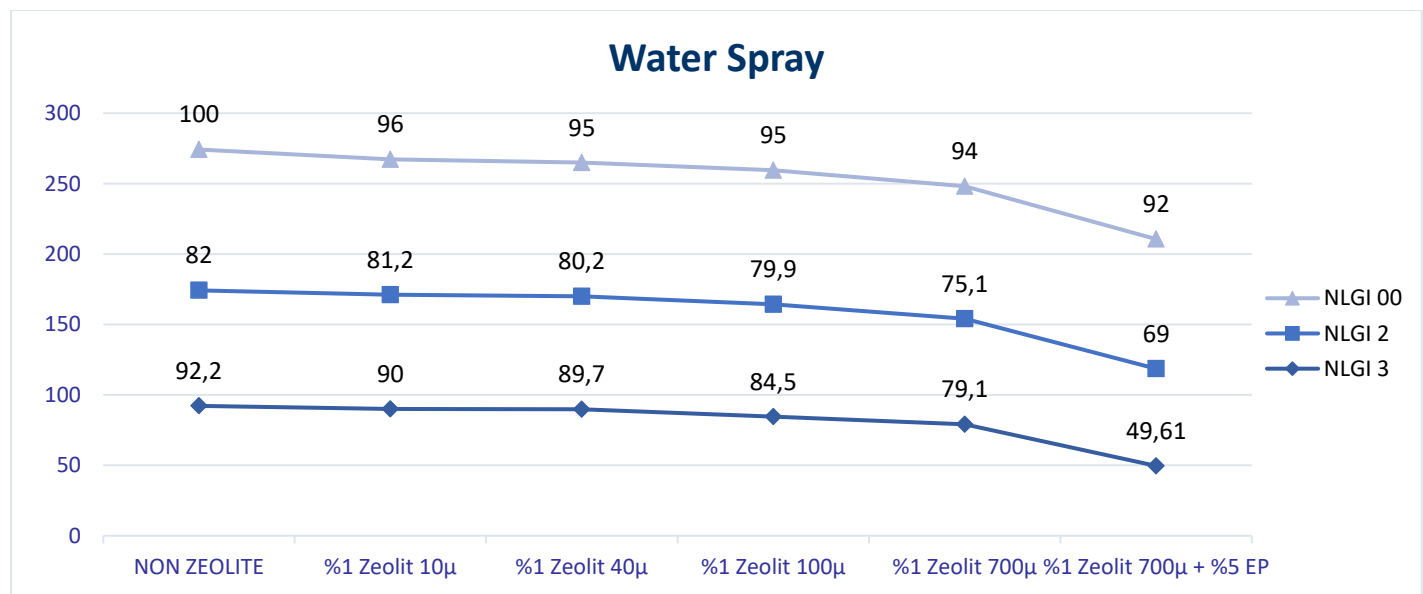


Figure 21. Water spray off test results of grease formulations

3. DISCUSSION

It has been shown that 1 % ratio of clinoptilolite zeolites is the optimum ratio for usage in lithium soap greases.

Different sizes of clinoptilolite zeolites are not significantly affected to the visual appearances of NLGI 00, NLGI 2 and NLGI 3 grades lithium soap greases.

Penetration values of greases have been effected by different particle sizes but NLGI grades did not change.

Dropping point values of different grade greases with different size clinoptilolite zeolites changed. But reported changes in results could commented like between reproducibility area in the standard test method.

According to load carrying analysis results;

Wear scar analysis results of NLGI 00, NLGI 2 and NLGI 3 grade lithium grease increased with addition of zeolites. According to the test results it has been seen that addition of a commercial extreme pressure additive package could eliminate significantly the wear scar increase with zeolite addition. It has been also observed that smaller particle size of zeolites tend to increase wear scar of lithium based greases. This phenomenon could attributed the higher surface area of smaller particle sized zeolites. Four ball weld load test results were compatible with this results. Weld load of grease is one grade higher than grease with zeolite. According to the test results it has been shown that addition of a commercial extreme pressure additive package could eliminate significantly the weld load decrease with zeolite addition. Increasing wear scar and decreasing weld load performance characteristics could be attributed to the small solid structural characteristics of zeolites. Because of this structure zeolite particles could harm the surface without extreme pressure additives.

According to test results did not change significantly for NLGI 2 and NLGI 3 grade greases. Despite that is has been reported that water washout test results increased with increasing zeolite sizes in NLGI 00 grade lithium greases. This phenomenon could be attributed to the very thin and low ratio of soap of this kind of low consistency formulations. This could be commented as zeolite usage to improve water resistance properties lower consistency level grade lithium greases could not an appropriate choice.

According to water spray off test results it has been reported that increasing zeolite particle size effected better to the water resistance performance of all three grade lithium soap greases. Additionally, according to these results it has been seen that clinoptilolite type zeolites and commercial extreme pressure additives shows synergistic performance on both water washout and water spray off performance results.

4. FINDINGS

In this study all blends, reactions and analysis have been performed in Petrol Ofisi Group Technology Center (POTEM) Laboratory. All supplies that used in this study produced by Petrol Ofisi Group. We have been divided the experimental design onto two steps in this study.

At the step 1; we have been investigated the optimum particle size for usage in different grades of lithium soap greases.

At the step 2; we have been investigated the final product performance characteristics with using extreme pressure additive package beside clinoptilolite type zeolites.

According to the results of step 1;

At our previous study we have been reported that 1 % usage of clinoptilolite type zeolites is the optimum ratio to improve the water resistance properties of lithium soap greases which have been published by Sevdâ Şahan et al [16].

NLGI 00, NLGI 2 and NLGI 3 grade lithium soap greases have been used in this study.

According to visual appearance examinations addition of clinoptilolite type zeolites did not effect significantly on the color and visual appearance of greases. Changing particle size of zeolites did not affected significantly on the visual appearances of NLGI 00, NLGI 2 and NLGI 3 greases.

NLGI 3 grade lithium soap grease;

At step 1:

It has been seen that penetration value increase with increasing zeolite size. Despite that NLGI number of grease samples did not change.

It has been seen that dropping point of the grease did not change significantly with different sized chlinoptilolite zeolites.

According to analysis results four ball wear scar of NLGI 3 grade lithium soap grease increased with addition of zeolites. Wear scar sizes were higher with 10 μm and 40 μm sized zeolites than 100 μm and 700 μm sized zeolites.

It has been seen that water washout test results did not change significantly. Changes in water washout test results in between repeatability and reproducibility area of the standard test method.

According to water spray off test results we have been reported that water spray off performance of calcium soap NLGI 3 grade greases improved about 2,5 % ratio with 10 μm and 40 μm sized zeolites, about 8 % ratio with 100 μm sized zeolites and about 8 % ratio with 700 μm sized zeolites.

At step 2:

It has been seen that penetration value increase with addition of EP additive package. Despite that NLGI number of grease samples did not change.

It has been seen that dropping point of the grease did not change significantly with addition EP additive package. Reported changes in results could be commented like between reproducibility area in the standard test method.

According to analysis results four ball wear scar of NLGI 3 grade lithium soap grease showed small decrease with addition of EP additive package. Four ball weld load of grease is reported as two grade higher.

It has been seen that water washout test results did not change significantly. Changes in water washout test results in between repeatability and reproducibility area of the standard test method.

According to water spray off test results we have been reported that water spray off performance of calcium soap NLGI 3 grade greases improved about 30 % ratio with 700 μm sized zeolites. It has been seen that EP additive package and zeolites have synergistic effect in water spray off performance.

NLGI 2 grade lithium soap grease;

At step 1:

It has been seen that penetration value increase with increasing zeolite size. Despite that NLGI number of grease samples did not change.

It has been seen that dropping point of the grease did not change significantly with different sized chlinoptilolite zeolites.

According to analysis results four ball wear scar of NLGI 2 grade lithium soap grease increased with addition of zeolites. Wear scar size test results were similar in between reproducibility interval of the standard test method.

It has been seen that water washout test results of greases with 10 μm and 40 μm sized zeolites improved about 2 % and 4 % ratios.

According to water spray off test results we have been reported that water spray off performance of calcium soap NLGI 2 grade greases improved about 2,5 % ratio with 10 μm and 40 μm sized zeolites, about 8 % ratio with 100 μm sized zeolites and about 8 % ratio with 700 μm sized zeolites.

At step 2:

It has been seen that penetration value increase with addition of EP additive package. Despite that NLGI number of grease samples did not change.

It has been seen that dropping point of the grease did not change significantly with addition EP additive package. Reported changes in results could commented like between reproducibility area in the standard test method.

According to analysis results four ball wear scar of NLGI 2 grade lithium soap grease showed small decrease with addition of EP additive package. Four ball weld load of grease is reported as one grade higher.

It has been seen that water washout test results did not change significantly. Changes in water washout test results in between repeatability and reproducibility area of the standard test method.

According to water spray off test results we have been reported that water spray off performance of calcium soap NLGI 2 grade greases improved about 5 % ratio with 700 μm sized zeolites. It has been seen that EP additive package and zeolites have synergistic effect in water spray off performance.

NLGI 00 grade lithium soap grease;

At step 1:

It has been seen that penetration value increase with increasing zeolite size. Despite that NLGI number of grease samples did not change.

It has been seen that dropping point of the grease did not change significantly with different sized clinoptilolite zeolites.

According to analysis results four ball wear scar of NLGI 00 grade lithium soap grease increased with addition of zeolites. Weld load of grease is one grade higher than grease with zeolite.

It has been seen that water washout test results of greases with 10 μm sized zeolites increased about 2 % ratio, with 40 μm sized zeolites increased about 8 % ratio, with 100 μm sized zeolites increased about 10 % ratio and with 700 μm sized zeolites increased about 12 % ratio. Despite that, it has been seen that water spray off test results of greases with 10 μm sized zeolites increased about 4 % ratio, with 40 μm sized zeolites increased about 5 % ratio, with 100 μm sized zeolites increased about 5 % ratio and with 700 μm sized zeolites increased about 6 % ratio.

At step 2:

It has been seen that penetration value increase with addition of EP additive package. Despite that NLGI number of grease samples did not change.

It has been seen that dropping point of the grease did not change significantly with addition EP additive package. Reported changes in results could commented like between reproducibility area in the standard test method.

According to analysis results four ball wear scar of NLGI 00 grade lithium soap grease showed small decrease with addition of EP additive package. Four ball weld load of grease is reported as one grade higher.

It has been seen that water washout test results improved about 11% ratio with 700 μm sized zeolites and with addition of EP additive package.

According to water spray off test results we have been reported that water spray off performance of calcium soap NLGI 00 grade greases improved about 2 % ratio with 700 μm sized zeolites. It has been seen that EP additive package and zeolites have synergistic effect in water spray off performance.

5. CONCLUSION

As a conclusion;

Usage of clinoptilolite type zeolite could be an alternative to usage of traditional polymeric water resistance additives in greases.

Different particle sizes of zeolites affect differently on performance characteristics of greases.

Zeolites could deteriorate the extreme pressure performance characteristics of greases. Despite that addition of a commercial extreme pressure additive could eliminate this deterioration and synergistic effect of zeolites and extreme pressure additives on performance characteristics of lithium greases have been reported.

Performance increasing effect of zeolite particles could not be seen with lower NLGI grade greases like NLGI 00 grade because of extremely lower consistency and more liquid like natures of these products.

ACKNOWLEDGEMENTS

All materials and methods supplied by Petrol Ofisi Group A.Ş. and all study applied on Petrol Ofisi Technology Center (POTEM).

REFERENCES

- [1]. E. S. Forbes, Antiwear and Extreme Pressure Additives for Lubricants, TRIBOLOGY August 1970
- [2]. Takalapally Sunil; Meda Sandeep; Rapolu Kumaraswami; Aitha Shravan, V A CRITICAL REVIEW ON SOLID LUBRICANTS. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 7, Issue 5, September–October 2016, pp.193–199.
- [3]. Jeffrey R. Lince, Effective Application of Solid Lubricants in Spacecraft Mechanisms. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Space Tribology Consulting, Culver City, CA 90232, b Published: 10 July 2020.
- [4]. A. MAMMEN; C.V. AGARWAL; V.K. WRMA, Wear Reduction using some Extreme Pressure Lubricant Additives and their Tribological Studies A version of this paper was first presented at the Technical Academy Esslingen, in the International Colloquium.
- [5]. Krešimir Pavelić; Mirko Hadžija; Ljiljana Bedrica; Jasminka Pavelic; Ivan –Dikić; Maša Katić; Marijeta Kralj; Maja Herak Bosnar; Sanja Kapitanović; Marija Poljak-Blaži; Simun Križanac; Ranko Stojković; Mislav Jurin; Boris Subotić; Miroslav Čolić, Natural zeolite clinoptilolite: new adjuvant in anticancer therapy. 24 January 2001, Springer-Verlag 2001.
- [6]. M. Rehačková; S. Čuvanova; M. Dzivač; J. Rimař; Z. Gavalová, Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science 8 (2004) 397–404.
- [7]. Andrea Mastinu; Amit Kumar; Giuseppina Maccarinelli; Sara Anna Bonini; Marika Premoli; Francesca Aria; Alessandra Gianoncelli; Maurizio Memo, Zeolite Clinoptilolite: Therapeutic Virtues of an Ancient Mineral, Molecules 2019, 24, 1517
- [8]. Sandra Kraljević Pavelić; Jasmina Simović Medica; Darko Gumbarević; Ana Filošević; Nataša Pržulj; Krešimir Pavelić, Critical Review on Zeolite Clinoptilolite Safety and Medical Applications in vivo. Critical Review on Zeolite Clinoptilolite Safety and Medical Applications in vivo. Front. Pharmacol. 9:1350, (2018), doi:10.3389/fphar.2018.01350.
- [9]. A. R. DEMIRKIRAN; M. A. FULLEN; C. D. WILLIAMS, COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PHYSICO-CHEMICAL AND OIL ADSORPTION CHARACTERISTICS OF CLINOPTILOLITES FROM TURKEY AND THE USA. Oxidation Communications 39, No 1-II, 787–807 (2016).
- [10]. Hesham M. Ibrahim; Abdulaziz G. Alghamdi, Effect of the Particle Size of Clinoptilolite Zeolite on Water Content and Soil Water Storage in a Loamy Sand Soil. Content and Soil Water Storage in a Loamy Sand Soil. Water 2021, 13, 607, <https://doi.org/10.3390/w13050607>.
- [11]. Vinay Kumar Jha; Shigeo Hayashi, Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH₄⁺ retention capacity. Journal of Hazardous Materials 169 (2009) 29–35.

- [12]. S. Leung; S. Barrington; X. Zhao; B. El-Husseini, Effect of particle size on physio-chemical properties of clinoptilolite as feed additive . *Microporous and Mesoporous Materials* 95 (2006) 48–56, 21 June 2006.
- [13]. NABIOLLAH MANSOURI; NAVID RIKHTEGAR; HOMAYON AHMAD PANAHİ; FARIDEH ATABI; BEHROUZ KARIMI SHAHRAKI; POROSITY, CHARACTERIZATION AND STRUCTURAL PROPERTIES OF NATURAL ZEOLITE – CLINOPTILOLITE – AS A SORBENT . *Environment Protection Engineering*, Vol. 39, No:1, DOI: 10.5277/EPE130111.
- [14]. He, Z.L.; Calvert, D.V.; Alva, A.K.; Li, Y.; Banks, D.J. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant Soil* 2002, 247, 253–260. [CrossRef]
- [15]. Bigelow, C.A.; Bowman, D.C.; Cassel, D.; Rufty, T.W. Creeping Bentgrass Response to Inorganic Soil Amendments and Mechanically Induced Subsurface Drainage and Aeration. *Crop. Sci.* 2001, 41, 797–805. [CrossRef]
- [16]. Sevda Şahan, Aleyna Gökçe, Semih Koç, Emre Onan, Ece Korkut, & Sena Ezgi Selçuk. (2023). Investigation Of Usage Of Zeolite In Lubrication Industry. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8200521>
- [17]. M. C ulfaz, M. Yag ız, *Separation and Purification Technology* 37 (2004) 93.
- [18]. V. Y. NIKOLINA, L. L. KNYSH: Clinoptilolite. *Proc. Symp. Probl. Clinoptilolite Stud. Appl. Tbilisi*, 1974, 188–194.
- [19]. A. DEMİR, A. GUNAY, E. DEBIK: Ammonium Removal from Aqueous Solution by Ion-exchange Using Packed Bed Natural Zeolite. *Water SA*, 28 (3), 329 (2002).

UNDERSTANDING EVOLUTIONARY RELATIONSHIPS AND ANALYSIS METHODS THROUGH MEGA SOFTWARE

Gülşah KEKLİK

gulsahkeklk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1775-2773>

Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Division of Biometry and Genetics, Adana, Türkiye

ABSTRACT: In recent years, genome sequencing has been a highly effective tool to investigate a wide range of biological systems. Numerous steps for the interpretation of raw sequence data require comparative analysis of molecular sequences for each time period to reveal functional genome differences. Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA), a user-friendly software developed to analyse DNA and protein sequence data, provides a set of tools to perform these analyses. MEGA enables a wide range of investigations such as combining sequence alignments, constructing evolutionary trees, estimating genetic distances and variations, and uncovering ancestral sequences. There are some bioinformatics methods to estimate the past knowledge of organisms from their current knowledge. The phylogenetic tree is similar to the evolutionary tree in terms of relationships between biological entities, and the relationships between various species, organisms, genes, etc. in the phylogenetic tree structure are shown by dendograms. Analyses can be performed on nucleic acid, protein, DNA and RNA sequences. There are basically two trees: rooted and unrooted phylogenetic trees. The root is represented by the rooted phylogenetic tree type and is not represented in the unrooted tree, but it can be considered as a root tree because some characters are mapped to the data used. The common ancestor is represented by the root of the phylogenetic tree and the branches of the nodes in the tree represent recent biological information. MEGA software was used to estimate the relationships shown in this figure. In this study, phylogenetic tree construction and evolutionary roots detection and analysis methods were investigated through MEGA 11 software programme on a working file containing data of 10 strains (KC710304.1, KC710305.1, KC710306.1, KC710307.1, KC710308.1, KC710309.1, KC710310.1, KC710311.1, KC710312.1 and KC710313.1) of *Thermoplasma acidophilum* bacteria obtained from NCBI data bank.

KEYWORDS: MEGA Software, Phylogenetic Tree, Nucleic Acid Sequences, Protein Sequences

Date of Submission: 20.11.2023

Date of acceptance: 25.12.2023

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446714>

1. INTRODUCTION

Understanding the phylogenetic relationships among species is crucial for many studies in biology. An accurate phylogenetic tree is the basis for understanding major transitions in evolution. A well-structured phylogenetic tree is crucial for determining the origin and molecular adaptation of new genes and for reconstructing demographic changes in recently diverged species. Despite the presence of more data than ever before and the use of powerful analysis methods, many challenges exist for reliable tree construction. In order to decrease or eliminate these difficulties, it is an important step to be aware of the existence of various software programmes. being able to use these programmes is useful for understanding evolutionary relationships and correctly interpreting the output of analyses. MEGA software is just one of the programmes used to understand evolutionary history and relationships (Kapli et al., 2020).

1.1. MEGA Software

MEGA is a software programme that enables research such as combining sequence alignments, constructing evolutionary tree structures, estimating genetic distances and variation, and uncovering ancestral sequences. MEGA software is maturing day by day to include a large collection of methods and tools of computational molecular evolution. With the latest update, the software has become supportive and interactive for large datasets, which will further increase the quality of results and the speed of biological discoveries over time (Hall, 2013; Tamura et al., 2021).

The following figure shows the tree explorer obtained from the MEGA 11 software programme (Figure 1).

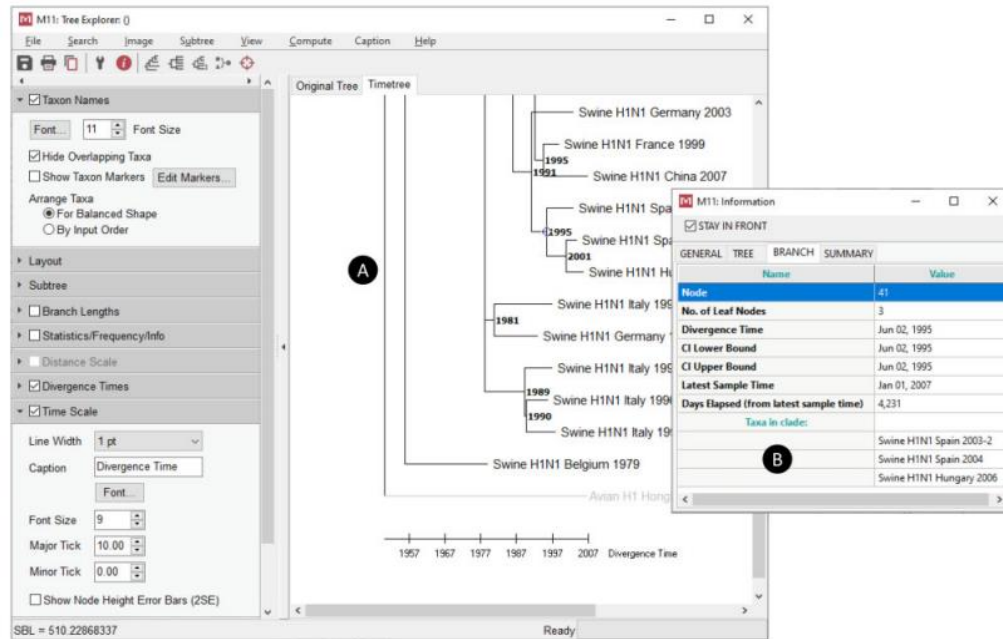


Figure 1. MEGA's tree explorer screenshot

MEGA's tree explorer (A) is a feature-rich, versatile phylogeny viewer that provides many interactive exploration and customisation possibilities. In addition to an updated toolbar, there are now options to automatically collapse nodes containing clusters of taxa belonging to the same group, based on user-specified cluster size or branch length difference. The tree information box (B) for time trees has been updated to show branch- and node-specific information (Tamura et al., 2021).

Over a long period of time, the scope and usefulness of MEGA has grown with the addition of new methods, tools and interfaces, which has resulted in a modern and integrated software for comparative sequence analysis (Caspermeyer, 2018).

1.2. Phylogenetic Tree Structure and Terminology

Phylogenies, which aim to reveal the evolutionary ancestor-descendant relationship among all groups of organisms, expressing that these organisms are related to each other by evolving from a common ancestor, that is, they have a single ancestor, are expressed as phylogenetic tree structure, evolutionary tree or tree of life (Sarıçam and Müştak, 2015; Singh, 2015; Woese et al., 1985; Xiong, 2006).

Taxon

Each of the units (family, class, genus, order, order, branch) in a hierarchical order from the genus to the species is called a taxon (Sarıçam and Müştak, 2015).

Ancestry

The branch that expresses the ancestor-descendant relationship and extends to the monophyletic group is called lineage (Sarıçam and Müştak, 2015).

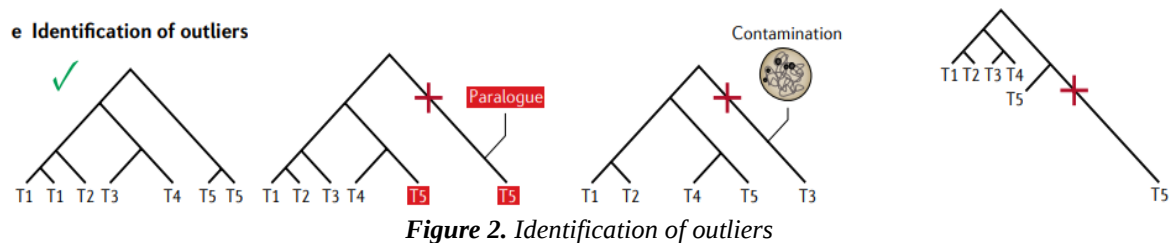
Node Point

Each taxonomic unit formed by the intersection of two neighboring units is called a node (Sarıçam and Müştak, 2015).

Outgroup

A unit that is sharply separated from all other units and does not have a close relationship with others is called an outgroup (Kapli et al., 2020; Sarıçam and Müştak, 2015).

Figure 2 shows an example of a drawing for the identification of outgroups.



e. Identification of outgroups: Multiple Sequence Alignment (MSA) can generate the phylogenetic tree for putative orthologues, which can be used to identify other problematic sequences indicated by long branches (Kapli et al., 2020).

Dendrogram

The simplest representation, also called a cluster tree, which is formed by combining the Greek words dendro (tree) and gramma (drawing), is expressed as a dendrogram.

1.2.1. Unrooted and Rooted Trees

Phylogenetic trees can be constructed in rooted and unrooted forms. Unrooted trees do not have an evolutionary direction because their common ancestors are not known, although the relationship of each unit with the other unit is observed. Rooted trees, on the other hand, have an evolutionary direction because they originate from a common ancestor and allow more information to be obtained compared to unrooted phylogenetic trees (Xiong, 2006).

Below, a visualisation of the unrooted and rooted phylogenetic tree structure is given (Figure 3).

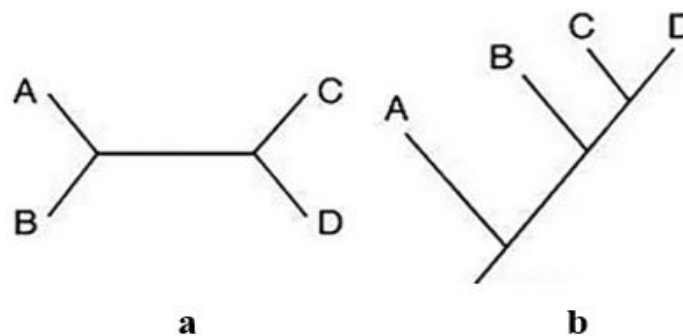


Figure 3. Unrooted (a) and rooted phylogenetic tree (b)

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, evolutionary analyses of the microorganism *T. acidophilum*, an archaeon first isolated from a self-heating coal waste pile at 2 pH and 59 °C (Ruepp et al., 2000), were carried out using MEGA 11 software programme. Data obtained from 10 strains (KC710304.1, KC710305.1, KC710306.1,...,KC710312.1 and KC710313.1) of the bacterium were obtained from the NCBI database. Evolutionary analysis and evolutionary history were generated using the Maximum Likelihood (ML) method and the General Time Reversible (GTR) model (Nei and Kumar, 2000; Tamura et al., 2021). A bootstrap consensus tree extracted from 50 replicates was constructed to

represent the evolutionary history of the taxa analysed (Felsenstein, 1985). Branches corresponding to sections replicated in fewer than 50 bootstrap replicates were collapsed. The initial tree(s) for heuristic search were obtained by applying the Neighbour-Joining (NJ) method to a matrix of pairwise distances estimated using the Maximum Composite Likelihood (MCL) approach. The analysis included 10 nucleic acid sequences with codon positions 1, 2, 3 and non-coding, and the final dataset contained a total of 602 positions.

2.1. Maximum Likelihood Method

ML, one of the most widely used statistical estimation methods, is known as Fisher's invention. It is a powerful and widely used tool for obtaining the best estimate of a parameter from observed data, evaluating the quality of a model and making decisions based on data (Richards, 1961). To understand Maximum Likelihood, it is necessary to know what likelihood is. Likelihood is the probability of the observation of the data considering a set of parameter values. Maximum Likelihood is a method of obtaining parameter values μ and σ that maximise the likelihood of the observed data. The likelihood function is as given below:

$$L(\mu, \sigma | data) = (1 / (\sigma * \text{sqrt}(2\pi)))^n * \exp(-1/2 * \sum((x_i - \mu) / \sigma)^2) \quad (1)$$

n is the number of data points, x_i is the i -th data point and $\sum$ is the sum of all data points (Anonymous 1).

2.2. General Time Reversible Model

GTR model, first described by Simon Tavaré in 1986, is the most general possible neutral, independent, finite domain, time reversible model. Many patterns of beneficial substitution are time-reversible. In the analysis of real biological data, there is often access to sequences of present-day species rather than access to sequences of ancestral species. When a model is time-reversible, it does not matter which species is ancestral. Instead, the phylogenetic tree can be rooted using any species. Each of the species will eventually descend from each other with the same probability (Tavaré, 1986).

A model can be said to be time reversible if and only if it has the following properties:

$$\pi_i Q_{ij} = \pi_j Q_{ji} \quad (2)$$

2.3. Neighbour-Joining Method

In bioinformatics, N-J is a bottom-up agglomerative clustering method for the construction of phylogenetic trees created by Naruya Saitou and Masatoshi Nei in 1987 (Saitou and Nei, 1987). N-J takes as input a distance matrix specifying the distance between pairs of taxa. The algorithm starts with a completely unsolved tree whose topology corresponds to a star network and repeats the following steps until all branch lengths are known:

1. Based on the given distance matrix, calculate a matrix Q ,
2. For the smallest $Q(i, j)$, find a pair of different taxa i and j ($i \neq j$). Create a new node connecting taxa i and j and connect the new node to the centroid node.
3. Calculate the distance of each taxon in the pair to that new node.
4. Calculate the distance of each of the taxa out of this couple to the new node.
5. Replace the merged neighbour pair with the new node and reinitialise that algorithm by using the distances calculated in an earlier step.

With n taxa, the $n \times n$ matrix Q is calculated as follows:

$$Q(i, j) = (n - 2)d(i, j) - \sum_{k=1}^n d(i, k) - \sum_{k=1}^n d(j, k) \quad (3)$$

2.4. Maximum Composite Likelihood Approach

The composite likelihood is an inference function obtained by multiplying a collection of component likelihoods. Each component is a conditional or marginal density, and the result of the derivative of the composite log-likelihood is an unbiased prediction equation. Assume an m -dimensional vector random variable Y , having the probability density function $f(y; Q)$ for several uncertain p -dimensional parameter vector $Q \in \Theta$. Show $\{A_1, \dots, A_K\}$ a set of the marginal or contingent events which are related likelihoods $\mathcal{L}_k(Q; y) \propto f(y \in A_k; Q)$.

$$\mathcal{L}_C(Q; y) = \prod_{k=1}^K \mathcal{L}_k(Q; y)^{w_k} \quad (4)$$

Where w_k are the non-negative weights to be selected and this can be disregarded if all weights are equal (Varin et al., 2011).

3. RESULTS

The first analyses of the study started by reading the nucleic acid sequences obtained from 10 strains of *T. acidophilum* bacteria in MEGA 11 software programme and making them ready for alignment.

In the figure below, the alignments of the nucleic acid sequences are shown in the screenshot taken from the programme (Figure 4).



Figure 4. Nucleic acid sequence alignment

In Figure 5, information on nucleotide compositions is given in the screenshot taken from the MEGA 11 software programme. It was observed that the highest and lowest base numbers belonged to microorganisms with GenBank accession numbers KC710312.1 and KC710305.1, correspondingly.

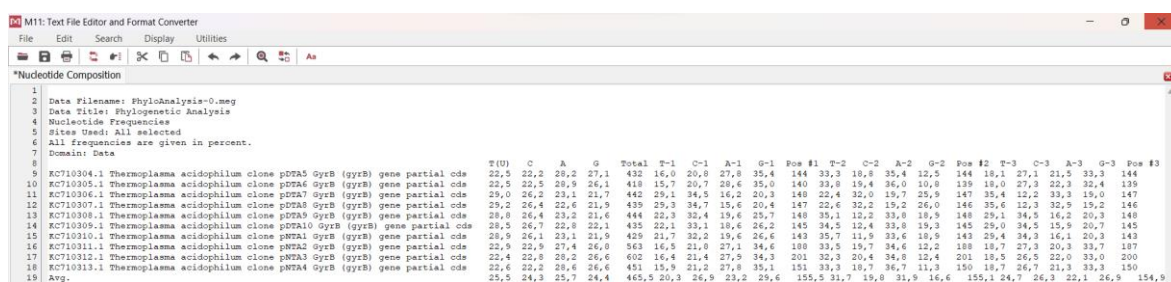


Figure 5. Nucleotide compositions

Figure 6 shows the "original tree" image of the nucleic acid sequences. As a result of the taxonomic classification, which is basically divided into two main groups, it is clearly seen that microorganisms with GenBank accession numbers KC710308.1 and KC710309.1, KC710305.1 and KC710313.1, KC710306.1 and KC710307.1, KC710310.1 and KC710311.1 are close to each other in binary groups. It is observed that microorganisms with GenBank accession numbers KC710304.1 and KC710312.1 are outgroups.



Figure 6. Original tree view

Figure 7 shows the "Bootstrap consensus tree" image. The conclusions made for Figure 6 are also valid for Figure 7.

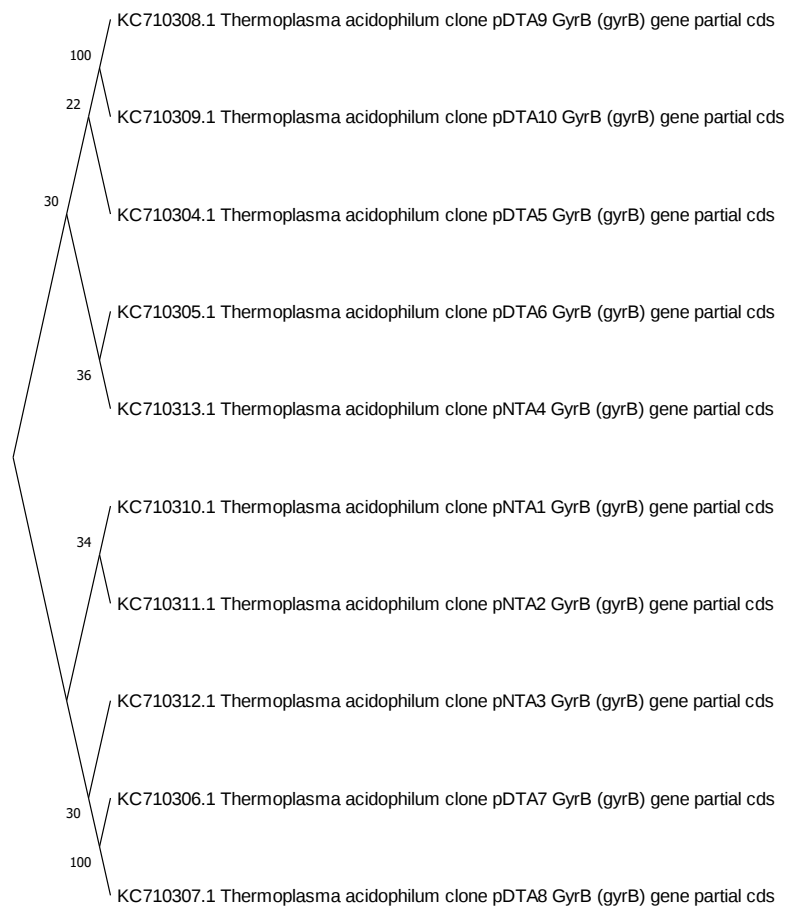


Figure 7. Bootstrap consensus tree image

Figure 8 shows the result screen with the values of pairwise distances. Looking at the result screen, it was observed that the distance between microorganisms with GenBank accession numbers KC710305.1 and KC710312.1 was approximately 4.21 and this value was the highest value observed

on the result screen. The lowest distance was between KC710306.1 and KC710307.1 and microorganisms with GenBank accession numbers KC710308.1 and KC710309.1 and this distance was observed as 0.00.

M11: Pairwise Distances (PhyloAnalysis-0.meg)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. KC710304.1 Thermoplasma acidophilum clone pDTA5 GyrB (gyrB) gene partial cds		2.2125426078	3.4967159132	3.4967159132	2.3551022933	2.3551022933	2.5433027030	3.0438348705	3.9919581925	2.0378026321
2. KC710305.1 Thermoplasma acidophilum clone pDTA6 GyrB (gyrB) gene partial cds	2.2752140789		2.1675326032	2.1675326032	3.3728782100	3.3728782100	4.1732303906	3.2771595268	4.2072302025	1.6958831298
3. KC710306.1 Thermoplasma acidophilum clone pDTA7 GyrB (gyrB) gene partial cds	3.6695876415	2.9020562824		0.0000000000	2.1698221712	2.1698221712	3.900507990	2.4464534881	2.9471499883	3.3684159483
4. KC710307.1 Thermoplasma acidophilum clone pDTA8 GyrB (gyrB) gene partial cds	3.6695876415	2.9020562824	0.0000000000		2.1698221712	2.1698221712	3.900507990	2.4464534881	2.9471499883	3.3684159483
5. KC710308.1 Thermoplasma acidophilum clone pDTA9 GyrB (gyrB) gene partial cds	1.8016341820	2.9829274919	2.7031051914	2.7031051914		0.0000000000	3.3334848133	2.9509967314	2.3912585317	3.4587448444
6. KC710309.1 Thermoplasma acidophilum clone pDTA10 GyrB (gyrB) gene partial cds	1.8016341820	2.9829274919	2.7031051914	2.7031051914	0.0000000000		3.3334848133	2.9509967314	2.3912585317	3.4587448444
7. KC710310.1 Thermoplasma acidophilum clone pNTA1 GyrB (gyrB) gene partial cds	2.0110086345	4.1411511795	3.7936270527	3.7936270527	4.1389524139	4.1389524139		1.8057006937	3.5128559344	2.3288708284
8. KC710311.1 Thermoplasma acidophilum clone pNTA2 GyrB (gyrB) gene partial cds	2.9256631621	2.2718194190	2.5600813530	2.5600813530	3.5821493512	3.5821493512	1.8643983144		2.8316098640	2.5395714475
9. KC710312.1 Thermoplasma acidophilum clone pNTA3 GyrB (gyrB) gene partial cds	3.0950786469	3.9448220358	2.2465040208	2.2465040208	2.0282854947	2.0282854947	2.1645908026	2.1535143196		3.7921995684
10. KC710313.1 Thermoplasma acidophilum clone pNTA4 GyrB (gyrB) gene partial cds	2.0418410537	1.8996830348	3.3761760889	3.3761760889	2.2016016116	2.2016016116	2.8898238362	2.9107730232	2.8223284388	

Figure 8. Pairwise distances

4. CONCLUSION AND DISCUSSION

Revealing evolutionary relationships is only possible with the correct construction of phylogenetic tree structures. In this direction, it is very important to classify the obtained tree structures in a taxonomic way, to form and interpret the existing internal, external and subgroups. There are other programmes other than MEGA software for phylogenetic tree structure research. Numerous steps are required for the interpretation of raw sequence data and comparative analysis of molecular sequences to reveal genome differences. MEGA, a user-friendly software developed to analyse nucleic acid and protein sequence data, stands out in that it provides a set of tools to perform these analyses.

Within the scope of this study, evolutionary relationships and evolutionary history were investigated by using MEGA 11 software programme. As a result of these investigations; it was observed that microorganisms belonging to accession numbers KC710304.1, KC710305.1, KC710308.1, KC710309.1 and KC710313.1 and accession numbers KC710306.1, KC710307.1, KC710310.1, KC710311.1 and KC710312.1 are related taxa within themselves. There are mainly two main groups and many ingroups.

Many recent studies have shown that MEGA is a commonly used software for identifying evolutionary relationships and ancestral history. “Assessing the Phylogenetic Relationships of *Baliospermum solanifolium* [*B. montanum* (Willd.) Müll. Arg.] in South India through DNA Barcoding (Karthik et al., 2023)”, “Phylogenetics Analysis of Blackwater Fishes in Peat Swamp Forest Using Cytochrome B Gene (Sout et al., 2023)”, “Phylogenetic Analysis of the Partial Sequences of the Env and Tax BLV Genes Reveals the Presence of Genotypes 1 and 3 in Dairy Herds of Antioquia, Colombia (Úsuga-Monroy et al., 2023)” and “Molecular Characterization and Phylogenetic Analysis of Newcastle Disease Viruses Isolated in Southern Angola, 2016-2018 (Henriques et al., 2013)” are several examples of these studies.

By looking at the original or Bootstrap consensus tree images, it is easier to quickly identify closely related and distantly related groups. It is important to confirm the results with various distance calculations in order to prevent incomplete or incorrect evaluations in bioinformatics studies. As with many software programmes, new features and analysis methods are added to MEGA every day. In order to analyse the researches with more effective methods and to create more qualified analysis outputs, following the current versions of the software and installing them on computers will be a useful way to prevent problems that will occur in the functioning of *in silico* studies.

The aim of this study is to construct and interpret evolutionary trees and genetic distances based on data obtained from strains of the bacterium *T. acidophilum*. Undoubtedly, there has been a recent awareness of the use of bioinformatics tools. The study is also very important for researchers to use bioinformatics tools to understand evolutionary relationships and to acquire good analytical skills by understanding the statistical methods used in this field. The importance of *in silico* studies in bioinformatics has increased due to some important reasons such as experimental methods taking a

long time and being quite costly. In the coming years, there will be a need for a large number of studies involving phylogeny research and many researchers who will build their careers in bioinformatics to fill this gap.

REFERENCES

- [1]. Anonymous 1: <https://medium.com/techdevathe/maximum-likelihood-36256cebc8a0> [Last access date: 14.12.2023].
- [2]. Caspermeyer, J. (2018), MEGA Software Celebrates Silver Anniversary, *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1558–1560.
- [3]. Felsenstein, J. (1985), Confidence Limits on Phylogenies: An Approach Using The Bootstrap, *Evolution*, 39(4), 783-791.
- [4]. Hall, B. G. (2013), Building Phylogenetic Trees From Molecular Data with MEGA, *Molecular Biology and Evolution*, 30(5), 1229-1235.
- [5]. Henriques, A. M., Neto, A., Fagulha, T., Almeida, V., and Fevereiro, M. (2023), Molecular Characterization and Phylogenetic Analysis of Newcastle Disease Viruses Isolated in Southern Angola, 2016-2018, *Infection, Genetics and Evolution*, 113, 105481.
- [6]. Kapli, P., Yang, Z., and Telford, M. J. (2020), Phylogenetic Tree Building in The Genomic Age, *Nature Reviews Genetics*, 21(7), 428-444.
- [7]. Karthik, S., Basker, S., Dheeban Shankar, P., Senthil Kumar, N., Sarathbabu, S., and Saravanan, K. Assessing the Phylogenetic Relationships of *Baliospermum solanifolium* [B. montanum (Willd.) Müll. Arg.] in South India through DNA Barcoding.
- [8]. Nei, M., and Kumar, S. (2000), *Molecular Evolution and Phylogenetics*, Oxford University Press, New York.
- [9]. Richards, F. S. (1961), A Method of Maximum-Likelihood Estimation, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 23(2), 469-475.
- [10]. Ruepp, A., Graml, W., Santos-Martinez, M. L., Koretke, K. K., Volker, C., Mewes, H. W., ... , Baumeister, W. (2000), The Genome Sequence of The Thermoacidophilic Scavenger *Thermoplasma Acidophilum*. *Nature*, 407(6803), 508-513.
- [11]. Saitou, N., and Nei, M. (1987), The Neighbor-Joining Method: a New Method for Reconstructing Phylogenetic Trees, *Molecular Biology and Evolution*, 4(4), 406-425.
- [12]. Sarıçam, S., and Müştak, H. K. (2015), Filogenetik Ağaçlandırma Metotları, *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 26(2), 58-64.
- [13]. Singh, G. B. (2015), *Fundamentals of Bioinformatics and Computational Biology*, Cham: Springer International Publishing, 159-170.
- [14]. Sout, N. M., Othman, R., Suliman, N. A., Murgaya, D., Harmin, S. A., and Zan, M. S. M. (2023, June), Phylogenetics Analysis of Blackwater Fishes in Peat Swamp Forest Using Cytochrome B Gene, In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2625, No. 1), AIP Publishing.
- [15]. Tamura, K., Stecher, G., and Kumar, S. (2021), MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11, *Molecular Biology and Evolution*, 38(7), 3022-3027.
- [16]. Tavaré S. (1986), "Some Probabilistic and Statistical Problems in the Analysis of DNA Sequences" (PDF). *Lectures on Mathematics in the Life Sciences*. 17, 57–86.
- [17]. Úsuga-Monroy, C., Díaz, F. J., González-Herrera, L. G., Echeverry-Zuluaga, J. J., and López-Herrera, A. (2023), Phylogenetic Analysis of the Partial Sequences of the *env* and *tax* BLV Genes Reveals the Presence of Genotypes 1 and 3 in Dairy Herds of Antioquia, Colombia, *VirusDisease*, 1-15.
- [18]. Varin, C., Reid, N., and Firth, D. (2011), An overview of composite likelihood methods. *Statistica Sinica*, 5-42.
- [19]. Woese, C. R., Stackebrandt, E., Macke, T. J., and Fox, G. E. (1985), A Phylogenetic Definition of The Major Eubacterial Taxa, *Systematic and Applied Microbiology*, 6(2), 143-151.
- [20]. Xiong, J. (2006), *Essential Bioinformatics*, Cambridge University Press.

METALİK KÖPÜKLER VE UYGULAMA ALANLARI

Şuayip ELDEMİR

suayipeldemirr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1962-9568>

Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ERDEM

oguz.erdem@kku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8094-3222>

Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye

ÖZET: Mühendislik malzemeleri genel olarak; metaller, seramikler, polimerler ve kompozit malzemeler olarak sınıflandırılır. Fakat, günümüz mühendislik malzemeleri, teknik, ekonomik, çevresel ve estetik açıdan bazı uygulamalarda yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizlikleri aşma arayışları her geçen gün araştırmacıları farklı özellikleri olan malzemeler keşfetmeye zorlamaktadır. Metalik köpükler yapısında %75-90 oranında gözenek bulunduran metal ya da alaşımlardan oluşmaktadır. Metalik köpükler diğer metal malzemelere göre daha hafif olmasına karşın hafiflik/mukavemet oranının yüksek olması, darbe ve sarsıntıları iyi sönmüleyebilmesi, yüksek kesme ve kırılma mukavemetleri, ısı ve ses izolasyonu sağlaması ve kimyasal süzme (filtrasyon) özellikleri sebebiyle giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, metalik köpük üretim yöntemleri ve üretim parametreleri (köpürtme süresi, köpürtme sıcaklığı, köpürtücü madde miktarı vb.) hakkında literatürde var olan çalışmalar incelenmiş ve yöntem üzerine detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, metalik köpüklerin günümüz endüstrisindeki uygulama alanları hakkında da kapsamlı açıklamalar yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Metalik Köpükler, Gözenek, Köpürtücü Ajan, Köpürtme Sıcaklığı, Darbe Sönümleyici

METALLIC FOAMS AND ITS APPLICATION AREAS

ABSTRACT: Engineering materials are generally classified as metals, ceramics, polymers and composite materials. However, today's engineering materials are inadequate in some applications in terms of technical, economic, environmental and aesthetic aspects. The quest to overcome these inadequacies forces researchers to discover new materials with different properties every day. Metallic foams consist of metals or alloys with 75-90% porosity in their structure. Although metallic foams are lighter than other metal materials, they are gaining importance due to their high lightness/strength ratio, ability to absorb impacts and shocks well, high shear and rupture strength, heat and sound insulation, and chemical filtration properties. In this study, existing studies in the literature on metallic foam production methods and production parameters (foaming time, foaming temperature, amount of foaming agent, etc.) were examined and detailed information on the method was given. In addition, comprehensive explanations are given about the application areas of metallic foams in today's industry.

KEYWORDS: Metallic Foams, Porosity, Foaming Agent, Foaming Temperature, Shock Absorber

Date of Submission: 01.12.2023

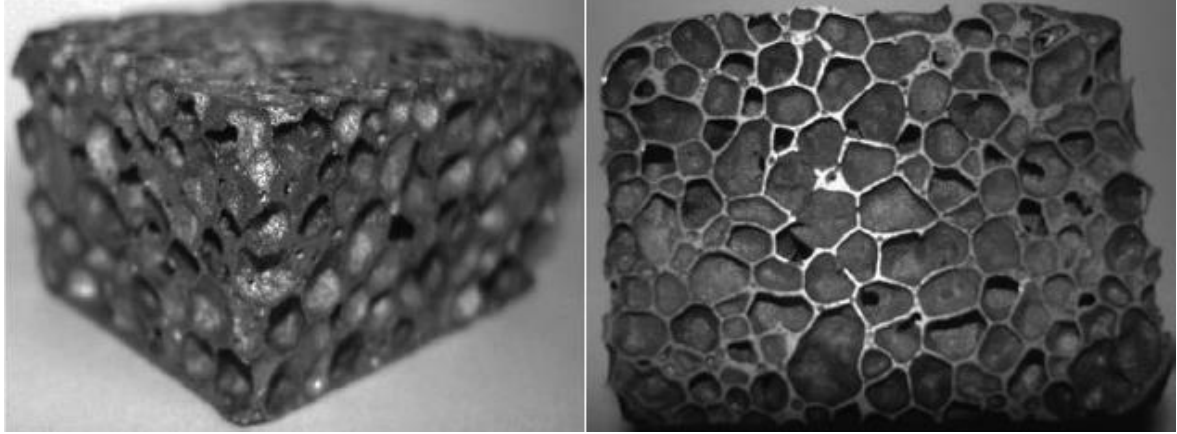
Date of acceptance: 25.12.2023

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10446724>

1.GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca üretim, tüketim ve gelişim artarak devam etmiştir. Bu artış sınırlı olan hammadde kaynaklarını ve bu malzemelerin kısıtlı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yetersizliği ile birleştiğinde bilim insanlarını yeni malzemeler ve üretim teknikleri geliştirmeye sevk etmiştir (Bilhan, 2005). Otomotiv, savunma, biyomedikal, havacılık ve uzay sanayilerinde kullanılmak üzere hafif ve mukavemetli malzemelere ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır (Veale, 2010). Belirtilen sektörlerdeki beklentileri karşılamak için üretim yöntemleri ve yeni malzeme önerileri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Metalik köpükler de bu araştırmalar sonucu ortaya çıkan ürünlerden biridir (Fratzl ve Weinkaner, 2007). Metalik köpüklerin tarihçesine bakıldığında ilk ortaya çıkışları takı parçaları üretmek içindir fakat, ilk resmi adım ise 1925 yılında Fransa'da ilk patentli köpük üretim çalışmasıyla atılmıştır (Secundus), (Ongunyurt, 2019). Metalik köpükler ile ilgili ilk endüstriyel çalışmayı 1948'de Benjamin Sosnick alüminyum ve cıva kullanarak kapalı hücreli metal köpük üretimi üzerine yapmıştır (Davies ve Zhen, 1983). 1960'lı yıllarda Peisker ve Hardy (United Aircraft Şirketi) tarafından köpükleştirici ajanlar ile metal köpük üretimini gerçekleştirmiştir (Ongunyurt, 2019), (Sosnick, 1951).

Günümüzde metalik köpükler; alüminyum (Şekil 1), titanyum, çelik ve nikel bazlı metallerden üretilmekte ve kullanılmaktadır (Ertürk, 2013), (Bram v.d., 2000). Bu alanda literatürde yapılmış birçok çalışma mevcuttur.



Şekil 1. Alüminyum esaslı metalik köpük malzemeler (Amjad, 2001)

Baumeister ve arkadaşları alüminyum köpüklerle ilgili yapmış oldukları çalışmalarında, alüminyum köpüklerin enerji absorbe edici (sönümleyici) olarak kullanılabileceğini keşfetmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında %90 gözenekli yapıya ve 0,4-1 g/cm³ kapalı hücre yoğunluğuna ulaşmayı başarmışlardır (Baumeister v.d., 1997), (Yıldırım, 2017). Benzer şekilde, Wei ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada saf alüminyum ile saf alüminyum matrisin içine NaCl ekleyerek oluşturdukları metalik köpükte enerji sönümleme davranışını incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda ürettikleri metalik köpüğün saf alüminyuma göre üç kat daha fazla sönümleme kapasitesi olduğunu tespit etmişlerdir (Yıldırım, 2017), (Wei v.d., 2002).

Çinici yapmış olduğu çalışmada, farklı parametreler kullanarak alüminyum esaslı metal köpük üretmeyi denemiştir. Üretim yöntemi olarak toz metalürjisi tekniğini kullanarak köpürtme süresi, sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarının metalik köpük üzerine etkisini incelemiştir. Çalışması sonucunda köpürtme süresi, sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarı arttığında gözenek boyutlarının ve lineer gelişme oranının arttığını gözlemlemiştir (Yıldırım, 2017), (Çinici, 2004). Onck ve arkadaşları çalışmalarında, kırılma davranışları açısından açık ve kapalı hücreli alüminyum esaslı metalik köpükleri incelemişlerdir. Çalışmalarında kapalı hücrelerin daha gevrek, açık hücrelerin ise daha sünek olduğunu gözlemlenmiştir. Kapalı hücre köpüklerindeki gevrekliğin hücre duvarındaki mikro yapıların çökmesi sonucunda meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Yıldırım, 2017), (Onck v.d., 2005).

Tunçer yapmış olduğu çalışmada, titanyum esaslı metalik köpükler imal etmiştir. Üretim yöntemi olarak yer tutucu ilavesiyle metalik köpük üretim yöntemi benimsenerek köpüklerin göreceli yoğunluk, iç yapı özellikleri ve basma davranışı gibi özelliklerinin başlangıç toz boyutu, yer tutucu cinsi ve miktar, sinterleme sıcaklığı gibi parametreler ile kontrol edilebildiğini saptamıştır (Tunçer, 2006). Dou ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ürettikleri metalik köpüklerin deformasyon gerilim eğrilerini çıkarmışlar ve enerji absorbe miktarlarını araştırmışlardır. Matris malzeme olarak saf alüminyum ve yer tutucu olarak cenosphere (seramik içi boş küre) kullanılarak 65-120 MPa plastik deformasyon gerilim değeri tespit etmişlerdir. Ayrıca, enerji sönümleme miktarının da %50-70 oranında arttığını belirtmişlerdir (Dou v.d., 2007).

Ergönenç yaptığı çalışmasında, alüminyum köpük içeren sandviç panellerin patlamaya karşı verdiği tepkileri incelemiştir. Deneysel çalışmalardan, üretilen sandviç panellerin aynı ağırlıktaki yekpare malzemeden %50-150 arasında daha yüksek enerji absorbe edebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, 10 kg TNT patlama yükü karşısında 9 cm kalınlığa sahip sandviç yapıdan 6,3 cm ve 7,2 cm kalınlığa sahip alüminyum köpük malzemelerin daha iyi enerji sönümleme yetenekleri olduğunu tespit etmiştir. Yine, bu sandviç yapıda en verimli yüzey malzemesinin de AISI 4340 çeliği olduğunu belirtmiştir (Ergönenç, 2008). Tao ve arkadaşının çalışmasında, alüminyum matrisli köpük üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen köpükler basma testine tabi tutulmuştur. Metalik köpük üretimini infiltrasyon yöntemiyle gerçekleştirmişler ve metalik köpüğün sünekliğinin bariz olarak arttığını, basma dayanımının ise %30 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Üretilen metalik köpüklerin enerji absorbe kapasitesini ise 50 kJ/kg olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir (Tao ve Zhao, 2009). Rajendran ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, metalik köpük ile dolu ezilme kutuları ile boş ezilme kutularının enerji sönümleme

kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Kıyaslama sonucunda darbe sönümleme enerjisinin metalik köpük ile dolu olan üründe çok daha yüksek olduğunu (3,32 kat) tespit etmişlerdir (Rajendran v.d., 2009). Aynı şekilde, Toksoy yapmış olduğu çalışmada, AlSi10 metalik köpük (Alulight) ile doldurulmuş 1050H14 Al kutuların ezilme davranışlarını incelemişlerdir. 1050H14 ezilme kutularının spesifik enerji absorpsiyonu oranlarını Alulight köpükler için %5,6 ve Hydro köpükler için %21,9 olarak hesaplamıştır (Toksoy, 2009).

Çağlar yaptığı çalışmada, AlMg₃ alüminyum alaşımından TiH₂ (titanyum di hüdrür) ajanı kullanarak metalik köpük elde etmiştir. Çalışmasında köpük malzemesine farklı oranlarda SiC ile takviye etmiştir ve bunun etkilerini araştırmıştır. Yapılan takviyenin hücre stabilizasyonunu olumlu yönde etkilediğini tespit etmiştir. Ayrıca takviyeyle birlikte yoğunluğun azaldığını, gözeneklerin küçüldüğünü ve dağılımın düzenlendiğini tespit etmiştir (Çağlar, 2009). Benzer şekilde, Gökmen yaptığı çalışmada, toz metalurjisi tekniği ile metal matrisli köpük üretim parametrelerini incelemiştir. Matris malzemesi olarak saf alüminyum ve Alumix 231 metal tozlarını kullanmıştır. Köpürtücü madde olarak TiH₂ tozu kullanmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde %1 TiH₂ oranı ve 690-710 °C sıcaklıkta 10 dakika köpürtme süresinin optimum parametreler olarak belirlemiştir (Gökmen, 2009).

Jha ve arkadaşları, alüminyum cenesphore ile metalik köpük ve alüminyuma ağırlıkça %10 oranında SiC tozu karıştırarak alüminyum köpük üretmişlerdir. SiC tozu katkılı ve katkısız köpüklerin sürtünme aşınma davranışı irdelenmiştir. Sürtünme aşınma oranının SiC tozu katkısız köpükte, katkılıya oranla daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir (Yıldırım, 2017), (Jha v.d., 2011). Benzer şekilde, Kocatürk yapmış olduğu çalışmada, SiC tozu katkılı ve katkısız Al köpükler imal etmiş ve bu köpükleri basma testine tabii tutmuştur. Yapılan testlerde SiC tozu katkılı ve katkısız Al köpüklerin deformasyon hızına tepki verdiği görülürken Alulight köpüklerin buna tepki vermediği gözlemlenmiştir. Bası yükleri altında hücre duvarlarında kırılma oluşan cam köpük malzemelerde mukavemet artışı gözlemlenmiştir (Kocatürk, 2011).

İhvan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, alüminyum köpük üretiminde alaşım elementlerinin etkisini araştırmışlardır. Deneyisel çalışmalarında, alüminyum tozuna magnezyum ve silisyum alaşım elementlerini toz olarak ilave etmişler ve 6000 serisi yaşlandırılabilen alüminyum alaşımı köpük malzemeyi üretebilmişlerdir. Köpükleştirici ajan olarak TiH₂ tozu kullanmışlardır. Deneyler sonucunda üretilen köpüklerin sertliği üzerinde, kullanılan köpükleştirici ajanın bir etkisinin olmadığını gözlemlenmiştir. Fakat, alaşımdaki magnezyum yüzdesi arttıkça sertliğin lineer olarak arttığını, silisyum yüzdesi arttıkça ise sertliğin parabolik bir eğilimle değiştiğini gözlemlenmiştir (İhvan v.d., 2011). Aktay ve arkadaşları çalışmalarında, bal peteği yapısında doldurulmuş alüminyum profillerin basma testine maruz bırakmış ve değişken hücre boyutlarında ve geometrilerdeki davranışları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda artan hücre çapı sayesinde enerji sönümleme kapasitesinin azaldığını belirlemişlerdir (Aktay v.d., 2011), (Altın, 2017).

Orbulov ve arkadaşı yaptıkları çalışmada, sekiz farklı metal matris sentaktik (örüntülü) köpüklerin bası davranışlarını incelemişler ve küçük mikro hücrelerin daha kusursuz olması sebebiyle daha yüksek basma dayanımı ve daha iyi mekanik özellikler sağladığını tespit etmişlerdir (Yıldırım, 2017), (Obulov ve Ginsztler, 2012). Ertürk yaptığı çalışmada, metalik köpüklerin uygulamaya yönelik üretimini ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Deneyisel çalışmalarına göre 450-500 °C'de ısıtılma işlemi yapılmasının daha kararlı bir köpük üretmeye faydalı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, üretimden önce mekanik karıştırmanın etkileri analizine göre toz dağılımının daha düzenli olduğu 90 rpm karıştırma hızında 90 veya 120 min süreyle karıştırmanın daha verimli olduğu gözlemlenmiştir (Ertürk, 2013).

Taherisharg ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 356 serisi Al köpüğüne T6 ısıtılma işlemi uygulamışlardır. Isıl işlem sonucunda perlitik yapıya getirdikleri ürünü incelemişlerdir. Basınç altında ısıtılma işlemi gören metalik köpüklerin daha homojen bir deformasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir (Yıldırım, 2017), (Taherisharg v.d., 2014). Altın yaptığı çalışmada, içi metalik köpük ile dolu deformasyon kutuları ve boş deformasyon kutularını kıyaslamıştır. Dikdörtgen kesitli çarpışma kutularında içi dolu olanların boş olanlara göre dört kat daha fazla enerji sönümlendiğini tespit etmiştir. Ayrıca, daire kesitli deformasyon kutularında içi dolular boş olanlara göre altı kat daha fazla enerji sönümlenebildiğini belirtmiştir (Altın, 2017).

Kırmızı yaptığı çalışmada, Al köpük malzemesini fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme (FDM) içerisine dahil ederek ve zırh malzemesi olarak kullanılmak üzere fonksiyonel derecelendirilmiş köpük malzemeleri (FDKM) sıcak presleme ile üretmiştir. Üretilen FDKM numunelerin en iyi matris/takviye ara yüzey durumu, 193,66 HBW ile en yüksek sertlik değeri, 704,58137 MPa ile en yüksek çapraz kırılma dayanımı gösterdiğini tespit etmiştir. V_{50} hız limitini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen 30 derecelik balistik testlerde FDKM'lerin V_{50} hız limiti MIL-DTL-46063 standardında belirtilen değerden yaklaşık %3 oranında daha yüksek değerde elde edildiğini belirtmiştir (Kırmızı, 2017).

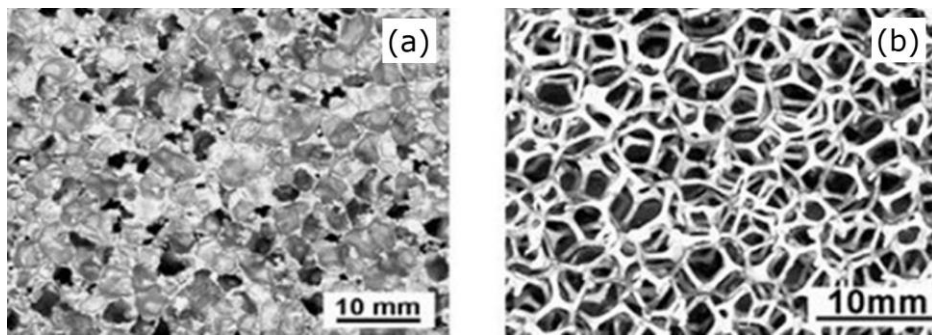
Ongunyurt yapmış olduğu çalışmada, indüksiyon sinterleme tekniğini kullanarak 6061 alaşımlı köpük üretmiş ve köpüklerin karakterizasyonunu incelemiştir. Deneysel çalışmaları sonucunda, göre 6061 alaşımlı köpük üretiminde köpürtücü madde olarak Dolapix tozu, sinterleme sıcaklığı olarak 1070 °C ve yaşlandırma sıcaklığı olarak 200 °C seçilmesinin uygun olduğunu belirtmiştir (Ongunyurt, 2019).

Ünalır yaptığı çalışmada, seramik destek plakası arkası balistik malzemesi olarak alüminyum köpük kullanımını incelemiştir. Üretilen dört farklı yoğunluktaki alüminyum köpüklü ve alüminyum köpüksüz kompozit zırh numuneleri ile atış testleri yapılmıştır. Yapılan balistik testler sonucunda zırh plakalarına yapılan kapalı hücre alüminyum köpük dolgularının balistik özelliği iyileştirici bir çözüm olacağı belirtilmiştir (Ünalır, 2021).

Bu çalışmada, metalik köpük üretim yöntemleri ve üretim esnasındaki parametreler hakkında literatürde var olan çalışmalar incelenmiş ve yöntem üzerine detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, metalik köpüklerin günümüz endüstrisindeki uygulama alanları ve diğer alanlara sağlayabileceği faydaları hakkında da kapsamlı açıklamalar yapılmıştır.

2. METALİK KÖPÜKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metalik köpükler genel anlamda içinde gaz boşlukları bulunan gözenekli (süngerimsi) elemanlar olarak tanımlanır. Bu malzemeler doğada kendiliğinden oluşmaz, üretilmesi için çeşitli işlemler gerekir. Bu üretimler için genelde farklı fazlarda farklı malzemelerin kullanılması şarttır (Amjad, 2001), (Altın, 2017). Metalik köpükler açık ve kapalı hücreli olmak üzere iki tiptir (Şekil 2). Hücre terimi; içerisinde gaz kabarcığı bulunan bölüme verilen isimdir. Hücre duvarı; iki gaz kabarcığının arasındaki yapıya verilen isim, hücre köşesi ise; üç gaz kabarcığının kesişiminde oluşan yapıya verilen isimdir. Hücre köşesi, hücre duvarına göre daha kalın yapıdadır (Gökmen, 2009), (Özer, 2005). Metalik köpüklerin yapısının %80-90'ı gözeneklerden oluşur. Gözenekler birbiriyle bağıntılı ise bu yapıya açık hücreli köpük metal denir. Hücrelerin her birinin içerisinde gaz boşluklarının bulunduğu ve bu boşlukların birbirinden izole edilmiş durumdaki haline ise kapalı hücre denir (Amjad, 2001), (Gökmen, 2009).



Şekil 2. Metalik köpük hücre yapısı: a) kapalı hücre, b) açık hücre (Sosnick, 1951)

Metalik köpükler; sıvı metalden, toz metalden, metal iyonlarından ve metal buharında elde edilebilmektedir. Metalik köpüklerin üretim yöntemleri Tablo 1'de genel olarak sınıflandırılmıştır. Metalik köpük üretim yöntemleri endüstride üretici firmaların isimleriyle de anılmaktadır (Banhart, 2001).

Tablo 1. Metalik Köpüklerin Üretimine ait Sınıflandırma (Secundus), (Ongunyurt, 2019)

Metalik Köpükler			
Sıvı Metal	Toz Metal	Metal İyonları	Metal Buharı
Gaz ile köpürtme	Gaz hapsedme	Elektro-kimyasal depozisyon	Buhar depozisyonu
Ajan ile köpürtme	Çamur hazırlama		
Katı-Gaz ötektik katılaştırma	Toz sinterleme		
Basıncılı toz ergitme	Boşluk tutucularla sıkıştırma		
Döküm	İçi boş metal toplarını sinterleme		
Sprey oluşturma	Polimer metal bileşiklerinin ekstrüzyonu		
	Reaksiyon sinterleme		

2.1. Sıvı Metal İçerisine Gaz Enjektisiyle Metalik Köpük Üretimi

Ergimiş metal dolu potanın zeminine gaz enjekte edilerek köpük oluşmasının sağlanmasının ardından tepede oluşan köpüklerin soğutulması esasına dayanır. İlave edilen gaz doğrudan sıvı metale enjekte edilirse kararsız gözenekler oluşabilir. Bu sebeple daha kararlı yapı için sıvı metal içerisinde silisyum karbür, alüminyum oksit veya magnezyum oksit gibi seramik tozları ilave edilerek karıştırılır ve döner bir pervane yardımıyla nitrojen, argon veya hava gibi gaz kullanılarak metalik köpük oluşturulur (Amjad, 2001), (Gökmen, 2009), (Banhart, 2001), (Banhart, 2005), (Banhart, 2003).

2.2. Sıvı Metal İçerisine Köpürtücü Ajan İlavesiyle Metalik Köpük Üretimi

Temel anlamda ergiyik metal içerisine köpürtücü ajan (madde) eklenerek köpük üretimi gerçekleştirilir Köpürtücü madde ısı etkisi altında ayrışır ve köpüklenme işini yapacak olan gazı açığa çıkarır. Ergiyik metal içerisine 680° C’de Ca eklenir ve karıştırılır. Bu ekleme yapının viskozitesini artırır. İstenilen viskozite değerine ulaşıldığında ergimiş metal içerisine TiH₂ köpürtücü olarak eklenir. Alaşımın ergime sıcaklığının altındaki sıcaklığa kadar üretimin yapıldığı tank soğutulur ve sıvı metalik köpükler katı metalik köpüklere dönüşür (Gökmen, 2009), (Banhart, 2001), (Miyoshi v.d., 2000).

2.3. Ergitme-Çözünürlük-Filtrasyon Yöntemiyle Metalik Köpük Üretimi

Temel olarak bir kap içerisinde metal ergitilir ve düzenek içerisine H₂ gazı enjekte edilir. Ergiyen metal hidrojen gazını emer ve bu sebeple ergiyen metalde bozunmalar başlayarak metalik köpük oluşur. Daha sonra bu köpük alt kısımda altı soğutulmuş diğer kaba aktarılır. Ergiyen metal alt kısımdan başlayarak katılaştır (Gökmen, 2009), (Çinici, 2004), (Banhart, 2003).

2.4. Sıvı Metal Yoluyla Köpükleşebilen Öncü Üretimi

Bu yöntemde ilk etapta ısıtılma tabi tutulan titanyum hidrat tozları ile alüminyum tozları karıştırılır. 620°C’deki Al/SiC kompozit eriyik içerişe bu karışım ilave edilerek karıştırılır (yaklaşık 1200 rpm). Daha sonra bu öncül ürün grafit kalıp içerisine alınır ve sıvı duruma gelinceye kadar ısıtılır ve metalik köpük elde edilir (Amjad, 2001), (Çinici, 2004), (Gökmen 2009), (Banhart, 2005), (Frei v.d., 2002).

2.5. Toz Metalurjiyle Metalik Köpük Üretimi

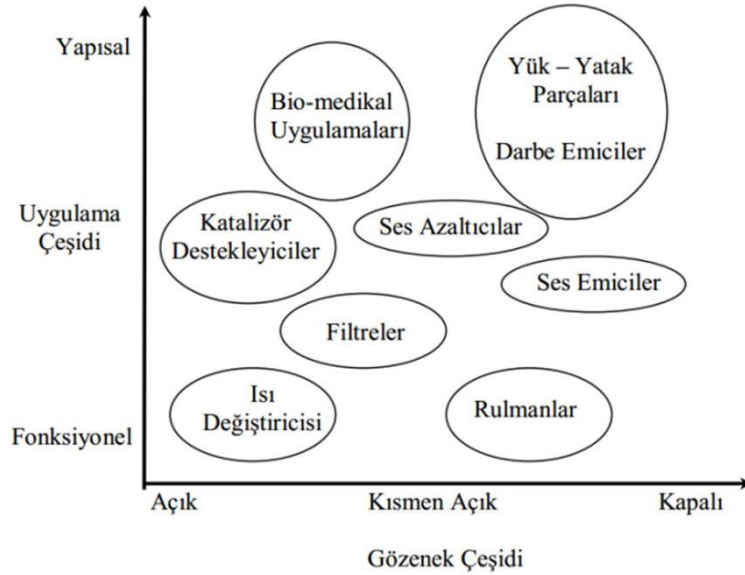
Bu yöntem, metal tozların köpürtücü madde tozuyla karıştırılması ile başlar. Sonra bu karışım sıkıştırılır. Daha sonra matris malzemenin ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu ısıtma köpürtücünün daha yoğun bir hal almasını sağlar. Daha sonra öncül materyalin ergime sıcaklığının yakın bir sıcaklığına kadar ısıtılır. Ayrışan köpürtücü malzeme sayesinde genleşme sağlanır ve köpüklü yapı elde edilir. Aynı zamanda bu işlem kullanılacak ürünün şekline göre özel olarak tasarlanabilir ya da dolgu malzemesi olarak da kullanılabilir (Gökmen, 2009), (Banhart, 2001), (Yu v.d., 1998).

2.6. Döküm Yöntemiyle Metalik Köpük Üretimi

Bu yöntemde kalıp içerisine polimer köpük ya da yer tutucu malzeme konulur. Sonra dolgu malzemesiyle kalıp doldurulur. Kılcal boşluklar bulunması halinde dolgu malzemesi basınç altında da doldurulabilir. Kuruyan dolgu malzemesi daha sonra ısı tesiri ya da uygun çözücü gibi etkenlerle polimer köpüğün ya da yer tutucu malzemenin kalıptan uzaklaştırılması sağlanır. Daha sonra kalıp bozularak nihai metalik köpüğe ulaşılır (Ertürk, 2013), (Banhart, 2001), (Köner ve Singer, 2000), (Wichianrat, 2012), (Smitha v.d., 2013), (Zou v.d., 2013).

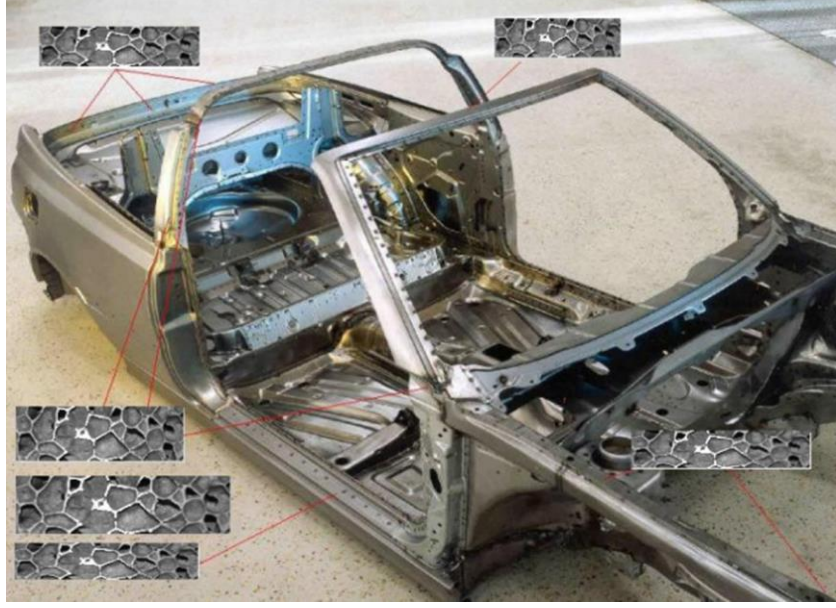
3. METALİK KÖPÜKLERİN KULLANIM ALANLARI

Metalik köpükler diğer metal malzemelere göre daha hafif olmasına karşın hafiflik/mukavemet oranının yüksek olması, darbe ve sarsıntıları iyi sönümleyebilmesi, yüksek kesme ve kırılma mukavemetleri, ısı ve ses izolasyonu sağlaması ve kimyasal süzme (filtrasyon) özellikleri sebebiyle giderek önem kazanmakta ve pratikte kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmaktadır (Polat v.d., 2010), (Varyoz v.d.,). Metalik köpüklerin hücre yapısına göre açık veya kapalı olması uygulama alanını doğrudan belirleyen en temel özelliktir (Şekil 3) (Banhart, 2001), (Yıldırım, 2018).



Şekil 3. Metalik köpüklerin hücre yapısına göre kullanım alanları (Banhart, 2001), (Yıldırım, 2018)

Günümüzde metalik köpüklerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Makine imalatı, uzay ve uçak sanayi, otomotiv sanayi, inşaat, biyomedikal gibi birçok alanda kullanımı mevcuttur (Tunç, 2020). Yoğunluğu küçük olan metalik köpüklerin sahip oldukları; titreşim azaltma, darbe sönümleme ve ses yalıtımı gibi özellikleri sayesinde otomotiv (Şekil 4 ve 5) ve inşaat (Şekil 6) sektörlerinde tercih edilmektedir (Gökmen, 2009), (Tunç, 2020). Otomobillerin güvenliğini artırmak amacıyla tampon ve şase arasındaki bölgelerde ve diğer otomobil yapılarında (A, B ve C sütunlarında) dolgu ürünleri olarak metalik köpüklerin kullanımı yaygındır (Gökmen, 2009), (Banhart, 2005). Metalik köpüklerin hafif olması otomotiv endüstrisinde olduğu gibi havacılık (Şekil 7) ve uzay endüstrisi (Şekil 8) için de bir cazibe oluşturmaktadır (Tunç, 2020), (Yavuz, 2010).



Şekil 4. Metalik köpüklerin otomobilde kullanılan bölgeleri (Gökmen, 2009), (Banhart, 2005).



Şekil 5. LKR Ranshofen firması tarafından BMW için üretilmiş motor kulağı, soldan sağa; içi boş parça, içi köpük doldurulmuş parça ve tam kesit alınmış parça (Gökmen, 2009), (Banhart, 2005).



Şekil 6. Yerleşim alanlarına yakın otoyollar için ses yalıtımı uygulaması (Miyoshi v.d., 2000), (Tunç, 2020).



Şekil 7. Uçak kanadında metalik köpük kullanımı (Tunç, 2020)



Şekil 8. Sandviç metalik köpük panelden üretilmiş roket konisi (Tunç, 2020), (Banhart, 2008)

4. SONUÇ

Metalik köpükler genel anlamda içinde gaz boşlukları bulunan gözenekli malzemelerdir. Bu malzemelerin üretilmesinde sıvı metalden, toz metalden, metal iyonlarından ve metal buharından yararlanılır. Günümüzde metalik köpükler; alüminyum, titanyum, çelik ve nikel bazlı metallerden ağırlıklı olarak toz metalurjisi yöntemiyle üretilmekte ve kullanılmaktadır. Toz metalurjisi yönteminde, köpüğü üretilen metal tozları TiH_2 (titanyum di hüdrür) gibi köpürtücü madde tozuyla karıştırılır ve köpüğü üretilen metalin ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Ayrışan köpürtücü malzeme sayesinde genleşme sağlanır ve köpüklü yapı elde edilir. Bu çalışmada, metalik köpük üretim yöntemleri, üretim esnasındaki parametreler ve uygulama alanları detaylı bir şekilde ele alınmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Saf alüminyum matrisin içine NaCl eklenerek oluşturulan metalik köpüğün saf alüminyuma göre üç kat daha fazla sönümlenme kapasitesi olduğu tespit edilmiştir. Toz metalurjisi tekniğini kullanarak üretilen metalik köpüklerde, köpürtme süresi, köpürtme sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarı arttığında gözenek boyutlarının ve lineer gelişme oranının arttığı gözlemlenmiştir. Metalik köpükler kırılma davranışları açısından incelendiğinde, kapalı hücrelerin daha gevrek, açık hücrelerin ise daha sünek olduğunu gözlemlenmiştir. SiC tozu katkılı ve katkısız köpüklerin sürtünme aşınma davranışı irdelendiğinde, sürtünme aşınma oranının SiC tozu katkısız köpükte, katkılıya oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum köpük üretiminde, alüminyum tozuna magnezyum ve silisyum alaşım elementlerinin

katılması köpük sertliğini etkilediği görülmüştür. Alaşımdaki magnezyum yüzdesi arttıkça sertliğin lineer olarak arttığı, silisyum yüzdesi arttıkça ise sertliğin parabolik bir eğilimle arttığı tespit edilmiştir. Köpükleştirici ajan olarak kullanılan TiH_2 tozunun ise sertlik açısından bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Dikdörtgen kesitli çarpışma kutularında içi metalik köpüklerle dolu olanların boş olanlara göre dört kat daha fazla enerji sönümleyebildiği tespit edilmiştir. Zırh plakalarına yapılan kapalı hücre alüminyum köpük dolgularının balistik özelliği iyileştirici bir çözüm olacağı görülmüştür. Günümüzde metalik köpüklerin; makine imalatı, uzay ve uçak sanayi, otomotiv sanayi, inşaat, biyomedikal gibi birçok alanda kullanımı olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Aktay, L. & Çakıroğlu, C., & Güden, M. (2011), Quasi-static axial crushing behavior of honeycomb-filled thin-walled aluminum tubes. *The Open Materials Science Journal*, 5, 184-193
- Altın, M., (2017), *Taşıtlarda Kullanılan Metalik Köpük İçeren Çarpışma Kutularının Enerji Sönümleme Kapasitelerinin Araştırılması*, Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara.
- Amjad, S. (2001). *Thermal conductivity and noise attenuation in aluminium foams*, M.Sc. Thesis, Wolfson College University of Cambridge Graduate School Of Natural and Applied Sciences, Cambridge.
- Banhart, J. & Seelinger, H. W. (2008), *Aluminium Foam Sandwich Panels: Metallurgy, Manufacture and Applications*, *Advanced Engineering Materials*. 10(9), 793-802.
- Banhart, J. (2005), "Aluminium foams for lighter vehicles", *Int. J. Vehicle Design*, 37: 114–125.
- Banhart, J. (2003), "Aluminium Foams: On the Road to Real Applications", *Mrs Bulletin*, 290-295.
- Banhart, J. (2001), "Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams", *Progress in Materials Science*, 46: 559-632.
- Bram, M. & Stiller, C. & Buchkremer H.P. & Stöver, D. & Baur, D. (2000), *High-porosity titanium, stainless steel, and superalloy parts*, *Advanced Engineering Materials*, 2, (s. 196-199).
- Baumeister, J. & Banhart, J. & Weber, M. (1997). Aluminium foams for transport industry. *Materials & Design*, Vol. 18, Nos. 4r6, 217–220.
- Bilhan, S. (2005) *Alüminyum metal köpüklerin difüzyon kaynağı (TLP) davranışının incelenmesi*. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Çağlar, S.İ. (2009), *Alüminyum esaslı kompozit köpük üretimi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Davies G. J. & Zhen S., *Metallic foams: their production, properties and applications*, (1983), *J. Mater. Sci.*, 18, 1899-1911.
- Degisher, H. P. & Kriszt, B. (2002), *Handbook of cellular metals*, Wiley-vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Dou, Z.Y. & Jiang, L.T. & Wu, G.H. & Zhang, Q. & Xu Z.Y. & Chen, G. Q. (2007), High strain rate compression of cenosphere-pure aluminium syntactic foams. *Scripta Materialia*, 57: 945-978.
- Ergönenç, Ç. (2008), *Development And Design Of Closed-Cell Aluminum Foam-Based Lightweight Sandwich Structures For Blast Protection*, Degree of Master, Izmir Institute of Technology, İzmir.
- Ertürk, A.T. (2013), *Alüminyum Köpük Malzemelerin Uygulamaya Yönelik Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Kocaeli Üniversitesi, Doktora Tezi, Kocaeli
- Fratzl, P. & Weinkamer, R. (2007). *Nature's hierarchical materials*, *Progress in Materials Science*, 52(8), (s. 1263 – 1334).
- Frei, J. & Gergely, V. & Mortensen, A. & Clyne, T.W. (2002), "The effect of prior deformation on the foaming behaviour of FORMGRIP precursor material", *Advanced Engineering Materials*, 4: 749-752.
- Gökmen, U. (2009), *Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al Esaslı Parçacık Takviyeli Metalik Köpük Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Güven, Ş.Y. (2011), Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, 22-28.
- İhvan S. & Polat B.D. & Sezer D. & Keleş Ö. (2011), Alüminyum köpük üretiminde alaşım elementlerinin etkisi, *itüdergisi/d mühendislik Cilt: 10, Sayı: 2, 149-157*.

- Jha, N. & Badkul, A. & Mondal, D.P. & Das, S. & Singh M. (2011), *Sliding wear behaviour of aluminium syntactic foam: A comparison with Al-10 wt% SiC composites*. *Tribology International*, 44: 220–231.
- Kırmızı, G., (2017), *Al₇xxx/SiC ve Al Köpükten Oluşan Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme Üretimi, Mekanik ve Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kocatürk, O. (2011), *Alüminyum metal köpüklerde atalet etkisi*. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Körner C. & Singer R.F. (2000), *Processing of metal foams challenges and opportunities*, *Advanced Engineering Materials*, 2, 159-165.
- Miyoshi, T. & Itoh, M. & Shigeru, A. & Kitahara, A. (2000), “ALPORAS aluminum foam: Production Process, Properties and applications”, *Advanced Engineering Materials*, 4: 179-183.
- Onck, P.R.R. & Merkerk, V. & Raaijmakers, A. & De Hosson, J.T.H.M. (2005), Fracture of open- and closed-cell metal foams. *Journal Of Materials Science*, 40: 5821–5828.
- Ongunyurt, B. (2019), *İndüksiyon Sinterleme Tekniği Kullanılarak Açık Hücreli 6061 Alaşımli Köpüklerin Üretimi ve Karakterizasyonu*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Orbulov, N.I. & Ginsztler, J. (2012), *Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams. Composite: Part A*, 43: 553-561.
- Özer, G. (2005), “Alüminyum esaslı köpük metal üretimi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- Polat, B.D. & Keleş, Ö. & Taptık, Y. (2010). Metalik Köpükler, Alüminyum Metalik Köpük ve Üretim Yöntemleri, *Metal Dünyası*, 205, 2-7.
- Rajendran, R. & Sai, K.P. & Chandrasekar, B. & Gokhale, A. & Basu, S. (2009), Impact energy absorption of aluminium foam fitted aısı 304l stainless steel tube. *Materials & Design*, 30(5), 1777-1784.
- Secundus G. P. (n.d.). *The Natural History*. New York, NY: Penguin Classics.
- Smitha M. & Guana Z. & Cantwell W.J. (2013), Finite element modelling of the compressive response of lattice structures manufactured using the selective laser melting technique, *International Journal of Mechanical Sciences*, 67, 28-41.
- Sosnick, B. (1951). U.S. Patent 2,553,016. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Taherishargh, M. & Belova, I.V. & Murch, G.E. & Fiedler, T. (2014). On the mechanical properties of heat-treated expanded perlite–aluminium syntactic foam. *Materials and Design*, 63: 375–383.
- Taherishargh, M. & Belova, I.V. & Murch, G.E. & Fiedler, T. (2014), On the mechanical properties of heat-treated expanded perlite–aluminium syntactic foam. *Materials and Design*, 63: 375–383.
- Tao, X.F. & Zhao, Y.Y. (2009), Compressive behaviour of Al matrix syntactic foams toughened with Al particles. *Scripta Materialia*, 61: 461-464.
- Toksoy, A.K. (2009), *Optimization of the axial crushing behavior of closed-cell aluminum foam filled welled 1050 al square-cross section crash boxes*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri, İzmir.
- Tunç, A. (2020), “Köpük Metaller ve Uygulama Alanları”, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya*
- Tunçer, N. (2006), *Metalik Köpük Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Ünalır, T., (2021), *Alümina ve Alüminyum Köpük Takviyeli Seviye 4 Düzeyinde Yeni Bir Standalone Zırh Sentezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Varyoz, H., Dikdere, O., Dinç, A.M., Tiryaki, M., Aygahoğlu, A., Metal Köpükler, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel sayı, 195-200.
- Veale, P.J. (2010) *Investigation of the Behavior of Open Cell Aluminum Foam*, Massachusetts Amherst Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Amherst.
- Wei, J.N. & Gong, C.L. & Cheng, H.F. & Zhou, Z.C. & Li, Z.B. & Shui, J.P. & Han, F.S. (2002). Low-frequency damping behaviour of foamed commercially pure aluminium. *Materials Science and Engineering*, A332, 375–381.

- Wichianrat E. & Boonyongmaneerat Y. & Asavavisithchai S. (2012), Microstructural examination and mechanical properties of replicated aluminium composite foams, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 22, 1674-1679.
- Yavuz, İ. (2010), Metalik Köpük Malzemeler ve Uygulama Alanları, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*. 2(1), 49-58.
- Yıldırım, A. (2017), *Sentaktik Alüminyum Köpüklerin Modellenmesi ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
- Yıldırım, Ç.V. (2018), Metalik Köpük Malzemelerin Üretim Yöntemleri, Uygulama Alanları ve Malzeme Özellikleri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, 100-116.
- Yu, C.J. & Eifert, H. & Baumeister, J. & Banhart, J. (1998), “Metal foaming by a powder metallurgy method: production, properties and applications”, *Mat. Res. Innovat*, 2: 181-188.
- Zou L.C. & Zhang Q. & Pang B.J. & Wu G.H., Jiang L.T. & Su H. (2013), Dynamic compressive behavior of aluminum matrix syntactic foam and its multilayer structure, *Materials and Design*, 45, 555-560.