



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

JOIN MET

JOURNAL OF MARINE AND ENGINEERING TECHNOLOGY

Volume: 4 | Issue: 01 | Year: 2024 | e-ISSN: 2791-7134



Journal of Marine and Engineering Technology

June 2024

Volume : 4 | Issue : 01

e-ISSN: 2791-7134

Yayın Kurulu Başkanı / Chairman of The Editorial Board
Prof. Dr. Mehmet Sarıbyık

Dil / Language
Türkçe – İngilizce / Turkish – English

Editör – Editor in Chief

Doç. Dr. Nuri Akkaş

Yayın Periyodu / Publication Period

Yılda iki kere yayınlanır / Haziran – Aralık
Published twice a year / June – December

Bölüm Editörleri – Section Editors

Dr. Ali AVCI, Hakkari University
Dr. Burak Yunus CETİN, Stanford University
Doç. Dr. Bülent GÜZEL, Gelişim University
Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN, Sakarya University of Applied Sciences
Doç. Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK, Yıldız Technical University
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin AGGÜMÜŞ, Sırnak University
Doç. Dr. Hüseyin ELÇİÇEK, Yıldız Technical University
Doç. Dr. Kadir ÇİÇEK, Istanbul Technical University
Dr. Kenan YİĞİT, Yıldız Technical University
Dr. Korhan KOR, Turkish Petroleum Offshore Technology Center
Doç. Dr. Mehmet ÖNAL, Izmir Katip Celebi University
Dr. Muhammed Ramazan ODUNCU, Intel Corporation
Dr. S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences
Prof. Dr. Sinan Serdar ÖZKAN, Sakarya University of Applied Sciences

Dil Editörü / Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Orhan ATAMAN, Sakarya University of Applied Sciences

Teknik Editörler / Technical Editors

Bilimsel Yayınlar Koordinatörlüğü, Sakarya University of Applied Sciences
Doç. Dr. Hüseyin Elçiçek, Yıldız Technical University
Dr. S. M. Esad Demirci, Sakarya University of Applied Sciences

**İletişim
Contact**

SUBU Denizcilik MYO, Alandere Mahallesi Karadeniz Sahil Yolu Caddesi No:213/1, Sakarya, Türkiye

Tel: +90 264 616 17 02

Web: dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet

E-mail: joinmet@subu.edu.tr

Editorial Board

İmtiyaz Sahibi / Owner

Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK, Sakarya University of Applied Sciences

Baş Editör / Editor-in-Chief

Assoc. Prof. Dr. Nuri AKKAŞ, Sakarya University of Applied Sciences

Editörler - Editors

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Elçiçek, Yıldız Technical University

Dr. S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences

Bölüm Editörleri / Section Editors

Dr. Ali AVCI, Hakkari University

Dr. Burak Yunus CETİN, Stanford University

Assoc. Prof. Dr. Bülent GÜZEL, Gelişim University

Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN, Sakarya University of Applied Sciences

Assoc. Prof. Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK, Yıldız Technical University

Assist. Prof. Dr. Hüseyin AGGÜMÜŞ, Sırnak University

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ELÇİÇEK, Yıldız Technical University

Assoc. Prof. Dr. Kadir ÇİÇEK, Istanbul Technical University

Dr. Kenan YİĞİT, Yıldız Technical University

Dr. Korhan KOR, Turkish Petroleum Offshore Technology Center

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖNAL, Izmir Katip Celebi University

Dr. Muhammed Ramazan ODUNCU, Intel Corporation

Dr. S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences

Prof. Dr. Sinan Serdar ÖZKAN, Sakarya University of Applied Sciences

Dil Editörü / Language Editor

Assist. Prof. Dr. Orhan ATAMAN, Sakarya University of Applied Sciences

Teknik Editörler / Technical Editors

Bilimsel Yayınlar Koordinatörlüğü, Sakarya University of Applied Sciences

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ELÇİÇEK, Yıldız Technical University

Dr. S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences

İçerik / Content

Araştırma Makaleleri / Reseach Articles

Sayfa / Page

01

Zeytin (*Olea europaea* L.) Ahşabında Bazı Yüzey Özellikleri Üzerine Balmumu Uygulamasının Etkileri

01 - 10

*The Effects of Wax Application on Certain Surface Properties of Olive (*Olea europaea* L.) wood**Research Article / Araştırma Makalesi**Hüseyin PEKER, Elif Hümeyra BİLGİNER, Ümit AYATA, Osman ÇAMLİBEL, Levent GÜRLEYEN*

02

Stability of a Ro-Ro Ship: An Assessment of the Impact of Electric Vehicle Transportation

11- 21

*Bir Ro-Ro Gemisinin Stabilitesi: Elektrikli Araç Taşımacılığının Etkisinin Değerlendirilmesi**Research Article / Araştırma Makalesi**Burak AKSU*

03

Dalış Sağlığı ve Güvenliği

22-29

*Occupational Diving HSE**Review Article / İnceleme Makalesi**Ramazan AÇIKGÖZ*

04

Optoelektronik Uygulamalar için Grafen

30-43

*Graphene for Optoelectronic Application**Review Article / İnceleme Makalesi**Pınar KÖÇ BAKACAK, Aytaç LEVENT*



Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 4(1), 1-10, 2024

Received: 19-Dec-2023 Accepted: 25-Jan-2024

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1406915>



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Zeytin (*Olea europaea* L.) Ahşabında Bazı Yüzey Özellikleri Üzerine Balmumu Uygulamasının Etkileri

Hüseyin PEKER¹ , Elif Hümeýra BİLGİNER² , Ümit AYATA^{3*} , Osman ÇAMLİBEL⁴ ,
Levent GÜRLEYEN⁵ 

¹ Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye, peker100@artvin.edu.tr

² Mimarlık Bölümü, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye, elifhbilginer46@gmail.com

^{3*} İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye, osmancamlibel@kku.edu.tr

⁴ İç Mekan Tasarımı Pr., Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, umitayata@bayburt.edu.tr

⁵ Düzce Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Düzce, Türkiye. leventgurleyen@hotmail.com

ÖZ

Zeytin ahşabı, tornacılık ve mobilya yapımında kullanılmaktadır. Bu çalışmada zeytin (*Olea europaea* L.) ahşabında bazı yüzey özellikleri [renk, beyazlık indeksi (WI^*) ve parlaklık] üzerine balmumu uygulamasının (1, 2 ve 3 kat olarak) etkileri araştırılmıştır. Belirlenmiş olan sonuçlara göre, bütün testler üzerinde varyans analizleri anlamlı olarak tespit edilmiştir. Ahşap malzeme yüzeylerine balmumu uygulamasında kat sayısının artması uygulaması sonrasında C^* , a^* , b^* ve parlaklık değerleri arttığı belirlenirken, L^* , h^o ve WI^* (her iki yön) değerleri azaldığı görülmüştür. ΔE^* değerleri 5.73 ile 1 kat uygulamasında 5.73, 2 kat uygulamasında 11.39 ve 3 kat uygulamasında 12.00 olarak elde edilmiştir. ΔE^* değerine göre 2 ve 3 kat uygulamasına ait sonuçlar birbirine çok yakın elde edildiği için 3. kat uygulamasına gerek olmadığı söylene bilinir.

Anahtar Kelimeler: Balmumu, parlaklık, zeytin, renk, beyazlık indeksi

The Effects of Wax Application on Certain Surface Properties of Olive (*Olea europaea* L.) wood

ABSTRACT

The olive wood is used in turning and furniture making. In this study, the effects of wax application (at 1, 2, and 3 coats) on some surface properties [color, whiteness index (WI^*), and glossiness] of olive (*Olea europaea* L.) wood were investigated. According to the determined results, variance analyses were found to be significant for all tests. With the increase in the number of wax applications on wooden surfaces, it was observed that C^* , a^* , b^* , and glossiness values increased,

^{1*} Sorumlu yazarın e-postası: umitayata@bayburt.edu.tr

whereas L^* , h^o , and WI^* (both directions) values decreased. ΔE^* values were obtained as 5.73 for the 1-coat application, 11.39 for the 2-coat application, and 12.00 for the 3-coat application. As the results for the 2 and 3-coat applications were very close according to the ΔE^* value, it can be said that the 3-coat application might not be necessary.

Keywords: Wax, glossiness, olive, color, whiteness index

1. Giriş

Tarihin başından beri, gemi yapımında en çok kullanılan malzeme ahşaptır (Olsson, 2006). Kereste, yüzyıllardır deniz ortamında yapı malzemesi olarak kullanılmış ve bu süre zarfında insan, onu bozucu organizmaların faaliyetlerinden korumanın yollarını aramıştır. Her ne kadar mikroorganizmalar deniz suyuna maruz kalan ahşabın yüzeylerini çürütse de, saldırının başlıca etkenleri yumuşakçalar ve kabuklular gibi denizdeki ahşabı oyan hayvanlardır (Eaton, 1985). Birçok kimyasal madde, ahşabın ömrünü uzatmak ve ahşabı çürüten mantarlar, böcekler ve yangına karşı korumak amacıyla kullanılmaktadır (Tribulová ve ark., 2017). Bu kimyasallardan bir tanesi de balmumudur.

Balmumu genellikle ortam sıcaklığında plastik bir katı olan ve orta derecede yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında düşük viskoziteli bir sıvı haline gelen bir maddeyi ifade eder. Balmumu plastik olduğundan genellikle ısı uygulanmadan basınç altında deforme olur. Balmumlarının kimyasal bileşimi karmaşıktır; tüm ürünler göreceli olarak geniş moleküler ağırlık profillerine sahiptir ve fonksiyonelliği esas olarak normal alkanlar içeren ürünlerden hidrokarbonlar ve reaktif fonksiyonel türlerin karışımları olan ürünlere kadar değişmektedir (Cotton, 2000). Balmumlarının bileşimleri aynı zamanda küçük bileşikler olarak aldehitler, terpenler ve fenolik maddeleri de içerebilir (Leray, 2006).

Zeytin (*Olea europaea* L.), Oleaceae familyasına ait küçük yaprak dökmeyen bir ağaçtır. Boyu 3.5 ila 6 m arasında değişir, tüylü, sert dallara ve gri bir kabukla birlikte gelir. Yaprakları karşılıklı, mızrak veya oval-mızrak şeklinde, uçları sivri, kısa saplı, üst kısımları yeşil ve alt kısımları tüylüdür. Çiçekler küçüktür, kısa, koltukaltı, dik salkımlar halinde bulunur ve yapraklardan çok daha kısadır. Taç kısa, beyaz ve 4 geniş, oval segmente sahiptir; çanak kısa ve 4 dişlidir. Meyve, bir erik büyüklüğünde, pürüzsüz, mor renkte, 2 hücreli, mide bulantısı yaratan, acı bir et ile sivri uçlu bir çekirdek içeren bir türdür (Anonim, 1991; Khan ve ark., 2017).

Tarihsel olarak zeytin ağacı, Akdeniz havzasında yetişen önemli bir üründür (Zohary ve Spiegel-Roy, 1975). Zeytin ağacı, bereketin, ihtişamın ve barışın geleneksel sembolüdür ve yapraklı dalları tarih boyunca dostluk oyunlarında ve kanlı savaşlarda galip gelenleri taçlandırmak için kullanılmıştır. Zeytin meyvesi, yağı ve zeytin ağacının yaprakları tıbbi kullanım alanlarına ve zengin bir beslenme geçmişine sahiptir (Soni ve ark., 2006). Bitkiler en iyi meyve verimi için bir yaşındaki odunlarda gelişir, bu nedenle budama bu durumu göz önünde bulundurmalıdır (Bown, 1995). Yaşlı zeytin ağaçlarında urlara çok rastlanır. Kışı kabukludur. Kabuk rengi koyu gri veya esmerdir (Dinçel ve ark., 1970).

Taze olgun meyvelerden bütün olarak mor ve mor renkli boyalar elde edilir. Mavi ve siyah boyalar taze olgun meyvelerin kabuklarından elde edilir. Sarı/yeşil bir boya yaprağın kullanımıyla elde edilir (Grae, 1974). Bitkiler kuru ve tozlu yamaçları stabilize etmek için kullanılır (Huxley, 1992). Kaşıntıyı tedavi etmek, sokmaların veya yanıkların etkilerini hafifletmek ve linimentler için bir araç olarak dışsal olarak kullanılır (Lust, 1983; Grieve, 1984). Linimentler ve merhemlerin bazı olarak yaygın bir şekilde kullanılır (Lust, 1983). Sıcak ülkelerde kabuk, bir yara tedavisi olarak kullanılan sakız benzeri bir madde salgılar (Grieve, 1984).

Sıkı yapılı sert bir ağaçtır. Genellikle kolay işlenir (Şanıvar ve Zorlu 1980). İşlerken hoşça gitmeyen bir çürük kokusu verir (Dinçel ve ark., 1970). Ahşabı, çok sert, ağır, güzel damarlı, ince bir parlatma alır ve hafif bir koku taşır. Tornacılık ve mobilya yapımında kullanılır, marangozlar tarafından çok değerli bulunur (Uphof, 1959; Polunin, 1969; Grieve, 1984; Chiej, 1984). Zeytin (*Olea europaea* L.) odununda ısı iletkenlik değeri 0.195 k (W/mK) (Çavuş ve ark., 2019), liflere paralel basınç direnci 66.88 N/mm², elastikiyet modülü 7038.68 N/mm² ve eğilme direnci 105.25 N/mm² (Topaloğlu ve Ustaömer, 2020) belirlenmiştir. Bu çalışmada, zeytin (*Olea europaea* L.) ahşabında bazı yüzey özellikleri üzerine balmumu uygulamasının etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Malzeme

Zeytin (*Olea europaea* L.) ahşabı bu çalışmada kullanılmıştır. Örnekler rastgele seçilen, ardaksız, çatlaksız, budaksız, düzgün liflere sahip, renk ve yoğunluk farkı olmayan özellikte olup 100 x 200 x 20 mm boyutlarında ticari bir işletmeden 1. sınıf kalitede olarak temin edilmiştir. Örnekler TS ISO 13061-1 (2021) standardına göre hazır hale getirilmiştir.

2.1.2. Balmumu

Çalışmada, doğal ve sentetik balmumlarının karışımına sahip yağ (görünüm: macun, renk: nötr, koku: karakteristik, suda çözünürlük: dağılıbilir fakat çözünmez, kuru artık: %30 ve pH değeri: 7.6) kullanılmıştır. Bu kimyasal balmumu satışı yapan bir firmadan satın alınma yöntemi ile elde edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Balmumunun Ahşap Malzeme Yüzeylerine Uygulanması

Çalışmada, doğal ve sentetik balmumlarının karışımına sahip yağ ahşap malzeme yüzeylerine 1, 2 ve 3 kat olarak fırça yardımıyla uygulanmıştır. Uygulama sonlarında katların kuruması için 3 gün süre beklenilmiştir.

2.2.2. Renk Özelliklerinin Tespit Edilmesi

Renk değişimi, CS-10 (CHN Spec, Çin) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınık aydınlatma)] cihazı kullanılarak ölçülmüştür (ASTM D 2244-3, 2007). Aşağıdaki formüller yardımıyla toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^{\circ} = \arctan (b^* / a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - C^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - a^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - L^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş deney örneği}} - b^*_{\text{işlem görmemiş deney örneği}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

ΔH^* , Δa^* , ΔC^* , Δb^* ve ΔL^* tanımlamaları (Lange, 1999) Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: ΔH^* , Δa^* , ΔC^* , Δb^* ve ΔL^* tanımlamaları (Lange, 1999)

Test	Pozitif durumdaki açıklama	Negatif durumdaki açıklama
Δb^*	Referanstan daha sarı	Referanstan daha mavi
ΔL^*	Referanstan daha açık	Referanstan daha koyu
Δa^*	Referanstan daha kırmızı	Referanstan daha yeşil
ΔC^*	Referanstan daha net, daha parlak	Referanstan daha bulanık, mat

Hesaplanmış olan ΔE^* renk farkının görsel değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: ΔE^* değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979)

Görsel renk puanı farkı	Toplam renk farkı (ΔE^*)
Algılanamaz	<0.2
Çok zayıf	0.2 ila 0.5
Zayıf	0.5 ila 1.5
Belirgin	1.5 ila 3.0
Çok belirgin	3.0 ila 6.0
Güçlü	6.0 ila 12.0
Çok güçlü	> 12.0

2.2.4. Parlaklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Parlaklık testleri ETB-0833 model gloss meter (Shenzhen Graigar Tech. Co. LTD., Shenzhen CN) cihazında üç farklı açılarda (20°, 60° ve 85°) liflere dik ve paralel yönlerde olacak şekilde yapılmıştır (ISO 2813, 1994).

2.2.3. Beyazlık İndeksi (WI^*) Özelliklerinin Belirlenmesi

Beyazlık indeksi (WI^*) değerleri Whiteness Meter BDY-1 cihazı ile belirlenmiştir (ASTM E313-15e1, 2015).

2.3. İstatistiksel Analiz

Bir istatistik programı ile maksimum ve minimum ortalama değerleri, standart sapmaları, ortalamalar, varyans analizleri, homojenlik grupları ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çok değişkenli varyans analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, bütün testler için uygulanan balmumu kat sayısı faktörünün $\alpha \leq 0.05$ değerine göre anlamlı olarak elde edildiği görülmüştür (Tablo 3).

Parlaklık değerlerin, renk parametrelerine ve beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 4’de sunulmaktadır.

L^* için en yüksek sonuç kontrol deney örneklerine (63.48) ait grupta belirlenirken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde (54.47) bulunmuştur. L^* için en yüksek azalma oranı %14.19 ile 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde bulunurken, en düşük azalma oranı %4.98 ile 1 kat balmumu uygulanmış örnekler üzerinde belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 3: Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Kat Sayısı	Işıklılık (L^*)	596.901	3	198.967	232.984	0.000*
	Kırmızı (a^*) renk tonu	186.904	3	62.301	67.635	0.000*
	Sarı (b^*) renk tonu	197.551	3	65.850	33.404	0.000*
	Kroma (C^*)	347.557	3	115.852	47.800	0.000*
	Ton (h°) açısı	172.193	3	57.398	26.487	0.000*
	Parlaklık $\perp 20^\circ$ 'de	1.281	3	0.427	103.148	0.000*
	Parlaklık $\perp 60^\circ$ 'de	128.601	3	42.867	936.982	0.000*
	Parlaklık $\perp 85^\circ$ 'de	933.957	3	311.319	2792.794	0.000*
	Parlaklık $\parallel 20^\circ$ 'de	1.489	3	0.496	98.702	0.000*
	Parlaklık $\parallel 60^\circ$ 'de	117.859	3	39.286	391.883	0.000*
	Parlaklık $\parallel 85^\circ$ 'de	699.890	3	233.297	554.954	0.000*
	Beyazlık (WI^*) (\perp)	630.779	3	210.260	739.194	0.000*
Beyazlık (WI^*) (\parallel)	753.912	3	251.304	528.073	0.000*	
Hata	Işıklılık (L^*)	30.744	36	0.854		
	Kırmızı (a^*) renk tonu	33.161	36	0.921		
	Sarı (b^*) renk tonu	70.967	36	1.971		
	Kroma (C^*)	87.253	36	2.424		
	Ton (h°) açısı	78.011	36	2.167		
	Parlaklık $\perp 20^\circ$ 'de	0.149	36	0.004		
	Parlaklık $\perp 60^\circ$ 'de	1.647	36	0.046		
	Parlaklık $\perp 85^\circ$ 'de	4.013	36	0.111		
	Parlaklık $\parallel 20^\circ$ 'de	0.181	36	0.005		
	Parlaklık $\parallel 60^\circ$ 'de	3.609	36	0.100		
	Parlaklık $\parallel 85^\circ$ 'de	15.134	36	0.420		
	Beyazlık (WI^*) (\perp)	10.240	36	0.284		
Beyazlık (WI^*) (\parallel)	17.132	36	0.476			
Toplam	Işıklılık (L^*)	136120.737	40			
	Kırmızı (a^*) renk tonu	6521.923	40			
	Sarı (b^*) renk tonu	23042.412	40			
	Kroma (C^*)	29568.896	40			
	Ton (h°) açısı	156325.254	40			
	Parlaklık $\perp 20^\circ$ 'de	10.550	40			
	Parlaklık $\perp 60^\circ$ 'de	563.870	40			
	Parlaklık $\perp 85^\circ$ 'de	2138.090	40			
	Parlaklık $\parallel 20^\circ$ 'de	10.790	40			
	Parlaklık $\parallel 60^\circ$ 'de	565.690	40			
	Parlaklık $\parallel 85^\circ$ 'de	2267.540	40			
	Beyazlık (WI^*) (\perp)	7990.540	40			
Beyazlık (WI^*) (\parallel)	6842.340	40				
Düzeltilmiş Toplam	Işıklılık (L^*)	627.645	39			
	Kırmızı (a^*) renk tonu	220.066	39			
	Sarı (b^*) renk tonu	268.519	39			
	Kroma (C^*)	434.810	39			
	Ton (h°) açısı	250.205	39			
	Parlaklık $\perp 20^\circ$ 'de	1.430	39			
	Parlaklık $\perp 60^\circ$ 'de	130.248	39			
	Parlaklık $\perp 85^\circ$ 'de	937.970	39			
	Parlaklık $\parallel 20^\circ$ 'de	1.670	39			
	Parlaklık $\parallel 60^\circ$ 'de	121.468	39			
	Parlaklık $\parallel 85^\circ$ 'de	715.024	39			
	Beyazlık (WI^*) (\perp)	641.019	39			
Beyazlık (WI^*) (\parallel)	771.044	39				

*: Anlamlı olarak elde edilen sonucu göstermektedir.

a^* için en düşük sonuç kontrol deney örneklerine (9.29) ait grupta elde edilirken, en yüksek sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örnekler (14.90) üzerinde tespit edilmiştir. a^* için en yüksek artış oranı %60.39 ile 3 kat balmumu uygulanmış deney grubunda görülürken, en düşük artış oranı %28.96 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde elde edilmiştir (Tablo 4).

b^* için en düşük sonuç kontrol deney örneklerinde (20.16) görülürken, en yüksek sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde (25.77) elde edilmiştir. b^* için en yüksek artış oranı %27.83 ile 3 kat balmumu uygulanmış örnekler (63.48) üzerinde belirlenirken, en düşük artış oranı %19.64 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde (54.47) bulunmuştur (Tablo 4).

C^* için en düşük sonuç kontrol deney örneklerine (22.21) ait grupta tespit edilirken, en yüksek sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örnekler (29.78) üzerinde görülmüştür. C^* için en yüksek artış oranı %34.08 ile 3 kat balmumu uygulamasına sahip örneklerde bulunurken, en düşük artış oranı %21.30 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde elde edilmiştir (Tablo 4).

h^o için en yüksek sonuç kontrol deney örneklerine (65.23) ait grupta tespit edilirken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örnekler (59.94) üzerinde görülmüştür. h^o için en yüksek azalma oranı %8.11 ile 3 kat uygulanmış deney grubunda elde edilirken, en düşük azalma oranı %2.48 ile 1 kat balmumu uygulanmış örnekler (54.47) üzerinde tespit edilmiştir (Tablo 4).

Liflere dik yöndeki WI^* değerleri için en yüksek sonuç kontrol deney örneklerine (19.34) ait grupta belirlenirken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde (9.22) elde edilmiştir. Liflere dik yöndeki WI^* değerlerinde en yüksek azalma oranı %52.33 ile 3 kat balmumu uygulanmış örneklerde bulunurken, en düşük azalma oranı %22.23 ile 1 kat balmumu uygulanmış örnekler üzerinde belirlenmiştir (Tablo 4).

Liflere paralel yöndeki WI^* değerleri için en yüksek sonuç kontrol deney örneklerine (12.54) ait grupta elde edilirken, en düşük sonuç 3 kat balmumu uygulanmış örnekler (7.98) üzerinde tespit edilmiştir. Liflere paralel yöndeki WI^* değerlerinde en yüksek azalış oranı %58.67 ile 3 kat balmumu uygulanmış deney grubunda görülürken, en düşük azalış oranı %34.96 ile 1 kat balmumu uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir. WI^* değerleri için Liflere dik yöndeki ölçümler, liflere paralel yöndeki ölçümlerden yüksek elde edilmiştir (Tablo 4).

Akçay, (2020) tarafından ihlamur, kayın, kavak ve sarıçam odunlarına ve Liu ve ark., (2022) tarafından Avrupa cevizi (*Juglans regia*) ve Avrupa akçaağacı (*Acer pseudoplatanus*) odunlarına yapılan balmumunun uygulanması ile L^* değerlerinin azaldığı ve a^* ile b^* değerlerinin arttığı rapor edilmiştir. Bu sonuçlar bizim çalışmamızda elde edilen sonuçlar ile uyusmaktadır. Parlaklık değerlerinde bütün derece ve yönlerde en yüksek sonuçlar 3 kat balmumu uygulanmış deney örneklerde tespit edilmiştir. 60 ve 85 derecelerde her iki yönde ölçülmüş olan parlaklık değerleri balmumu uygulaması ile artış göstermiştir. Liflere paralel yöndeki parlaklık ölçümleri, liflere dik yöndekilerden yüksek elde edilmiştir (Tablo 4). Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Tablo 5’de verilmektedir. Bu sonuçlara göre, 2 ve 3 kat balmumu uygulamasına ait ΔE^* değerleri birbirlerine çok yakın olarak bulunduğu görülmüştür. Bütün farklı sayıdaki kat uygulamaları sonrasında, ΔL^* (referanstan daha koyu) değerleri negatif olarak bulunurken, Δa^* (referanstan daha kırmızı), Δb^* (referanstan daha sarı) ve ΔC^* (referanstan daha net, daha parlak) değerleri pozitif olarak edilmiştir. ΔE^* değerleri 5.73 ile 1 kat uygulamasında 5.73 [çok belirgin (3.0 ila 6.0) kriterini vermekte], 2 kat uygulamasında 11.39 ve 3 kat uygulamasında 12.00 değerleri [güçlü (6.0 ila 12.0) kriterlerini vermekte] olarak bulunmuştur.

Tablo 4: Renk parametrelerine, parlaklık ve beyazlık indeksi (WI^*) değerlerine ait ölçüm sonuçları

Test	Balmumu Uygulaması	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Değişim (%)	HG	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L^*	Kontrol	10	63.48	-	A*	0.86	62.00	64.80	1.35
	1 kat	10	60.32	↓4.98	B	0.74	59.48	61.39	1.23
	2 kat	10	54.54	↓14.08	C	1.06	52.40	56.40	1.94
	3 kat	10	54.47	↓14.19	C**	1.00	52.83	55.90	1.84
a^*	Kontrol	10	9.29	-	C**	0.69	8.21	10.59	7.39
	1 kat	10	11.98	↑28.96	B	1.04	10.95	13.27	8.67
	2 kat	10	14.03	↑51.02	A	1.02	13.12	16.29	7.27
	3 kat	10	14.90	↑60.39	A*	1.05	14.00	17.34	7.02
b^*	Kontrol	10	20.16	-	C**	1.18	18.22	21.38	5.86
	1 kat	10	24.12	↑19.64	B	1.42	22.51	26.02	5.89
	2 kat	10	25.40	↑25.99	A	1.46	23.59	27.10	5.74
	3 kat	10	25.77	↑27.83	A*	1.53	23.64	28.68	5.95
C^*	Kontrol	10	22.21	-	C**	1.13	20.09	23.45	5.10
	1 kat	10	26.94	↑21.30	B	1.71	25.13	29.21	6.35
	2 kat	10	29.03	↑30.71	A	1.68	27.00	31.62	5.77
	3 kat	10	29.78	↑34.08	A*	1.64	27.48	32.54	5.50
h^o	Kontrol	10	65.23	-	A*	1.97	61.29	68.21	3.02
	1 kat	10	63.61	↓2.48	B	0.87	61.82	64.80	1.36
	2 kat	10	61.08	↓6.36	C	1.15	58.99	62.57	1.88
	3 kat	10	59.94	↓8.11	C**	1.65	56.66	61.82	2.74
$\perp 20^o$	Kontrol	10	0.30	-	C**	0.00	0.30	0.30	0.00
	1 kat	10	0.35	↑16.67	C	0.05	0.30	0.40	15.06
	2 kat	10	0.50	↑66.67	B	0.00	0.50	0.50	0.00
	3 kat	10	0.76	↑153.33	A*	0.12	0.60	0.90	15.44
$\perp 60^o$	Kontrol	10	1.23	-	D**	0.14	1.10	1.40	11.53
	1 kat	10	1.93	↑56.91	C	0.14	1.80	2.10	7.35
	2 kat	10	4.34	↑252.85	B	0.13	4.00	4.40	2.91
	3 kat	10	5.67	↑360.98	A*	0.36	5.20	6.10	6.28
$\perp 85^o$	Kontrol	10	0.44	-	D**	0.12	0.30	0.60	26.68
	1 kat	10	1.12	↑154.55	C	0.37	0.80	1.60	32.82
	2 kat	10	8.61	↑1856.82	B	0.39	8.10	9.00	4.56
	3 kat	10	11.74	↑2568.18	A*	0.38	11.40	12.40	3.22
$\parallel 20^o$	Kontrol	10	0.32	-	C	0.04	0.30	0.40	13.18
	1 kat	10	0.30	↓6.25	C**	0.00	0.30	0.30	0.00
	2 kat	10	0.51	↑59.38	B	0.09	0.40	0.60	17.17
	3 kat	10	0.78	↑143.75	A*	0.10	0.70	0.90	13.24
$\parallel 60^o$	Kontrol	10	1.44	-	D**	0.11	1.30	1.60	7.47
	1 kat	10	1.98	↑37.50	C	0.13	1.80	2.10	6.65
	2 kat	10	4.21	↑192.36	B	0.22	3.90	4.40	5.19
	3 kat	10	5.70	↑295.83	A*	0.57	4.90	6.60	9.99
$\parallel 85^o$	Kontrol	10	0.92	-	D**	0.17	0.80	1.20	18.33
	1 kat	10	3.69	↑301.09	C	0.48	3.10	4.30	13.06
	2 kat	10	8.65	↑840.22	B	0.71	7.90	9.60	8.16
	3 kat	10	11.66	↑1167.39	A*	0.96	10.30	12.80	8.24
WI^* \perp	Kontrol	10	19.34	-	A*	0.75	18.40	20.20	3.86
	1 kat	10	15.04	↓22.23	B	0.53	14.60	15.70	3.51
	2 kat	10	10.62	↓45.09	C	0.53	10.00	11.20	4.96
	3 kat	10	9.22	↓52.33	D**	0.15	9.00	9.40	1.68
WI^* \parallel	Kontrol	10	19.28	-	A*	0.95	17.50	19.90	4.92
	1 kat	10	12.54	↓34.96	B	0.41	11.80	12.90	3.26
	2 kat	10	9.48	↓50.83	C	0.85	8.30	10.40	8.92
	3 kat	10	7.98	↓58.61	D**	0.35	7.50	8.40	4.37

*: En yüksek değer, **: En düşük değer, HG: Homojenlik Grubu

Tablo 5: Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Uygulaması Sonrası	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979)
1 kat balmumu	-3.15	2.70	3.96	4.73	0.78	5.73	Çok belirgin (3.0 ila 6.0)
2 kat balmumu	-8.94	4.75	5.24	6.81	1.88	11.39	Güçlü (6.0 ila 12.0)
3 kat balmumu	-9.01	5.61	5.61	7.57	2.38	12.00	

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Varyans analizleri bütün testler üzerinde anlamlı olarak tespit edilmiştir.
- ΔE^* değerleri 5.73 ile 1 kat uygulamasında 5.73, 2 kat uygulamasında 11.39 ve 3 kat uygulamasında 12.00 olarak elde edilmiştir.
- Balmumu uygulaması sonrasında L^* , h^o ve WI^* (her iki yön) değerleri azalırken, a^* , C^* , b^* ve parlaklık değerleri artmıştır.
- Elde edilen bu malzemeler üzerinde tuzlu sis korozyon testi veya doğal/yapay yaşlandırma testlerinin yapılması önerilmektedir.

5. Beyanname

5.1. Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2. Yazarların Katkıları

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmişlerdir.

Kaynakça

- Akçay, Ç. (2020). Determination of decay, larvae resistance, water uptake, color, and hardness properties of wood impregnated with honeybee wax. *BioResources*, 15(4), 8339-8354. DOI: 10.15376/biores.15.4.8339-8354.
- Anonim, (1991). Regulation ECC/2568/91 on the characteristics of olive oil and olive pomace oils and on their analytical methods, Official Journal of the European Communities: Legislation, European Union, Brussels.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bown, D. (1995). Encyclopaedia of Herbs and their Uses, Dorling Kindersley, London. ISBN: 0-7513-020-31.
- Cavus, V., Sahin, S., Esteves, B., and Ayata, U. (2019). Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey. *Bioresources*, 14(3), 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- Chiej, R. (1984). Encyclopaedia of Medicinal Plants. MacDonal. ISBN: 0-356-10541-5.

- Ciftci, I., and Gokce, H. (2019). Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 201-213. DOI: 10.17341/gazimmfd.416482.
- Cottom, W. P. (2000). Waxes, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. DOI: 10.1002/0471238961.2301240503152020.a01.
- DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.
- Eaton, R. A. (1985). Preservation of marine timbers. In *Preservation of Timber in the Tropics* (pp. 157-191). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Grae, I. (1974). *Nature's Colors - Dyes from Plants*, MacMillan Publishing Co. New York. ISBN: 0-02-544950-8.
- Grieve, (1984). *A Modern Herbal*, Penguin. ISBN: 0-14-046-440-9.
- Huxley, A. (1992). *The New RHS Dictionary of Gardening*, MacMillan Press. ISBN: 0-333-47494-5.
- ISO 2813, (1994). *Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Khan, Y., Panchal, S., Vyas, N., Butani, A., and Kumar, V. (2007). *Olea europaea: a phyto-pharmacological review*. *Pharmacognosy Reviews*, 1(1), 114-118.
- Lange, D. R. (1999). *Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e*. DR Lange: New York, NY, USA.
- Leray, C. (2006). Waxes. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. DOI: 10.1002/0471238961.2301240503152020.a01.pub2.
- Liu, X., Timar, M. C., Varodi, A. M., Nedelcu, R., & Torcătoru, M. J. (2022). Colour and surface chemistry changes of wood surfaces coated with two types of waxes after seven years exposure to natural light in indoor conditions. *Coatings*, 12(11), 1689. DOI: 10.3390/coatings12111689.
- Lust, J. (1983). *The Herb Book*. Bantam books. ISBN: 0-553-23827-2.
- Olsson, A. (2006). *The Rutilus Project. Strategies for a sustainable development of the underwater cultural heritage in the Baltic Sea Region*. The Swedish Maritime Museums.
- Polunin, O. (1969). *Flowers of Europe - A Field Guide*, Oxford University Press. ISBN: 0192176218.
- Soni, M. G., Burdock, G. A., Christian, M. S., Bitler, C. M., and Crea, R. (2006). Safety assessment of aqueous olive pulp extract as an antioxidant or antimicrobial agent in foods. *Food and Chemical Toxicology*, 44(7), 903-915. DOI: 10.1016/j.fct.2006.01.008.
- Topaloğlu, E., ve Ustaömer, D. (2020). Bazı meyve ağaçları gövde odunlarının fiziksel, mekanik ve yüzey özelliklerinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 123-136. DOI: 10.29130/dubited.574229.
- Tribulová, T., Kačík, F., and Evtuguin, D. V. (2017). Impacts of inorganic chemicals used for wood protection: a review. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen res Publica Slovaca*, 59(2), 5-22. DOI: 10.17423/afx.2017.59.2.01
- TS ISO 13061-1, (2021). *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Uphof, J. C. Th. (1959). *Dictionary of Economic Plants*, Weinheim.

Zohary, D., and Spiegel-Roy, P. (1975). Beginnings of Fruit Growing in the Old World: Olive, grape, date, and fig emerge as important Bronze Age additions to grain agriculture in the Near East. *Science*, 187(4174), 319-327. DOI: 10.1126/science.187.4174.319.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 4(1), 11-21, 2024

Received: 29-Nov-2023 Accepted: 09-Feb-2024

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1397687>



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Stability of a Ro-Ro Ship: An Assessment of the Impact of Electric Vehicle Transportation

Burak GÖKSU ^{1*}

Department of Marine Engineering, Maritime Faculty, Zonguldak Bülent Ecevit University

ABSTRACT

In terms of service lives, ships have the ability to remain operational for extended periods of time, potentially exceeding several decades. Changes in machinery and equipment are dependent on technological improvements. The above change is most noticeable in the components that make up ship systems. Nonetheless, the movement of ships on the water involves research into a variety of topics, including static-dynamic equilibrium and the demands of speed and power. The study focuses on the growing fascination with electric automobiles, which can be ascribed to technology improvements, environmental policies, and the concept's widespread acceptance. As a result, there has been a boom in interest in purchasing electric vehicles and using them for transportation. When conventional internal combustion engine automobiles are considered during the design process of marine vessels that transport land vehicles, it is expected that electric vehicles (EVs) will be primarily transported by Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) ships in the foreseeable future. However, weight discrepancies exist between electric vehicles and other models in the same category. The significant weight attributed to batteries emphasizes the significant possibility for advancement in modern battery technology. This research aims to examine the changes in the stability of a Ro-Ro ship carrying an equal number of conventional and electric vehicles and evaluate the effect of transportation of the same total weight of these two vehicle types on ship stability.

Keywords: Electric vehicle transportation, ro-ro ships, ship stability

Bir Ro-Ro Gemisinin Stabilitesi: Elektrikli Araç Taşımacılığının Etkisinin Değerlendirilmesi

ÖZ

Hizmet ömürleri açısından gemiler, potansiyel olarak birkaç on yılı aşan uzun süreler boyunca çalışır durumda kalma kapasitesine sahiptir. Makine ve ekipmanlardaki değişiklikler teknolojik gelişmelere bağlıdır. Gemilerdeki değişiklikler en çok gemi sistemlerini oluşturan bileşenlerde fark edilmektedir. Bununla birlikte, gemilerin su üzerindeki hareketi, statik-dinamik denge ve hız-güç talepleri de dahil olmak üzere çeşitli konuların araştırılmasını gerektirir. Çalışma, teknolojik gelişmelere, çevre politikalarına ve konseptin yaygın kabulüne atfedilebilecek elektrikli otomobillere yönelik artan ilgiye odaklanıyor. Bunun sonucunda elektrikli araçların satın alınması

^{1*} Corresponding Author's email: burakgoksu@beun.edu.tr

ve ulaşımda kullanılmasına ilgide patlama yaşanmaktadır. Kara taşıtlarını taşıyan deniz araçlarının tasarımı sürecinde konvansiyonel içten yanmalı motorlu otomobiller dikkate alındığında, öngörülebilir gelecekte elektrikli araçların (EV) öncelikli olarak Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) gemilerle taşınması beklenmektedir. Ancak elektrikli araçlar ile aynı kategorideki diğer modeller arasında ağırlık farklılıkları mevcuttur. Pillere atfedilen kayda değer ağırlık farkı, modern pil teknolojisindeki önemli ilerleme olasılığını vurgulamaktadır. Bu araştırma, eşit sayıda konvansiyonel ve elektrikli araç taşıyan bir Ro-Ro gemisinin stabilitesindeki değişiklikleri incelemeyi ve bu iki araç tipinin aynı toplam ağırlıkta taşınmasının gemi stabilitesi üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç taşımacılığı, ro-ro gemileri, gemi stabilitesi

1 Introduction

Car carriers, often referred to as vehicle carriers, are specialized marine vessels designed for the primary objective of transporting a diverse range of wheeled vehicles, such as cars, trucks, buses, and similar means of transportation. These vessels are often utilized to transport various combinations of vehicles (Kang et al., 2012). Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) vessels are categorized as such based on their resemblance in the processes of loading and unloading. Pure Car Carriers (PCCs) are a type of maritime vessel that is purposefully constructed for the only purpose of transporting vehicles. On the other hand, Pure Car Truck Carriers (PCTCs) are a form of specialist vessels designed to transport a diverse range of wheeled cargo, including vehicles (Yasukawa, 2019). In addition to commercial maritime vessels, a variety of Ro-Ro ships can be found, which include ferries as well as military tanks (Kennedy, 2023). A comprehensive account of several ship designs is provided in the subsequent text.

- A Pure Car Carrier (PCC) is a specialized vehicle that is specifically constructed for the transportation of autos, with a particular focus on new vehicles, to their respective sales regions (Hasegawa et al., 2006).
- The Pure Car Truck Carrier (PCTC) is a specialist maritime vessel specifically engineered for the purpose of transporting a wide range of wheeled vehicles across many ports. This classification comprises a diverse range of vehicles, including automobiles, trucks, tractors, and other wheeled industrial vehicles (Silvanus, 2009).
- The Container Ship and Ro-Ro Ship (ConRo) is a type of vessel that combines the functionalities of a conventional container ship and a Ro-Ro ship, which is specifically built for the transportation of wheeled vehicles (Daduna, 2013).
- The General Cargo and Ro-Ro Ship (GenRo) is a maritime vehicle that exhibits a hybrid configuration, integrating the characteristics of a conventional cargo ship with a Ro-Ro ship. The GenRo ship is typically distinguished from a ConRo ship by its relatively smaller size and cargo-carrying capacity (Schramm, 2020).
- The RoPax ship is a maritime vessel that enables the conveyance of both passengers and motor vehicles. It can be compared to a ferry in terms of its operational characteristics and intended use (Antão & Guedes Soares, 2006).

Car carriers do not require the use of specialist equipment for the loading and unloading procedure, unlike other types of vessels that rely on cranes or pumps for cargo handling activities. The ship is equipped with ramps, often located at the stern or stem (sometimes on the side, although less commonly), which facilitate the transportation of wheeled vehicles to their designated areas on board. Following the procedure in reverse, the unloading of cargo is then carried out at the designated port

(Tuswan et al., 2021). Cargo ships and container ships have different criteria for measuring load capacity. Cargo ships commonly adopt the Deadweight Tonnage (DWT) measure, whilst container ships typically utilize the Twenty Foot Equivalent Units (TEU) meter. In contrast, Ro-Ro vessels quantify their cargo-carrying capability by assessing the aggregate loading length in lanes or the overall count of vehicles conveyed (Sun et al., 2022).

The Höegh Target, a famous Pure Car Carrier, exhibits an impressive capability to transport up to 8500 autos throughout its fourteen distinct decks. The design of this ship has been purposefully optimized in order to improve and simplify commercial operations between the East Asian and European regions (Nieuwenhuis, 2017). Despite its impressive payload capacity, this particular vessel does not qualify as the longest vehicle carrier, as its dimensions measure approximately 200 meters in length and 36 meters in width.

Car carriers can be readily identified based on their external features, as they are equipped with noticeably elevated sideboards (Simopoulos et al., 2008). According to Thies and Ringsberg (2023), the lateral sides of ships, characterized by their expansive surface area, are susceptible to straying from their intended orientation when exposed to high winds. The increase in the vehicle's transport capacity is achieved by vertically arranging multiple decks. To address the issue of less cargo space, the configuration of tween decks is strategically adjusted to maximize loading capacity (Skoupas et al., 2009). Moreover, the ship utilizes two ramps located at the front and back ends, respectively, to enhance the efficient execution of loading and unloading procedures (Sun et al., 2022).

According to the International Energy Agency (IEA), the projected quantity of electric vehicles in circulation during the year 2021 is around 16.5 million. Additionally, the IEA anticipates an additional 10 million EVs to be sold in the subsequent year of 2022 (IEA, 2023). In the year 2022, inside the European Union (EU), the proportion of newly registered vehicles that were powered by petrol accounted for 36.4%, and diesel-fueled cars constituted 16.4% of the total registrations. The data reveals that electrically chargeable vehicles account for 21.6% of recently registered passenger cars in the European Union. In September 2019, a maritime incident transpired with a cargo vessel carrying a substantial load of 4200 autos, which encountered a disastrous occurrence leading to its overturning. The occurrence pertaining to the capsizing of the cargo vessel known as the "Golden Ray," which possessed a deadweight tonnage (DWT) of 20995, in the vicinity of the Georgia coastline, resulted in significant monetary damages over \$200 million (Mok et al., 2023). The primary cause of this terrible incident can be largely traced to inaccurate stability calculations related to the vessel. According to Riess and Gray (2021), a significant sum of \$142 million was reported as damages directly associated with the carried cargo. Considerable attention is devoted to the matter of stability for this particular type of vessel, both in its intact state and when subjected to damage (Ruggiero, 2015). Additionally, the ship's stability is examined in connection to its operational profile, considering the specific climatic conditions it is expected to encounter along its intended sailing path. The objective of this study is to evaluate the feasibility of utilizing a PCC for the transportation of electric vehicles as a viable alternative to traditional fossil fuel-powered vehicles. The primary emphasis was placed on examining the ability of electric vehicles to contribute towards the reduction of greenhouse gas emissions. The primary objective of this study is to investigate the effects of transporting electric vehicles, in comparison to conventional automobiles, on the stability of ships. Moreover, comparative data was obtained by conducting transportation scenarios that involved both conventional automobiles and electric vehicles. The scenarios included an equal number of vehicles and a similar total cargo weight.

2 Ship Stability Parameters and Regulations

The existence of several stability control factors in the equilibrium of forces acting on floating bodies, such as ships, has been demonstrated by Im and Choe (2021). The idea of "metacenter height," which is employed to assess initial stability, is considered the most fundamental among these concepts (Ibrahim & Grace, 2010). The calculation of this variable term is contingent upon factors such as displacement, hull shape, and trim angle. In order to attain a state of equilibrium, it is necessary for the total sum of forces and moments acting on an item to be equal to zero. In the absence of any inclination, it may be observed that the center of buoyancy and the center of gravity of a ship align in the same orientation. According to Shakeel et al. (2022), in the event of a change that results in a non-zero distance between these centers, the motion of the ship's heel is noted until the alignment of the ship's center of buoyancy and center of gravity is restored. The point denoted as "M" in Figure 1, which lies on the ship's center line and crosses the new buoyancy center of the ship perpendicularly to the "B" waterline, is commonly referred to as the metacenter point in the state of equilibrium. The ship's "GM" value is determined by the distance between the ship's center of gravity "G" and the point "M" on the center line. The parameter in question is a value that is assessed according to the intact stability regulations of the IMO. The concept of stability is referenced specifically when this value exceeds zero, as noted by Marlantes et al. (2022). If this requirement is not met, the ship will be unable to maintain buoyancy.

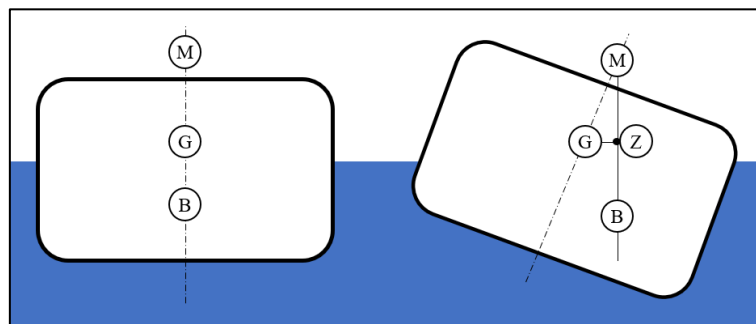


Figure 1: The representation of the initial ship stability condition

The concept of "righting arm - (GZ)" is also employed in the assessment of ship stability (Perrault, 2016). The determination of the moment arm, denoted as the "Z" point, which crosses the line passing through points B and M, and is measured from the ship's center of gravity, is contingent upon the ship's heel angle. The ships revert to their original positions and maintain the initial configuration due to the presence of a moment arm generated at this location.

The current regulations pertaining to Intact Stability (IS) predominantly rely on statistical and semi-empirical methodologies, which fail to sufficiently account for specific perilous dynamic phenomena that may arise in wave conditions. One of the observed occurrences is Parametric Roll (PR), which refers to the occurrence of resonance-induced rolling due to periodic fluctuations in the righting lever caused by longitudinal waves. Another occurrence that can occur is known as Pure Loss of Stability (PLS). This phenomenon is characterized by substantial heel angles or capsizing caused by a decrease in transverse stability when encountering following or stern quartering waves, especially when the wave crest is in close proximity to the midship region. Surf-riding/broaching (SF) is a perilous occurrence that is distinguished by significant heel angles or capsizing, which occurs due to a diminished ability to maintain course in surf-riding conditions. The phenomenon known as Excessive Acceleration (EA) is commonly linked to the roll motion of a ship. On the other hand, the Dead Ship Condition pertains to a ship that lacks power while encountering beam waves and wind.

During the 8th meeting of the International Maritime Organization (IMO) sub-committee on Ship Design and Construction (SDC) in 2022, the final draft of the Explanatory notes to the interim guidelines on the Second-Generation Intact Stability criterion (SGISc) was approved (IMO, 2022). The paper in question was formally endorsed by the Maritime Safety Committee (MSC) during its subsequent meeting in 2022, with the endorsement being sent by an MSC Circular. This event is the completion of a lengthy developmental process that began around twenty years ago. The authoritative document containing the text of the SGISc can be located in the MSC.1/Circular 1627, as published by the International Maritime Organization in 2020. Currently, the utilization of the application is not mandatory according to the IMO; nonetheless, the organization strongly advocates for its adoption in order to improve the gathering of feedback and experiences, hence facilitating future improvements. The SGISc represents notable progress in the implementation of a probabilistic and performance-based approach in the field of ship safety. The aforementioned criteria pertain to the ship's stability performance, specifically considering the dynamic influences resulting from wind and waves.

The formulation of the SGISc has taken into account the operating parameters of the ship. This development represents a notable progression as compared to the first set of standards, particularly the IS code (IMO, 2008). The recently implemented standards include a collection of Operational Measures (OM), including two elements: Operational Limitation (OL) and Operational Guidance (OG). The significance of implementing this measure has been acknowledged as a result of the understanding that, in order to improve the safety of ship operations, it is crucial to take into account various operational elements (Liwång, 2019; Rudaković & Bačkalov, 2019). The operational measure can be considered as an additional tool for effectively addressing the safety performance of a vessel.

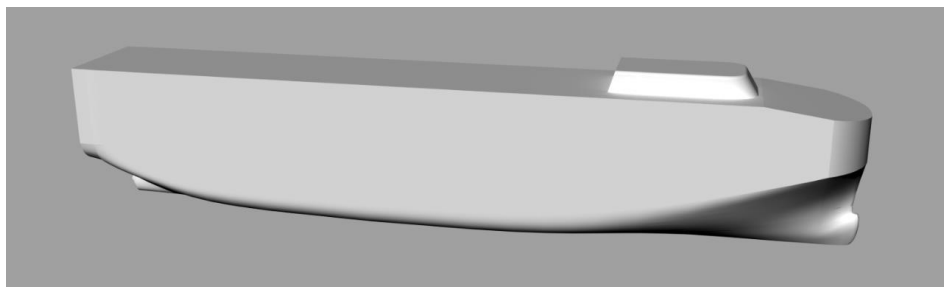
3 General Characteristics of the Concept Vessel

The ship used in this study was designed by the author, and the geometric features of similar ship types in current use were taken into consideration. The initial design calculations for a PCC-type Ro-Ro vessel encompass the creation of a model representing the proposed design and the identification of crucial aspects, such as loading conditions. The determinations are derived from rough calculations of the overall weight categories, hydrostatic properties, and stability measurements. When assessing the stability characteristics, it is postulated that the vessel maintains buoyancy at two discrete drafts, specifically 10.50 m and 11.11 m. A water depth of 10.50 meters is required to facilitate the transportation of an entire fleet of 7700 conventional-engine cars or 5775 electric vehicles (EVs). A water depth requirement of 11.11 meters is deemed necessary when the cargo consists only of 7700 new-generation electric vehicles. Consequently, the calculated level of stability encompasses three distinct combinations. Table 1 presents a detailed summary of the fundamental data pertaining to the vessel.

The PCC Ro-Ro vessel, which has been designed specifically to facilitate the movement of vehicles, incorporates a total of 14 decks that are exclusively allocated for the purpose of containing cars. The present design facilitates the effective loading and transportation of a maximum capacity of 7700 automobiles. The schematic depiction of the ship's design, as examined in this investigation, is presented in Figure 2. The design comprises a conventional propulsion system, consisting of a singular internal combustion main engine and a propeller.

Table 1: Details about the ship

Specifications	Values	
Length overall (LOA) [m]	230.0	230.0
Draft amidships (T) [m]	10.50	11.11
Displacement [t]	53050	56900
Waterline (WL) length [m]	219.99	220.25
Beam max extents on WL [m]	32.00	32.00
Wetted area [m ²]	8991.1	9300.9
Waterplane area [m ²]	6189.9	6268.9
Prismatic coefficient (C_p)	0.748	0.755
Block coefficient (C_b)	0.700	0.707
Max Section area coefficient (C_m)	0.945	0.948
Waterplane area coefficient (C_{wp})	0.879	0.890

**Figure 2:** An overall perspective of the concept vessel

The process of assigning weight categories to the ship was carried out by employing empirical calculations derived from relevant literature sources. The utilization of empirical formulas for estimating values is a prevalent technique in the early phases of ship construction, particularly for the purpose of preliminary design. Table 2 provides a thorough compilation of weight categories, along with empirical weight estimation methodologies and their corresponding values.

Table 2: Properties of the weight categories

Weight group	Calculation method	Weight [t]	
		T=10.50m	T=11.11m
Construction	Kafalı (1988)	20000	
Main machinery	Barrass (2004)	1800	
Auxiliary machinery	Kupras (1981)	1000	
Outfitting	Kafalı (1988)	4500	
Engine car cargo load	Jia (2007)	11550	-
Electrical car cargo load	Kane (2023)	-	15400
Service requirements	Sun et al. (2022)	14200	
Displacement		25750	29600
Total displacement		53050	56900

The total displacement of a ship is determined by its general characteristics, weight groups, and distributions. The consideration of ship stability maintains significant importance within the realm of ship design.

4 Results and Discussion

Ships are subjected to a wide range of fluctuating conditions during the course of their trips. Despite a lack of understanding of how these variables affected ships before that period, adherence to stability requirements set by international conventions and recognized by classification societies in ship designs ensures safety. The sinking or damage to ships can occur due to the presence of inappropriate cargo or a failure to adhere to adjustments in ship equilibrium throughout the course of the journey. Maritime incidents result in various adverse consequences, including casualties, material damage, and substantial harm to marine ecosystems and the environment. Irrespective of the specific characteristics and size of the vessel under consideration, it is imperative to get the hydrostatic values table as an initial phase in the ship design process. Table 3 displays the pertinent parameters utilized in the hydrostatic calculations of the PCC Ro-Ro vessel concept under examination.

Table 3: *The ship's hydrostatic values*

Draft amidships [m]	9.50	10.00	10.50	11.00	11.50
<i>Displacement [t]</i>	46763	49877	53050	56221	59442
<i>Heel [deg]</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Draft at FP [m]</i>	9.50	10.00	10.50	11.00	11.50
<i>Draft at AP [m]</i>	9.50	10.00	10.50	11.00	11.50
<i>Draft at LCF [m]</i>	9.50	10.00	10.50	11.00	11.50
<i>Trim (+by stern) [m]</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>WL length [m]</i>	219.39	218.96	219.99	220.23	220.25
<i>Beam max extents on WL [m]</i>	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
<i>Wetted area [m²]</i>	8486.68	8731.17	8991.05	9247.34	9497.87
<i>Waterplane area [m²]</i>	6046.66	6116.79	6189.96	6256.76	6312.67
<i>Prismatic coefficient (C_p)</i>	0.737	0.745	0.748	0.754	0.760
<i>Block coefficient (C_b)</i>	0.684	0.695	0.700	0.708	0.716
<i>Max section area coefficient (C_m)</i>	0.939	0.942	0.945	0.948	0.950
<i>Waterplane area coefficient (C_{wp})</i>	0.861	0.873	0.879	0.888	0.896

In order to determine the equilibrium and stability characteristics of a constructed ship model, it is imperative to conduct a series of computational analyses. To conduct these calculations, it is essential to first determine the weight of the ship's hull, machinery, and equipment, together with the cargo carried on both the decks and holds. Furthermore, it is necessary to ascertain the required load for the service as well as identify the placement of comparable specialized equipment on the vessel's hull. By employing data acquired via stability calculations and the accompanying equilibrium conditions, it becomes possible to predict the motions of a vessel in its buoyant condition. Table 4 displays the cargo statistics for every loading combination of the conceptual vessel. The utilization of these computations also presents several benefits in the realm of hull design.

Based on the data provided in Figure 3, it is important to possess the GZ- ϕ graph in order to evaluate the ship's ability to sustain its buoyant state after undergoing modifications caused by internal and external forces acting upon it. In the absence of these forces, the ship has the ability to return to its initial state of balance. In the present study, it is important to analyse the data obtained for the three different loading conditions.

The stability curve of the loading scenarios demonstrates that the minor disparity in stability values between conventional and electric vehicles can be ascribed to the negligible fluctuation in weight on the

vehicle decks, assuming a consistent total load weight. The projected maximum limit for the moment arm of the righting capability in the 7700 conventional vehicles and 5775 electric vehicles is approximately 3.20 meters. The aforementioned measurement is attained when the angle of the heel reaches 44.5 degrees. However, if all the cargo compartments of the ship are occupied with 7700 electric vehicles (EVs), there is a 15% reduction in the value of the righting moment arm, leading to a decrease of 2.689 meters. The mentioned reduction is equivalent to a heel angle of 42.7 degrees. Hence, it is evident that the transportation of an equal quantity of conventional and electric cars results in an increase in the ship's draft and a decrease in the stability needed.

Table 4: Loading conditions

Item Name	Longitudinal Arm [m]	Vertical Arm [m]	Total Mass (7700 Conv.) [t]	Total Mass (5775 EVs) [t]	Total Mass (7700 EVs) [t]
Construction	110.00	10.00	20000	20000	20000
Machinery	28.00	3.00	2800	2800	2800
Outfitting	110.00	8.00	4500	4500	4500
Car deck 1	110.00	2.70	450	450	600
Car deck 2	110.00	5.00	450	450	600
Car deck 3	110.00	7.30	525	540	700
Car deck 4	110.00	9.60	825	830	1100
Car deck 5	110.00	11.90	825	830	1100
Car deck 6	110.00	14.20	825	830	1100
Car deck 7	110.00	16.50	825	830	1100
Car deck 8	110.00	18.80	975	970	1300
Car deck 9	110.00	21.10	975	970	1300
Car deck 10	110.00	23.40	975	970	1300
Car deck 11	110.00	25.70	975	970	1300
Car deck 12	110.00	28.00	975	970	1300
Car deck 13	110.00	30.30	975	970	1300
Car deck 14	110.00	32.60	975	970	1300
Service req.	115.00	8.00	14200	14200	14200
Total tonnage			53050	53050	56900

* "Conv." is for carrying conventional engine cars; "EVs" is for carrying electric vehicles.

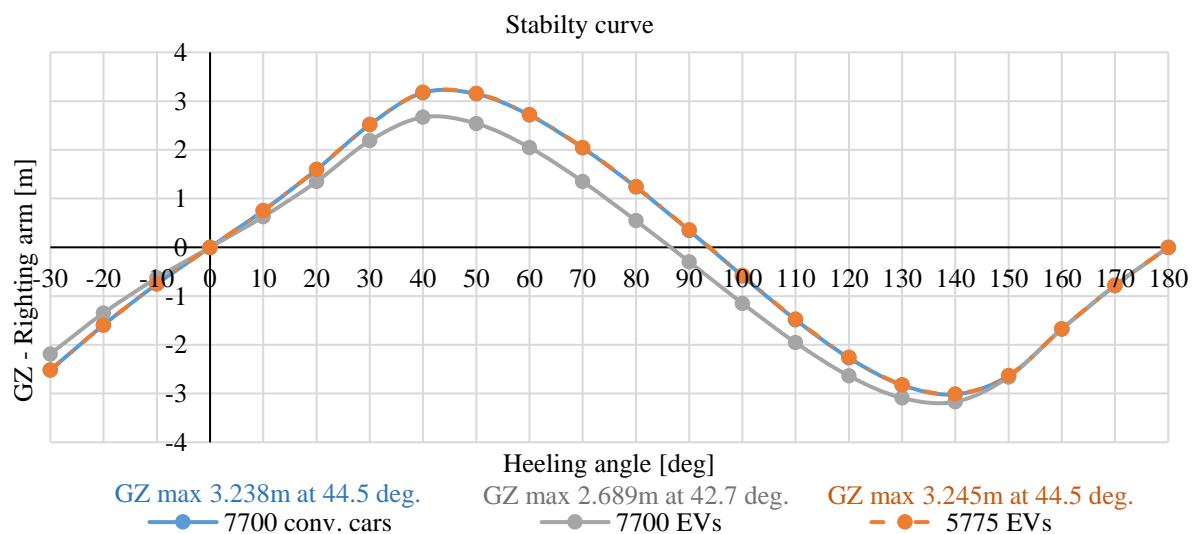


Figure 3: Calculated stability values

5 Conclusions

The objective of this research is to examine the effects of shipping a specific number of electric vehicles, respectively 5775 and 7700, on the stability of a Ro-Ro vessel. This investigation focuses on a scenario where the Ro-Ro ship is already loaded with 7700 cars that are powered by internal combustion engines. Additionally, it is important to acknowledge that electric vehicles (EVs) possess a greater unit weight in comparison to traditional vehicles. This prompts inquiry into the potential equilibrium condition that might ensue if the entirety of the ship were to be exclusively occupied by electric cars. Furthermore, it is crucial to consider the hydrostatic values while examining the state of balance.

The findings indicate that, when considering standard operational circumstances and a consistent ship draft, the transportation capacity of traditional cars is 7700, while electric vehicles have a capacity of 5775. This finding suggests a decrease of 25% in the vehicle's carrying capacity for products. In this particular case, it can be inferred that the cost of transportation per automobile will have a direct correlation with the rise in quantity.

When the quantity of vehicles being transported remains constant, the presence of 7700 electric vehicles within the cargo compartments leads to a rise in the ship's draft of 61 cm. This suggests that the vessel requires supplementary engine power due to the increased wet surface area, even when accounting for the situation when the ship is exclusively engaged in displacement-type motion. If the installed engine power is enough, a larger quantity of fuel is required to sustain the same operational velocity. From an alternative perspective, it denotes the choice to decrease the rate of service without incurring any additional operational costs. Therefore, the identification of supplementary operating costs incurred due to a delayed arrival at the intended location underscores the need for optimization.

In the upcoming study, an examination will be conducted on the disparities in operational expenditures related to the conveyance of 7700 and 5775 electric cars (EVs), with a specific emphasis on fuel expenditures. Furthermore, it will be investigated situations in which an increase of fuel and engine power is unattainable and proceed to examine the consequences of diminished velocity on various ancillary expenditures. In addition, there is a chance to evaluate the components that might be modified in order to avoid these changes in costs.

6 Declarations

6.1 Study Limitations

This study considers two draft values of the Ro-Ro ship, and the stability criterion mentioned only includes static stability. In addition, the configurations of the vehicle transportation service only include the separate transportation of electric or internal combustion engine vehicles, and the combined transportation of the two vehicle types is not considered.

6.2 Acknowledgements

This study is an expanded version of the proceeding presented at the I. International Maritime and Logistics Congress.

6.3 Competing Interests

There is no conflict of interest in this study.

References

- Antão, P., & Guedes Soares, C. (2006). Fault-tree models of accident scenarios of RoPax vessels. *International Journal of Automation and Computing*, 3(2), 107–116. <https://doi.org/10.1007/s11633-006-0107-8>
- Barrass, B. (2004). *Ship design and performance for masters and mates*. Elsevier.
- Daduna, J. R. (2013). Short sea shipping and river-sea shipping in the multi-modal transport of containers. *International Journal of Industrial Engineering : Theory Applications and Practice*, 20(1–2), 225–240.
- Hasegawa, K., Kang, D., Sano, M., Nagarajan, V., & Yamaguchi, M. (2006). A study on improving the course-keeping ability of a pure car carrier in windy conditions. *Journal of Marine Science and Technology*, 11(2), 76–87. <https://doi.org/10.1007/s00773-006-0214-9>
- Ibrahim, R. A., & Grace, I. M. (2010). Modeling of ship roll dynamics and its coupling with heave and pitch. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010.
- IEA. (2023). Electric Vehicles. <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles%0A>, Access date: 10 August 2023.
- Im, N.-K., & Choe, H. (2021). A quantitative methodology for evaluating the ship stability using the index for marine ship intact stability assessment model. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 13, 246-259.
- IMO. (2008). *MSC. 267 (85)-adoption of the international code on intact stability*. International Maritime Organisation (IMO), 12-17. [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Pages/default.aspx](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Pages/default.aspx)
- IMO. (2020). *MSC. 1-Circ. 1627 Interim Guidelines on the Second Generation Intact Stability Criteria*. IMO. [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Pages/default.aspx](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Pages/default.aspx)
- IMO. (2022). *SDC. 8/WP. 4/Add. 2 Development of Explanatory Notes to the Interim Guidelines on Second generation intact stability criteria*. IMO.
- Jia, J. (2007). Investigations of vehicle securing without lashings for Ro-Ro ships. *Journal of Marine Science and Technology*, 12(1), 43–57. <https://doi.org/10.1007/s00773-006-0240-7>
- Kafalı, K. (1988). *Gemilerin dizaynı*. İTÜ Baskısı.
- Kane, M. (2023). *Electric Cars From Heaviest To Lightest*.
- Kang, M. H., Choi, H. R., Kim, H. S., & Park, B. J. (2012). Development of a maritime transportation planning support system for car carriers based on genetic algorithm. *Applied Intelligence*, 36, 585–604. <https://doi.org/10.1007/s10489-011-0278-z>
- Kennedy, C. (2023). *RO-RO Ferries and the Expansion of the PLA's Landing Ship Fleet*. <https://cimsec.org/ro-ro-ferries-and-the-expansion-of-the-plas-landing-ship-fleet/>
- Kupras, L. K. (1981). Design charts for determining main dimensions, main engine power and building costs of bulkcarriers. *International Shipbuilding Progress*, 28(322), 136–150.
- Liwång, H. (2019). Exposure, vulnerability and recoverability in relation to a ship's intact stability. *Ocean Engineering*, 187, 106218. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106218>
- Marlantes, K. E., Kim, S., & Hurt, L. A. (2021). Implementation of the IMO second generation intact stability guidelines. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 41.

- Mok, I. S., D'agostini, E., & Ryoo, D. K. (2023). A validation study of ISM Code's continual effectiveness through a multilateral comparative analysis of maritime accidents in Korean waters. *The Journal of Navigation*, 76(1), 77-90.
- Nieuwenhuis, P. (2017). Car Shipping. In A. Beresford & S. Pettit (Eds.), *International Freight Transport: Cases, Structures and Prospects*. Kogan Page.
- Perrault, D. (2016). Correlations of GZ curve parameters. In *15 th International Ship Stability Workshop, ISSW*.
- Riess, R., & Gray, M. (2021). The Golden Ray cargo ship capsized because of inaccurate stability calculations, the NTSB finds. <https://edition.cnn.com/2021/09/14/us/golden-ray-cargo-ship-ntsb-report/index.html>, Access date: 13 August 2023.
- Rudaković, S., & Bačkalov, I. (2019). Operational limitations of a river-sea container vessel in the framework of the Second Generation Intact Stability Criteria. *Ocean Engineering*, 183, 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.05.013>
- Ruggiero, V. (2015). 2004–2014 Ten years of changing in the project of passenger ferries on Italian lakes, due to the 2006/87/CE and consequent rules. *18th International Conference on Ships and Shipping Research, NAV 2015*, 1080–1089.
- Schramm, H. J. (2020). A cliometric approach to market structure and market conduct in the car carrier industry. *Case Studies on Transport Policy*, 8(2), 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.03.012>
- Shakeel, M., Khalid, H., Riaz, Z., Ansari, S. A., & Khan, M. J. (2022, August). Development of Intact Stability Calculations Tool for Ships. In *2022 19th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)* (pp. 858-872). IEEE.
- Silvanus, M. (2009). *Wind assisted propulsion for pure car and truck carriers* (Issue January) [Royal Institute of technology (KTH)]. http://www.kth.se/polopoly_fs/1.162363!/Menu/general/column-content/attachment/SilvanusThesis.pdf
- Simopoulos, G., Konovessis, D., & Vassalos, D. (2008). Sensitivity analysis of the probabilistic damage stability regulations for RoPax vessels. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(2), 164–177. <https://doi.org/10.1007/s00773-007-0261-x>
- Skoupas, S., Zaraphonitis, G., & Papanikolaou, A. (2009). Parametric Design and Optimization of High-Speed , Twin-Hull RoRo- Passenger Vessels. *Proceedings of the 10th International Marine Design Conference*.
- Sun, X., Wang, S., Wang, Z., Liu, C., & Yin, Y. (2022). A semi-automated approach to stowage planning for Ro-Ro ships. *Ocean Engineering*, 247, 110648. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110648>
- Thies, F., & Ringsberg, J. W. (2023). Retrofitting WASP to a RoPax Vessel—Design, Performance and Uncertainties. *Energies*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/en16020673>
- Tuswan, T., Zubaydi, A., Piscesa, B., Ismail, A., Ariesta, R. C., Ilham, M. F., & Mualim, F. I. (2021). Influence of application of sandwich panel on static and dynamic behaviour of ferry ro-ro ramp door. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(1), 208–216. <https://doi.org/10.5937/jaes0-27708>
- Yasukawa, H. (2019). Maneuvering hydrodynamic derivatives and course stability of a ship close to a bank. *Ocean Engineering*, 188(September), 106149. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106149>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Review Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 4(1), 22-29, 2024

Received: 30-May-2024 Accepted: 21-Jun-2024

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1492630>



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Dalış Sağlığı ve Güvenliği

Ramazan AÇIKGÖZ *¹

*¹ İstanbul Gelişim Meslek Yüksek Okulu, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Avcılar, İstanbul, Türkiye
racikgoz@gelisim.edu.tr

ÖZ

Denizcilik mesleği dünyanın tehlikeli sınıf kategorisi mesleklerinden biridir. Denizcilikle ilgili uluslararası kuruluşların ve denizci devletlerin çalışmaları, dalış operasyonlarının dalış endüstrisinde gemilerde çok tehlikeli bir iş olduğunu göstermektedir. Emniyet ve Güvenlik kavramları ile ilgili ülkemizde kavram kargaşası yaşandığı, özellikle bu konuda kavramların doğru kullanımının iş emniyeti açısından önemi vurgulanmaktadır. Ülkemizde de tehlikeli işlerle ilgili düzenlemelerde, sualtında yapılan işlerin en tehlikeli işler sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle çok tehlikeli işlerden olan sualtı operasyonlarında emniyet önemli bir faktördür. Bu çalışmada; deniz endüstrisinin bir parçası olan gemilerde; genellikle uygulamalarda her iki taraf tarafından ihmal edilen, sanayi dalgıçlarının yaptığı işlerden, tekne altı temizliği, pervane parlatılması, klass kuruluşu gözetiminde gemi inşa emniyet sertifikası kapsamında tekne sualtı sörveyi dalışları, liman ve altyapı çalışmaları, kablo ve boru hatları döşeme gibi dalış işlerinin başında bulunan dalış amiri diye adlandırılan başdalgıç ve gemi personelleri arasında çalışma izni aşaması dahil tüm hesaba katılması gereken faktörler ve alınması gerekli tüm tedbirler ile ilgili sektörün bir rehber olarak kullanabileceği işlemler ve prosedürler ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: İSG, dalış, emniyet, gemi, çalışma izni

Occupational Diving HSE

ABSTRACT

Maritime work at sea is a dangerous job. The work of international organizations and maritime nations related to health and safety environment on board shows that commercial diving operations on board are the most dangerous works in maritime industry. The terms of Safety and Security are not defined in our country, therefore it becomes crucial to properly use of them. The work done underwater is also determined in Turkey that is classified as the most dangerous jobs in rules and regulations. Therefore commercial diving operations becomes crucial for safety on board.

¹* Sorumlu yazarın e-postası: racikgoz@gelisim.edu.tr

The importance of the diving work permit and procedures will be set out on this study and both parties will be use as a guide outcomes of this study, during Industrial divers works on board such as hull cleaning, propeller polishing, diving for underwater hull structurel survey required by classification societies of ships, deploying fiberoptic cables and pipes lines, port and infrastructurel works underwater, is often neglected by owner of the ship or representative masters and diving firm or diving supervisors in the application.

Keywords: HSE, diving, safety, ship, permit to work

1 Giriş

Dalış operasyonlarında; dalış operasyonunu yapacak olan işletmedeki dalıştan sorumlu kişiler ve gemi kaptanı arasında emniyetli ve güvenli bir dalış için prosedürlere ihtiyaç bulunmaktadır. Eğer gerek dalışı yaptıracak sorumlu ve dalış personelinin şirketinin dalış yapılan gemi ile aynı şirket çalışanı olmaması durumunda bu prosedürler ortada iki farklı şirketin olması nedeniyle de emniyet kültürü açısından farklılıklar göstereceğinden önemi daha da artmaktadır.

Dalış operasyonlarında dalışı yaptıran dalış amiri ve dalışı yapan personellerin alması gerekli tedbirler yanında, gemi tarafından da alınması gerekli önemli emniyet ve güvenlik önlemleri bulunmaktadır. Bu itibarla her iki tarafın emniyetli bir dalışı gerçekleştirmek için prosedürlerinin bulunması gerekmektedir. Yapılan işin ve özellikle denizde yapılması nedeniyle çok tehlikeli bir iş olmasından dolayı, bu prosedürlerin güvenli bir dalış için her iki tarafta açıkça anlaşılır, açık ve etkin olması gerekmektedir.

Çalışmanın tüm denizlerde dalış işlemleri yaptıran ve yapan dalış şirketlerine, dalgıçlara ve onları istihdam eden şirketlere, dalış sistemleri bulunan ve satürasyon dalışları yapılan kapsamlı dalış gemileri işletenleri(Acıkgoz, 2017), gemi adamları, kaptanlar ve gemi sahiplerine rehber olması amaçlanmıştır. Bu konuda ülkemizin ihtiyacı olan dalışta emniyet kültürünün gelişmesine de katkı sağlanması amaçlanmıştır. Dalış emniyeti ve gemideki dalışlarla ilgili bu içerikte bir çalışma yapılmamış olması, bundan sonra yapılacak araştırmalara da bir veri tabanı oluşturması amaçlanmıştır.

2 Materyal ve Metod

Araştırmada Hazar denizinde petrol platformları ve yapay adaların inşaatı esnasında Resim 1’de görünen Kashagan West denilen yerde uygulanan sağlık ve emniyet uygulamalarının bir örneklemeinin, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Teknik Bilimler MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Sualtı Teknolojisi Programındaki öğrencilerin ders uygulamalarına uyarlanmasıdır(Eni S.p.A. 2015; UAB, 1997; Wagenborg, 2009). Dalış operasyonlarının offshore çalışmalarda ve özellikle de petrol platformları ve buralara mobilizasyonlarda önemli bir yeri bulunmaktadır. Şekil 1’de Hazar denizi denizaşırı petrol platformu ve modülleri yerleştirilmesi operasyonları sonucu oluşan yapı gösterilmiştir.



Şekil 1: Hazar denizinde petrol platformları modül ve altyapı ile yapay adaların inşaatı

3 Araştırma ve Bulgular

Sanayi dalıçlığı kritik bir meslek alanı ve dalıçlar da kritik bir meslek elemanlarıdır. Zira son yıllardaki metro ve denizaltından yapılan Avrasya ve Marmaray gibi büyük tünellerinde dalıçlar kuru dalış dediğimiz çok önemli görevler üstlenmişlerdir. Hatta böyle büyük projelerin yapımı esnasında Türkiye’de ilk satürasyon dalışı gerçekleştirilmiştir (İ.Ü., 2015). Hem dünyada ve hem de ülkemizde dalış sağlık ve emniyet açısından çok tehlikeli mesleklerden birisidir. 26.12.2012 tarihli ve 28509 sayılı RG’de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği’ne İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği’ne ve bu tebliğin eki işyeri tehlike sınıfları listesi’nin 08.03.2020 tarih ve 31062 sayılı RG’de yayımlanan en son değışiklikleri içeren faaliyetlerin tehlike sınıfları açısından, deniz altında yapılan hizmetleri ve denizlerde yapılan inşaat faaliyetleri kapsamında oluşturulan Tablo 1’de çok tehlikeli iş sınıflarında yer aldığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 1: Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinin işyeri tehlike sınıfları listesi

NACE Kod	NACE Tanım	Tehlike Sınıfı
F	İNŞAAT	
42.2	Hizmet projelerinin inşaatı	
42.21	Akışkanlar için hizmet projelerinin inşaatı	
42.21.01	Akışkanlar için uzun mesafe boru hatlarının inşaatı (petrol ürünleri ve gaz taşımacılığı ile su ve diğer ürünlerin taşımacılığına yönelik karada ve deniz altında uzun mesafe boru hattı)	Çok Tehlikeli
42.22	Elektrik ve telekomünikasyon için hizmet projelerinin inşaatı	
42.22.01	Uzun mesafe elektrik ve telekomünikasyon (iletişim) hatlarının inşaatı (uzun mesafe yüksek gerilim elektrik iletim hatları ile uzun mesafe yer üstü/altı veya deniz altı telekomünikasyon iletim hatları)	Çok Tehlikeli
42.9	Bina dışı diğer yapılara ait projelerin inşaatı	
42.91	Su projeleri inşaatı	
42.91.01	Kıyı ve liman inşaatları ve ilgili hidromekanik yapıların inşaatı (su yolları, liman ve yat limanları, kıyı düzenlemeleri, iskele ve rıhtımlar, dalgakıranlar, kanallar vb. yapılar)	Çok Tehlikeli
42.91.02	Su ve su zemininin taranması ve temizlenmesi (deniz, nehir, göl vb.)	Çok Tehlikeli
42.91.03	Tersane, dok ve kanal havuzu inşaatı (gemi inşaatı ve tamiri için)	Çok Tehlikeli
A	TARIM, ORMANCILIK VE BALIKÇILIK	
03	Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği	
03.1	Balıkçılık	
03.11	Deniz balıkçılığı	
03.11.02	Deniz kabuklularının (midye, ıstakoz vb.), yumuşakçaların, diğer deniz canlıları ve ürünlerinin toplanması (sedef, doğal inci, sünger, mercan, deniz yosunu, vb.)	Çok Tehlikeli

6331 sayılı kanunla Türkiye'deki tüm iş kollarında sağlık ve emniyet ile ilgili tedbirlerin alınması ve risk değerlendirilmelerinin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bütün bu yasal düzenlemelere rağmen denizaltı hizmetleri ve deniz inşaat faaliyetlerinde gerektiği gibi olmadığı tespit edilmiştir. Sürdürülebilir bir kalkınma bağlamında denizaltı hizmetleri, deniz inşaat faaliyetleri kapsamında olan özellikle de dalış operasyonlarıyla ilgili olarak sağlık ve emniyet tedbirlerinin yeterince bilinmediği ve farkındalığın olmadığı tespit edilmiştir.

Bunun yanında denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde çalışanların çalışma esnasındaki tehlikelerden korunmadığı gibi aşinalıklarının olmadığı, belirlenmiştir. Faaliyetlerle ilgili yaralanmalar ve hastalıklar, sağlığın bozulmasını ve olabilecek tehlikeli olayların önlenmesinin sağlanmadığı gibi tehlikelerin azaltılması için tedbirlerin alınmadığı belirlenmiştir. Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde çalışanların refahı ve genel çalışma ortamının korunması konularını kapsayan sağlık ve emniyet ile ilgili tutarlı bir ulusal politika ve ilkelerin oluşturulmadığı ve uygulanmadığı belirlenmiştir.

Kaldı ki; çok tehlikeli bu faaliyet alanında özel bir uygulanabilir, pratik ve tutarlı sağlık ve emniyet politikasının ve ilkelerinin oluşturulması bir zorunluluk arz etmektedir. Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde sağlık ve emniyetin geliştirilmesi için devletler, gemi donatanları, işverenler, işçiler ve onların örgütleri arasında etkili bir danışma ve işbirliğinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde yetkili makamların ilgili rol ve yükümlülükleri ile donatanların, işverenlerin, işçilerin ve işyeri tehlikeleriyle ilgili diğer tüm tarafların sorumluluk, görev ve haklarının belirlenmediği saptanmıştır. Ayrıca endüstriyel çalışma alanlarından çok özel bir alan olan, denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde sağlık ve emniyet bilgisinin yeterli olmadığı yanında, bu özel alanla ilgili sağlık ve emniyet uzmanı ile ilgili bir yeterliliğinin de geliştirilmediği ve bulunmadığı tespit edilmiştir.

4 Sonuçlar

Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde sağlık ve emniyet yönetim sistemleriyle ilgili ulusal ve uluslararası bazı çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır(Bristol Port Company, 2014; Diving Operation, 1986; Diving Regulations, 2002; EDTC, 2019; A.D., 2005; TSSF, 2008; UAB, 1997). Kaldı ki; 6331 sayılı kanunda da denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinden olan dalış aktiviteleri ve operasyonları hakkında olması gereken özel bir bölüm bulunmamaktadır. Bu ihtiyaç da göz önüne alındığında bu çalışma literatür açısından da kapsamlı önemli bir bilimsel ve uygulamalı kaynak olacaktır.

Deniz endüstrisinde dalış operasyonları büyük bir öneme sahiptir. Zira gemilerden genellikle deniz projeleri, liman inşaat, gemilerin bakım tutumu, gemilerin sualtı kesiminin saklanması sonucu gemi direncini artıracığından temizlenme ihtiyacı, brush cart, pervane parlatma gibi birçok işler için dalış operasyonları sanayi dalgıçlarınca yapılmaktadır. Dalış operasyonları dalış teknesinden veya iş yapılacak gemilerden olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Dalış operasyonlarında sağlıklı ve emniyetli bir çalışma çevresi yaratmak için dalış operasyonunun yapılacağı gemi personeli ile dalış amiri ve dalgıçlar arasında mutabık kalınacak prosedürler emniyetli dalış operasyonu için vazgeçilmez bir unsurdur. Dalış emniyeti ile ilgili bu çalışmada ortaya konan dalış tehlikeleri ve alınması gereken tedbirler balıkçılıktaki dalış operasyonlarında da emniyetle uygulanabilir(Gulsahin et al., 2020; Percin, 2018). Emniyetli bir dalış için her iki tarafın mutabık kalacağı hususlar;

- Gemi tarafından ISM gereği güvenli bir dalış için çalışma izni hazırlanmalıdır.

- Gemi sahibi veya temsilcisinin dalışta kullanılacak ekipmanların ve malzemelerin standartlara ve dalışa uygun olduğundan emin olmalıdır. Bu itibarla taraflardan dalış firması veya dalış amiri ve gemi donatanı veya temsilcisi kaptan arasında yazılı bir sözleşme veya formel bir anlaşma olmalıdır.
- Tüm gemi personeli dalış operasyonu ile ilgili bilgilendirilmelidir.
- Dalış operasyonu sırasında gemiden sağlanabilecek dalış ekipmanları veya satıhtan besleme dalışlar için hava kompresörlerinin emniyetli dalışı gerçekleştirebilmek için uygun ekipman olduğundan taraflar emin olmalıdır.

Dalış operasyonlarında taraflarca yetki, sorumluluk, ödev ve görevlerin belirlemiş olması gerekmektedir. Bunlar;

- Gemi kaptanı ve Dalış amiri dalış kurallarına uygun olarak dalış operasyonunu emniyetli bir şekilde gerçekleştirmeden sorumludurlar.
- Dalış planı hazırlanmalı ve bu plana göre dalış emniyetli ve sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmelidir.
- Dalış planı hazırlanırken tüm riskler önceden belirlenmelidir.
- Dalış operasyonu için gemide bir zabıt dalış emniyet zabiti (Diving Safety Officer) olarak görevlendirilmelidir. Bu atanmış kişi ile dalış amiri emniyetli ve sağlıklı bir dalış için daima irtibat halinde olmalıdırlar.
- Gemi makinalarının çalıştırılmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır.
- Sualtı çalışmalarında gemi karinasında çalışmalar yapılacağından gemi kaptanı ve dalış amiri tarafından, gemide bu çalışmalarda olabilecek tehlikelerin ana kaynağı olan makine ve diğer teçhizatların çalışmalarından sorumlu baş mühendis bilgilendirilmeden ve baş mühendis tarafından gerekli tedbirler alındığından emin olunmadan kesinlikle dalış operasyonuna başlama izni(PTW) verilmemelidir.
- Gemi personeli dalış operasyonu sırasında hangi makinaların çalıştırılmaması gerektiğini ve çalıştırılmalarının önlenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bunun yanında bir tehlike anında ihtiyaç olduğunda(in case of emergency) çalıştırılmaları için prosedür bulunmalıdır.
- Dalış operasyonu sırasında değişen hava koşulları, rüzgar, akıntı, görüş ve yerel trafik gibi bilgilerin verilmesi için gemi dalış emniyet zabiti ile dalış amiri arasında uygun haberleşme sağlanmalıdır.
- Gemi kaptanı gerekli yerlere(Köprü üstü, Makina dairesi, personel ve zabitan salonu, talimat panosu ve güverteye) emniyetli ve sağlıklı bir dalış operasyonu için talimatları asılmalıdır.
- Kesinlikle gemi hareket halindeyken dalış operasyonu yapılmamalıdır.

- Emniyet nedeniyle mutlaka bir çalışma süresi belirlenmelidir. Mümkün ise çalışmanın gündüz güneşin doğuş ve batışı arasında çalışmaların yapılmasının planlanması gerekmektedir

Dalış amiri dalış operasyonunu gerçekleştirecek kişi olduğundan sanayi dalgıçı eğitimi almış ve birinci sınıf dalgıç yeterliliğine sahip olması ve dalış tekniklerine tümüyle vakıf olmalıdır. Dalış amiri;

- Dalış operasyonunu gerçekleştirecek dalgıçların yeterli ve kompedan olduklarını kontrol edecek ve dalgıçların dalış operasyonunda dalış planına göre yapılacak işlerin üstesinden gelebileceğinden emin olmalıdır.
- Dalış planına tüm dalgıçların aşına olduğundan emin olmalıdır.
- Dalış planının dalış operasyonuna uygun ve güncel olduğundan emin olmalıdır.
- Tüm dalış operasyonunda, Dalgıçların dalış kayıt defterlerinin tutulmasından ve dalışların dekompresyon tablolarına uygun olarak yapılması ve dekoların(durakların) uygun yapılmasının sağlanması.
- Sudaki dalgıçlarla uygun bir telli veya telsiz muhabere sisteminin kurulması.
- Dalış operasyonu gerçekleştirilecek alanın kontrolü ve değişen durumlara göre risk değerlendirmelerinin yapılması.
- Dalış ekipmanlarının emniyetli ve sağlıklı dalış için dalışlar esnasında sürekli kontrollerinin yapılması.
- Gemi Kaptanı veya görevlendirdiği sorumlu zabitle irtibat halinde dalış başlama ve bitiş emirlerinin verilmesi.

Gemiden dalışlarda ise riskler,

- Dalış operasyonunda deniz suyu alıcı ve vericilerinden akan deniz suyundan oluşan su akımının dalgıçlara ve ekipmanlarına olabilecek etkileri,
- Deniz ve hava koşulları, dalış yapılacak yerdeki görüş koşulları nedeniyle dalışın askıya alınması.
- Pervanelerin veya baş, kış pervanesinin, baş ve kış iticilerin(bow and aft thrusters) pompaların veya makinanın çalışmasının etkileri.
- Geminin sualtında çalışıldığından dalgıçların çalışılan ortama uyumu ve oryantasyonu dikkate alınmalıdır.
- Dalgıçlara gemiden düşen bir şeyin çarpma riski.

Netice olarak; bu çalışma denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde sağlık ve emniyet ile ilgili görev ve yükümlülükler, hak ve ödevlerin neler olduğunun belirlenmesi ve rehber olması amaçlanmıştır. Sürdürülebilir bir kalkınma bağlamında çalışma, denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde çalışanlar için emniyet ve sağlığın geliştirilmesine katkıda bulunmak ve bu amaca

ulaşmak için;

- Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde çalışanları tehlikelerden korumak.
- Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerle ilgili yaralanmaları ve hastalıklar, sağlığın bozulmasını ve olabilecek tehlikeli olayların önlenmesi veya azaltılması.
- Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde çalışanların refahı ve genel çalışma ortamının korunması konularını kapsayan sağlık ve emniyet ile ilgili tutarlı bir ulusal politika ve ilkelerin oluşturulması ve uygulanması.
- Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde sağlık ve emniyetin geliştirilmesi için devletler, armatörler, işverenler, işçiler ve onların örgütleri arasında etkili danışma ve işbirliğinin teşvik edilmesi.
- Yetkili makamların ilgili rol ve yükümlülükleri ile armatörlerin, işverenlerin, işçilerin ve işyeri tehlikeleriyle ilgili diğer tüm tarafların sorumluluk, görev ve haklarının belirlenmesi.
- Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde çalışanlar için tutarlı sağlık ve emniyet yönetim sistemlerinin belirlenmesi, uygulanması ve entegrasyonu ile her bir işyerinde sağlık ve emniyet riskleri yönetiminin geliştirilip, iyileştirilmesi.
- Denizaltı hizmetlerinde ve deniz inşaat faaliyetlerinde sağlık ve emniyet bilgisinin geliştirilmesi ve yeterliliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

5 Beyanname

5.1 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2 Yazarların Katkıları

Çalışmanın tamamı Sorumlu Yazar tarafından gerçekleştirilmiştir

Kaynakça

Bristol Port Company, (2014). Marine Permit and Awareness Porcedures, Issue 1, 6s.

Diving Operations (1986) Canada Occupational Health and Safety Regulations (SOR/86-304), Part XVIII.

Diving Regulations (2002). Protection in certain sectors of economic activity, Diving Regulations, 2001 (No.R.10).

EDTC, (2019). Competence Standards for Physicians of Occupational Diving and Tunnelling Companies, 23s.

Eni S.p.A. (2015). Eni Exploration & Production in Kazakhstan Erişim Tarihi: 15.05.2020,
https://www.eni.com/assets/documents/eni_acs.pdf.

Gulşahin, A., Cerim, H., Soykan, O. (2020). Su Ürünleri Mühendisliği'nde Donanımlı Dalışın İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (1), 94-101.

İstanbul Üniveristesi. (2015). İÜ Basın ve Halkla İlişkiler Müdürlüğü. Erişim Tarihi:15.05.2020,
<https://www.istanbul.edu.tr/tr/haber/avrasya-tuneli-projesine-iuden-destek>

[Ministerial Regulation on the Prescribing of Standard for Administration and Management of Occupational Safety, Health and Environment in relation to Diving Work B.E. 2548 (A.D. 2005). 89-94.

Perçin, F., (2018). Job Safety And Accidents In Marine Fish Farms (Sea Bream/Sea Bass) In İzmir/Turkey, Qualitative Studies (NWSAQS), 13(4):30-32,

Acikgoz, R., (2017). Dalış Sistemleri Emniyet Kodu, Çalış Ofset Matbaacılık.

TSSF, (2008). Donanımlı Dalış Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı 26993

UAB,(1997).Profesyonel Sualtıadamları Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı 23098.

Wagenborg, (2009). HSE Policy, Job Hazard Analysis(JHA).



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Review Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 4(1), 30-43, 2024

Received: 10-Jun-2024 Accepted: 23-Jun-2024

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1498953>



SAKARYA UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Optoelektronik Uygulamalar için Grafen

Pınar KÖÇ BAKACAK^{1*} , Aytaç LEVET² 

^{1*} Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Deniz ve Liman İşletmeciliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye. pinarkoc@subu.edu.tr.

² İspir Hamza Polat Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye. aytaclenet@atauni.edu.tr

ÖZ

Grafen ilk izolasyonunun gerçekleştirildiği 2004 yılından beri iki-boyutlu nano materyaller arasında bir yıldız olarak araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Özellikle yeni keşfedilen 2D boyutlu materyal ailesi boyutsallıklarına bağlı olarak esneklik özelliğinin oluşumuna olanak sağlamaktadır. Bilinen ilk iki-boyutlu nano materyal olan grafenin sahip olduğu mükemmel termal, elektronik, optik ve mekaniksel özelliklerinin zenginliğinin yanı sıra, eşsiz 2D yapısından dolayı esnek optoelektronik aygıt uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu sayede insan arayüzlü cihazlar, robotik cilt, giyilebilir optoelektronik cihazlar, dokunmatik ekranlar, ultra hızı lazerler ve ışık yayan aygıtlar gibi esnek ya da gerilebilir cihazlara duyulan büyük ilginin oluşmasına ve bu alanda yürütülen çalışmaların hız kazanmasına sebep olmaktadır. Bu incelemede, grafen tabanlı optoelektronik aygıtların geliştirilmesindeki son gelişmelere kapsamlı bir genel bakış açısı sunmanın yanı sıra bu alana ilişkin gelecek perspektifleri de tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Grafen, optoelektronik, karbon

Graphene for Optoelectronic Applications

ABSTRACT

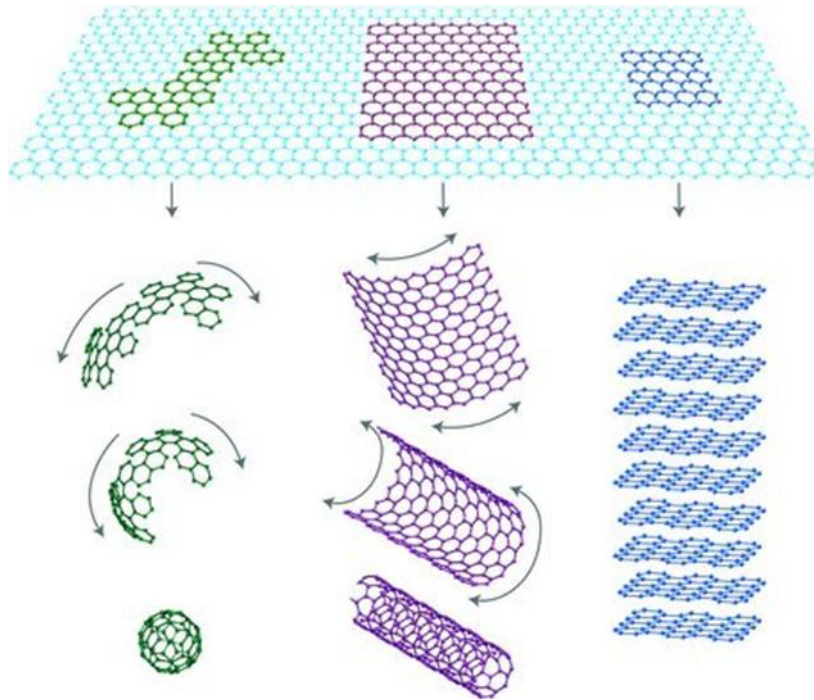
Graphene has attracted the attention of researchers as a star among two-dimensional nanomaterials since its first isolation in 2004. In particular, the newly discovered 2D-dimensional material family allows the formation of flexibility properties depending on their dimensionality. Graphene, the first known two-dimensional nanomaterial, is frequently preferred in flexible optoelectronic device applications due to its unique 2D structure, as well as its excellent thermal, electronic, optical, and mechanical properties. In this way, it causes great interest in flexible or stretchable devices such as human interface devices, robotic skin, wearable optoelectronic devices, touch screens, ultra-fast lasers, and light-emitting devices and the acceleration of studies in this field. This review provides a comprehensive overview of the latest advances in the development of graphene-based optoelectronic devices, as well as discusses future perspectives for this field.

Keywords: Graphene, optoelectronic, carbon

^{1*} Sorumlu yazarın e-postası: pinarkoc@subu.edu.tr

1 Giriş

Grafen sp^2 hibrit yapısına sahip karbon atomlarının altgen bal peteği örgü yapısı içerisinde dizilim gösterdiği, bir atomik tabaka kalınlığına sahip bilinen ilk iki boyutlu nano materyaldir. Grafen sıfır boyutlu (0D) fullerenler, bir boyutlu (1D) karbon nanotüpler ve üç boyutlu (3D) grafit ve elmas yapılarını içeren oldukça büyük karbon ailesinin reisi durumdadır. Yeryüzünde oldukça bol miktarda bulunan karbon elementinin 1980' li yıllara kadar sadece iki fiziksel formu biliniyordu. Bunlar üç boyutlu grafit ve elmadır. Grafitin 1779 yılında Scheele tarafından yürütülen çalışmalara kadar kurşun cevheri olduğu düşünülüyordu. Verner ise 1789 yılında Yunanca "yazı" anlamına gelen grafit terimini literatüre kazandırmıştır. 1985 yılında grafenin yeni bir formu olan fullerenler keşfedildi. 1960' lı yıllarda Ubbelohde ve Lewis tarafından grafitten izole edilen ve 1962 yılında elektron mikroskopunda görüntülenen grafenin ismi, ilk olarak 1994 yılında Boehm tarafından tanımlandı. Bu alanda yürütülen ilk başarılı çalışma ise 2004 yılında Novoselov ve Geim tarafından gerçekleştirildi. Bulk grafitten mikromekaniksel ayrışma yöntemi ile tek tabaka grafen kristalini ele etmeyi başardılar. Sonrasında Scotch Tape teknolojisi yardımıyla silikon alttaş üzerinde bulunan ince silikon dioksit (SiO_2) üzerine transfer ederek grafen tabanlı transistör aygıtını elde ettiler ve bu sayede birçok çalışmada silikonun yerini alan grafen materyalinin özellikleri incelendi. Şekil 1' de grafen ve türevlerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1. Farklı türdeki karbon bazlı malzemelerin anası olarak grafenin şematik gösterimi. (Geim ve Novoselov, 2007)

Bu araştırma iki boyutlu karbon dünyası için oldukça önem arz ediyor. Çünkü bu sayede grafenin yük taşıyıcılarının hızının $\sim 200.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ve spesifik yüzey alanının $\sim 2600 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ değerine sahip olduğu kanıtlanmıştır (Trivedi vd., 2019).

Araştırılan karbon ailesi arasında iki boyutlu (2D) grafen sahip olduğu sp^2 hibrit yapısı ve mükemmel fizikokimyasal özellikleri nedeniyle malzeme biliminden biyoloji elektrik ve optik ile ilgili birçok alanda tercih edilen ayrıcalıklı bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra grafen tek

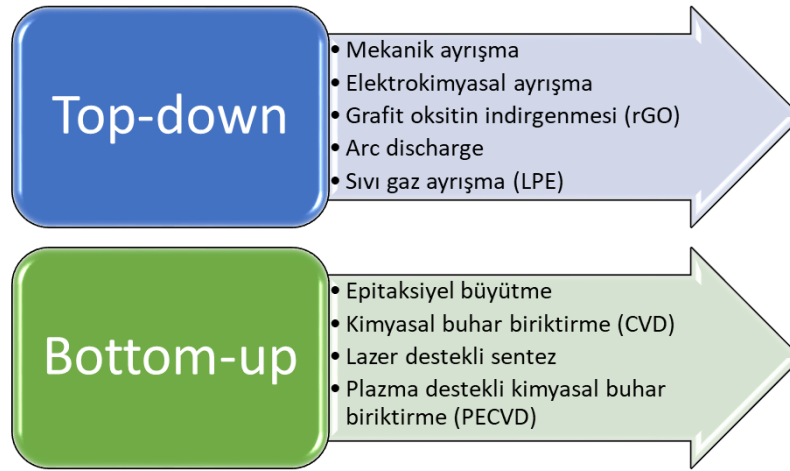
katmanlı yapısı sayesinde son derece elastiktir. Yüksek kırılma mukavemeti (125 GPa), elastik modülü (~ 1,1 TPa grafenin mukavemetinin çeliğe göre 100 kat daha fazla olmasını sağlar), tek tabaka grafenin yüksek ışık geçirgenliği (97,4% 550 nm’ de) yüksek termal iletkenliği (5000Wm⁻¹K⁻¹ bakırınkinden (401 W/mK) 10 kat daha yüksektir), grafenin elektron hareketliliği 106 S/m iletkenliğe ve 31 Ω/sq dirence sahiptir (buda silikonunkinden 140 kat daha fazla olan 2×10^5 cm²/V.s ultra yüksek hareketliliğe karşılık gelir) ve 0,06 mo (mo: serbest eektron kütlesi) etkin elektron kütlesi gibi spesifik ve ayrıcalıklı özellikler sergilemektedir (Bolotin vd., 2008: Dragoman ve Dragoman, 2009:Kim vd., 2009: Gadipelli ve Guo, 2015). Bu çok yönlü özellikleri nedeniyle giyilebilir/esnek elektronikler süper kapasitörler yüksek mukavemeti nedeniyle nanokompozitler esnek şeffaf elektrotlar piller, yakıt hücreleri sensörler kaplamalar ve biyomedikal uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Ghany vd., 2017: Miao ve Fan, 2023).

Keşfedildiği 2004 yılından bu yana tek tabaka grafen (SLG), iki katmanlı grafen (BLG), birkaç katmanlı grafen (FLG), çok katmanlı grafen (MLG), grafen oksit (GO), indirgenmiş grafen oksit (rGO) ve grafen köpük dâhil olmak üzere grafen bazlı malzemelerin sayısı ve çeşidi artmaktadır. Teknik olarak baktığımızda bu grafen türevlerinin çoğu altı kenarlı şekillerle düzenlenmiş tek bir karbon atomu katmanı olan grafen olmamasına rağmen, kolaylık sağlamak için grafen türevlerini "grafen" olarak adlandırmak yaygındır (Kumar vd., 2021: Wang vd., 2024). Özellikle son zamanlarda büyük bir heyecanla yürütülen çalışmalarda grafenin özelliklerinin dış müdahaleler ile değiştirilebilmesi yeni grafen türevi malzemelerin ortaya çıkmasına imkân tanımaktadır. Süper iletkenliğin ortaya çıkması birden fazla katmandan oluşan tabakalı yapılarda bant aralığının artırılabilmesi, dikey istifleme yöntemi ile grafende kuantum tünelleme, zızzag kenarlı grafen yapılarında görülen manyetizma ailenin büyümesini sağlayan özellikleri arasında yer almaktadır (Zhang vd., 2009 : Britnell vd., 2012 : Velasco-Soto vd., 2015: Cao vd., 2018: Sanz vd., 2020).

Dikkate değer özelliklere sahip grafenin yapısından tam anlamıyla faydalanmak ve hem performansı hem de uygulama alanlarını arttırmak için grafenin hazırlanış yöntemleri dikkate alınması gereken en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Grafenin hazırlanış şekline bağlı olarak mikro/nano yapısı, yapışma kalitesi ve sahip olduğu bireysel özellikleri büyük ölçüde farklılık göstermektedir (Kumar vd., 2019: Ma vd., 2020). Ticari potansiyeli nedeniyle grafen ve türevlerini elde etme yöntemlerinde verimi ve kaliteyi arttırmak için birçok araştırmacı tarafından oldukça yoğun çalışmalar yürütülmektedir.

Grafen elde etme yöntemleri, top-down ve bottom-up yaklaşımları olmak üzere iki ana başlık altında toplanır. Grafenin top-down yöntemleri ile elde edilmesi doğal grafitten grafene doğru ilerleyen bir süreç olup grafitin indirgenmesi veya ayrışması tekniğine dayanmaktadır. Mekanik ayrışma, sıvı gaz ayrışma (LPE), elektrokimyasal ayrışma, grafit oksitin indirgenmesi (rGO) ve arc discharge yöntemleri grafitten grafeni elde etmek için kullanılan top-down yöntemleri arasında yer almaktadır. Grafenin sentezlenmesinde kullanılan bir diğer yaklaşım ise bottom-up yöntemleridir. Bu işlemlerde grafenin elde edilmesi için hidrokarbonlar öncü olarak kullanılmaktadır. Epitaksiyel büyütme, Kimyasal buhar biriktirme (CVD), lazer destekli sentez sıklıkla kullanılan bottom-up yöntemleri arasında yer almaktadır (Zhang vd., 2022).

Şekil 2’ de grafenin elde edilmesinde kullanılan top-down ve bottom-up yöntemlerinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2. Grafenin elde edilmesinde kullanılan top-down ve bottom-up yöntemlerinin şematik gösterimi

2 Grafenin Yapısı, Elektronik ve Optik Özellikleri

2.1 Elektronik Özellikleri

Grafenin birim hücresi iki karbon atomundan oluşmaktadır ve temel halde bir yarı metaldir. sp^2 hibrit bağ yapısı içerisinde her bir atom arası mesafe (molekül bağ uzunluğu) 0,142 nm olup, birleştirilmiş benzen halkasına benzer bir yapıya sahiptir. Yapı içerisinde oksijen gruplarının olmayışından dolayı hidrofobik (su sevmeyen) bir özellik sergilemektedir (Mbayachi vd., 2021).

Grafenin p_x ve p_y yörüngelerinin kombinasyonu sonucu oluşan düzleme dik 3σ ve son p_z elektronu tarafından oluşturulan ve elektronların serbest hareket etmesine izin veren yarı dolu bandın anahtarı olan 1 adet π bağı olmak üzere toplam 4 bağı bulunmaktadır. Düzlem içi σ bağları (Kovalent bağ) altıgen yapı içerisinde sert omurga yapısı görevi görürken, düzlem dışı π bağları 0,335 nm mesafe aralıkları ile düzenli bir şekilde üst üste gelerek istiflenen grafen tabakaların oluşturduğu grafit yapısı içerisinde farklı grafen katmanlar arasında etkileşimden sorumludur (Yang, 2018).

Tek tabaka grafenin elektronik yapısı, sıkı bağlanma Hamiltoniyeni kullanılarak açıklanabilir. Bağlanma ve bağlanma karşıtı σ -bantları enerji açısından iyi bir şekilde ayrıldığından (Brillouin bölgesi merkezinde $\Gamma > 10$ eV), yalnızca kalan iki π -bandı tutularak yarı ampirik (deneysel) hesaplamalarda ihmal edilebilirler. Altıgen kafes üzerindeki farklı atomlardan gelen elektronik dalga fonksiyonları örtüşmektedir. Yani benzen halkalarının kaynaşması temel halde iletkenlik ve valans bantları arasında çakışmaya (sıfır yasak enerji aralığı) yol açar. Bununla birlikte, $p_z(\pi)$ ile s veya p_x ve p_y yörüngeleri arasındaki bu tür herhangi bir örtüşme, simetri açısından sözkonusu değildir. Sonuç olarak, π bağlarını oluşturan p_z elektronları diğer değerlik elektronlarından bağımsız olarak ele alınabilir. Bu π -bant yaklaşımı içerisinde, toplam Hamiltoniyenin elektronik spektrumunu tanımlamak ve yalnızca ilk en yakın komşu etkileşimleriyle sınırlı olan $E^\pm(k_x, k_y)$ dağılım ilişkilerini elde etmek kolaydır (Wallace, 1947; Charlier vd., 2008)

$$E^\pm(k_x, k_y) = \pm\gamma_0 \sqrt{1 + 4 \cos \frac{\sqrt{3}k_x a}{2} \cos \frac{k_y a}{2} + 4 \cos^2 \frac{k_y a}{2}}$$

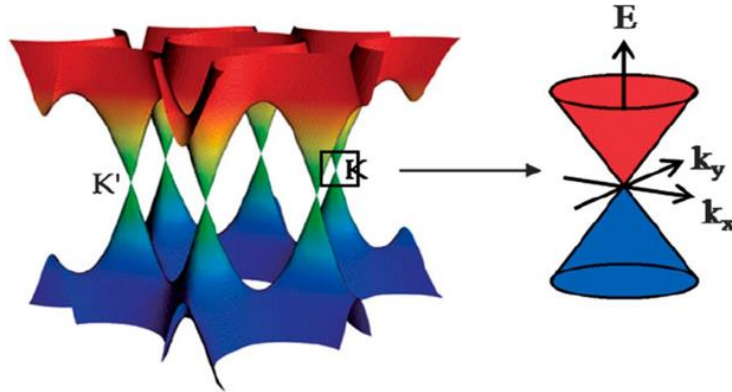
Burada $\alpha = \sqrt{3} a_{cc}$ ($a_{cc} = 1,42 \text{ \AA}$ iki karbon atomu arası mesafe), $\gamma_0 = 2,9 - 3,1 \text{ eV}$, $k=(k_x, k_y)$ ise Birinci Brillouin bölgesindeki mevcut elektronik momentum topluluğunu gösteren vektörlerdir. Buradaki (-) negatif tam dolu olan bandı temsil ederken, (+) tamamen boş olan enerji bandını temsil etmektedir. Valans ve iletkenlik bandının çakıştığı bu noktaya Dirac noktası denilmektedir. Bu noktada Fermi seviyesi E_f sıfır enerji referansıdır, Fermi yüzeyi K ve K' ile tanımlanır ve Dirac fermiyonları için

$$E^\pm(\kappa) = \pm \hbar v_F |\kappa|$$

Burada $\kappa = k - K$ ve v_F ise elektronik grup hızı olup elektronlar sahip oldukları

$$V_f = \sqrt{3}\gamma_0 a/2 \cong 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

hızı ile kütsüz dirac fermiyonlarına benzer bir davranış sergilemektedirler. Yani bu noktada elektronlar fermi hızı ile hareket ederler ve enerji-momentum dağılımı liner bir performans gösterir. Bu nedenle grafendeki yük taşıyıcıları, yarıiletken veya metallerdeki Schrödinger eşitliği ile tanımlanan normal yük taşıyıcılarından ziyade göreceli parçacıklardır. Grafen benzersiz elektronik yapısından dolayı yüksek yük taşıyıcı hareketliliği (mobilité), ambipolar alan etkisi, kuantum hall effect, balistik taşınma, Klein paradoksu, taşıyıcı konsantrasyonunun sıfıra yaklaştığı durumda dahi $\sim 4e^2/h$ büyüklüğünde iletkenlik ve zayıf antilokasyon gibi ayrıcalıklı özellikler sergilemektedir. Şekil 3' de grafenin üç boyutlu band yapısı ve düşük enerjili bant yapısının Dirac noktasında birbirine değen iki koni şeklinde yaklaşımı yer almaktadır (Bonaccorso vd., 2010 : Iyechika, 2010 : Neto and Novoselov, 2011 : Sarma vd., 2011) .



Şekil 3. Grafenin üç boyutlu band yapısı ve düşük enerjili bant yapısının Dirac noktasında birbirine değen iki koni şeklinde yaklaşımı (Rao vd., 2009)

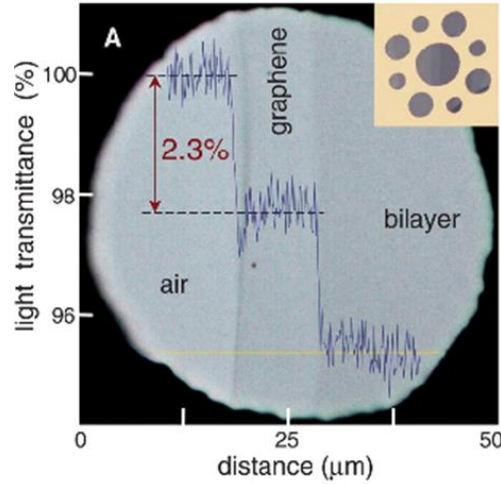
2.2 Optik Özellikleri

Grafenin optik özellikleri, doğrusal bant yapısı, sıfır bant aralığı ve Dirac Fermiyonlarının elektromanyetik radyasyonla güçlü etkileşimi nedeniyle benzersizdir. Tek bir atomik kalınlığa sahip olmasına rağmen görüntülenebilmektedir. Dirac elektronlarının doğrusal dağılımı geniş bant uygulamalarını mümkün kılmaktadır. Grafenin görünür bölgeden yakın kızılötesi bölgeye uzanan oldukça geniş bir spektral aralıkta absorpsiyonu bantlar arası geçişlerle modellenir ve frekanstan bağımsızdır. Optik geçirgenliği (T) ince yapı sabiti cinsinden ifade edilebilir ve bu durum bantlar arası ve bant içi optik geçişlerden kaynaklanmaktadır. Uzak kızılötesi bölgedeki optik tepki ise, bant içi geçişlerden veya serbest taşıyıcı absorpsiyonu sonucu oluşmaktadır. Momentum uyumsuzluğu nedeniyle bant içi geçişle doğrudan foton soğurulması mümkün değildir. Momentumu korumak için fonon saçılması meydana gelir ve bunu K noktası yakınında serbest taşıyıcıların popülasyonunun tersine çevrilmesi izler.

Bağımsız bir tek tabaka grafenin geçirgenliği, sabit evrensel optik iletkenliğe sahip bir malzeme için ince film sınırında Fresnel denklemlerinin uygulanmasıyla elde edilebilir.

$$T = (1 + 0.5\pi a)^{-2} \approx 1 - \pi a \approx \%97,7$$

Burada $a = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} = G_0/(\pi\epsilon_0 c) \approx 1/137$ ince yapı sabiti, $G_0 = e^2/(4\hbar) \approx 6,08 \times 10^{-5}\Omega^{-1}$ evrensel optik iletkenlik sabitidir. Grafen, görünür bölgede gelen ışığın sadece %0,1'inden daha az kısmını yansıtır. Tabaka sayısı arttırdığı zaman bu değerde artmaktadır. Örneğin on katman için bu değer yaklaşık olarak ~%2'ye yükselir. Böylelikle grafen katmanlarının optik absorpsiyonunu katman sayısı ile orantılı olarak değerlendirebiliriz. Çünkü her bir tabaka görünür spektrumda $A \approx 1 - T \approx \pi a \approx \%2,3$ 'ünü absorbe etmektedir. Pauli bloklama ilkesinin (Aynı adreste iki elektron bulunamaz) sonucu olarak absorpsiyon doyuma ulaşır ve dengesiz taşıyıcılar sıcak lüminesansa neden olur. Ayrıca kimyasal ve fiziksel işlemler de lüminesansa yol açabilir. Bu özellikler grafeni fotonik ve optoelektronik uygulamalar için ideal bir malzeme haline getirir (Blake vd., 2007 : Casiraghi vd., 2007 : Mak vd., 2009). Şekil 4' de Kısmen tek tabaka grafen ve onun çift katmanıyla kaplanmış 50 mm' lik bir açıklığın fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 4. Tek tabaka ve iki tabaka grafen ile kaplanmış 50 mm'lik bir açıklığın fotoğrafı (Nair vd., 2008)

2.3 Grafenin Fotonik ve Optoelektronik Uygulamaları

Katlanabilir dokunmatik ekranlar, epidermal sensörler, yumuşak ışık yayan diyotlar, bükülebilir güneş pilleri ve deforme olabilen enerji dönüştürme/depolama cihazları gibi akıllı giyilebilir elektroniklerin ortaya çıkması ve hızla gelişmesiyle birlikte, esnek ve gerilebilir şeffaf iletken elektrotlara yönelik talebin, kırılğan indiyum kalay oksidin önüne geçmesine yol açtı (Olabi vd., 2021; Nair vd., 2023; Su ve Hu, 2023; Liv d., 2024; Mohebbi vd., 2024).

Görüntüleme cihazları, dokunmatik cihazlar, ışık yayan diyotlar ve güneş pilleri gibi optoelektronik aygıt tasarımlarında tercih edilen malzemenin tabaka direncinin (R_s) oldukça düşük ve yüksek şeffaflık değerine sahip olması başlıca zorunluluklar arasında yer almaktadır. İnce filmlerde $R_s = \rho/t$ olup burada t ; kalınlık, $\rho = l/\sigma$ direnç ve σ ise dc iletkenlik değeri olarak tanımlanmaktadır. Şeffaf iletken elektrotların (TCE) alt katmanı çok esnek ve gerilebilir bir plastik alt katman olduğundan, plastiğin yumuşak ve düzensiz yüzeyi nedeniyle kalınlığın belirlenmesi zordur. Bu nedenle, TCE'lerin direnci genellikle levha direnci R_s ile temsil edilir. Optoelektronik cihazların farklı uygulama alanlarına göre, TCE'lerin R_s 'leri için değişen gereksinimler vardır. Çoğu optoelektronik cihaz, R_s değeri $500 \Omega/\text{sq}$ 'den düşük olan

TCE' lere ihtiyaç duyar (Hecht vd., 2011 : Ellmer, 2012). Aynı zamanda pürüzlü plastik yüzey TCE yapılarında yüksek yüzey pürüzlülüğüne yol açmaktadır. Optoelektronik cihazların anot ve katot elektrotları arasında sızıntı akımına neden olabilir ve bu da elektronik cihazların kısa devre arızasına neden olur (Patil vd., 2021).

Günümüzde şeffaf elektrot olarak kullanılan malzemeler; İndiyum oksit (In₂O₃), Çinko oksit (ZnO), Kalay oksit (SnO₂) ve bunların üçlü kombinasyonları ile oluşan yarıiletkenlerdir. En yaygın olarak kullanılan %90 (In₂O₃) ve %10 (SnO₂) bileşiminden oluşan, kalay atomlarından dolayı n-tipi yarıiletken özelliği gösteren İndiyum kalay oksit (ITO) dir. ITO' nun kullanımı yapısal özelliklerinden dolayı bazı kısıtlamalara neden olmaktadır. Örneğin elektriksel ve optik özellikleri yapısına istemli ya da istemsiz dâhil olan yabancı atomlardan dolayı çok yönlü bir şekilde etkilenecek değişiklik göstermektedir. Bantlar arası geçişlerden dolayı 4eV enerji değerinin üzerinde güçlü bir absorpsiyona sahiptir. Ticari olarak temin edilen ITO T_≅%80 (550 nm de) ve cam, polietilen gibi farklı alttaşlar üzerinde sırasıyla 10 ve 60-300 Ω arasında değişen minimum R_s değerine sahiptir. Ayrıca indiyumun doğada az oluşu nedeniyle maliyetlerdeki önlenemeyen artış, işleme gereksinimleri, asidik ve bazik ortamlara karşı aşırı duyarlılık ve örneklemelerde yaşanan zorluklar başlıca karşılaşılan kısıtlamalar arasında yer almaktadır. Tüm bu kısıtlamaların yanı sıra kırılma katsayısının yüksek olması, esnek ve bükülebilir ekran uygulamalarında kullanılması durumunda kolayca kırılabilmesinden dolayı yüksek performansa sahip yeni alternatif malzeme arayışı ortaya çıkmıştır. İlk olarak metalik nanoteller veya diğer metal oksitler araştırılmış sonrasında nanotüpler ve grafen sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır (Holland ve Siddall 1953;Hamberg ve Granqvist, 1986:: Minami, 2005: De vd., 2009: Köç vd., 2013).

Grafenin karbon nanotüplerden, ITO ve diğer metalik ince filmlerden esnek olmasının yanı sıra daha geniş dalga boyu aralığının da ($\lambda=380-780$ nm) daha yüksek T değerine (%97,7) sahip olması başlıca tercih sebebidir.

Giyilebilir ve portatif olarak taşınabilen elektronik cihazların başarılı bir şekilde geliştirilmesine karşın, bu aygıtların sürekli ve kararlı bir şekilde çalışabilmesi için enerji dönüşümü ve depolama işlevi gören aygıtlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş pilleri süper kapasitörler ve piller gibi hem enerji dönüşümü hem de depolama işlevi gören aygıtlar bu zorlukların üstesinden gelinmesine imkân veriyor. Ancak geleneksel enerji dönüşümü sistemleri opak ve nesnenin orijinal görünümünü kapatacağından giyilebilir sistemlerin modasını ve estetik görünüşünü engeller. Bu nedenle şeffaf enerji dönüşümü ve depolama aygıtlarına ihtiyaç duymaktadır. Şeffaf olmaları insan gözü tarafından algılanmalarını imkânsız kılıyor ve bu sayede aygıt gizli durumda kalıyor (Liu vd., 2017: Pomerantseva vd., 2019: He vd., 2021: Zhao vd., 2021: Zhao vd., 2022). 2D grafen tabakalar bu alana yeni umutlar getiriyor. Grafen levhaların 2600 m²/gramlık yüksek teorik yüzey-kütle oranına sahip olmasının yanı sıra katmanlı yapısı elektrokimyasal reaksiyonlar için çok daha aktif alanlar ve daha zengin iyon taşıma kanalları sağlar. 2019 Nobel komitesi tarafından insanlık üzerinde etkisi kabul edilen şarj edilebilir lityum iyon pillerin, teorik olarak ~ 400 Wh/kg ulaşan yüksek spesifik enerjileri ile en yaygın kullanılan enerji depolama yöntemlerinden biridir. Pillerin güç yoğunluğunun artırılması enerji depolama cihazlarının imalatında karşılaşılan en büyük güçlüktür. 2D grafen levhaların açık ve gözenekli elektrot yapıları anot ve katot görevi görebilirler. Pil cihazları lityum iyonlarının yakalanması ve serbest bırakılmasına dayandığından, yüksek iletkenliğe sahip grafen bazlı gözenekli elektrotlar, hızlı iyon transfer kinetiği ve yeterli sayıda elektrokimyasal reaksiyon için kritik öneme sahiptir ve böylece pilin güç yoğunluğunu etkili bir şekilde artırır. Bununla birlikte, şeffaf lityum iyon pilin enerji yoğunluğu, yüksek optik şeffaflıkta (%60) genellikle düşüktür (~10 Wh/L), çünkü ince şeffaf elektrotlar, enerji depolamak için daha az aktif malzemeyi indükleyecektir. Benzer şekilde, süper kapasitörler, yüklerin çoğunun elektrotların yüzeyinde veya yakınında aktarıldığı iyon adsorpsiyonu veya redoks reaksiyonlarına dayalı olarak enerji

depolar. Süper kapasitörler, lityum iyon pillerden bir kat daha büyük olan yüksek g c yoğunluğunun (en az 10 kWkg⁻¹) gerekli olduğu uygulamalar için idealdir (Bonoccorso vd., 2015: Wang ve Shi, 2015: Castelvecci ve Stoye, 2019: Yang vd, 2011: Liu vd., 2022: Na vd., 2022).

Grafen sahip olduğu geniş yüzey alanının yanı sıra, gözenekli mikro yapısı, elektrokimyasal olarak stabil olmaları ve mekanik olarak iyi stabiliteleri gibi faktörlerden dolayı, batarya ve süperkapasitör gibi enerji depolamak için kullanılan aygıt tasarımı da sıklıkla tercih edilmektedir (M.F. El-Kady vd 2016). Özellikle 1000mAhg⁻¹ ulaşan kapasite değeri, daha uzun ömürlü piller ve saniyeler içinde daha hızlı şarj süresi sunuyor oluşu ile Li-iyon bataryalarda anot elektrot olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Esneklik özelliğinden dolayı katıhal kapasitörlere göre giyilebilir elektronik uygulamalarda kullanımı mümkün olmaktadır (A.M. Abdelkader vd 2017). Ayrıca süper kapasitörlerde, hem çift katmanlı kapasitörler hem de sahte kapasitörler için elektrot malzemesi olarak grafen kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi en bol ve en temiz yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir Fosil yakıtın yerini alma potansiyeli yüksek olan ve böylece çevreyi fosil yakıt kullanımından kaynaklanan ciddi etkilerden koruyan bir enerji kaynağıdır. Boyaya duyarlı güneş pilleri, güneş enerjisinin doğrudan toplanması için umut verici bir teknolojidir. Grafen yakıt hücrelerinde boya duyarlılaştırıcı olarak da kullanılmaktadır. (A.G. Olabi vd 2021).

Organik/ perovskit ışık yayan diyot (LED) aygıt yapısında elektrolüminesans katmanı olarak organik/ perovskit bileşenlerine dayanan uygulanan akıma tepki olarak çok daha verimli ışık yayabilen yeni bir LED türüdür. Elektron ve boşluklar katot ve anot boyunca enjekte edildikleri zaman ışık yayan tabaka içerisinde karşılaşırlar ve elektron-boşluk rekombinasyonu sonucu ışık yayılır. Organik/ perovskit LED' ler televizyon ekranlarında bilgisayar monitörlerinde küçük taşınabilir ekranlar için umut verici olsa da ticari ITO tabanlı şeffaf iletken elektrotların kimyasal kararsızlığı, rijit oluşu gelişimin önündeki en büyük engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle ITO' nun yerine alternatif aday bulma çalışmaları hevesle yürütülmekte ve grafen kimyasal kararlılığı, esnek oluşu ve iş fonksiyonu gibi ayrıcalıklı özelliklerinden dolayı Organik/ perovskit LED uygulamaları için ideal bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Ekibi tarafından yürütülen çalışmalarda fosfomolibdik asit (PMA) ile katkılmış tek tabaka grafenin kullanılması ile Organik/ perovskit LED aygıt tasarımı gerçekleştirildi. PMA molekülleri ile karbon atomları arasında oluşan Mo-O-C bağı sayesinde grafen tabakalarında bulunan elektronlar PMA ya transfer edildi. Böylelikle grafen tabakalarda p-tipi doping etkisi oluştu. MA moleküllerinin doping etkisi sayesinde Grafen bazlı TCE'lerin tabaka direnci 694  /sq'den 240  /sq'ye düştü. Bunun yanı sıra anot olarak PMA katkılı grafen bazlı TCE'lere sahip organik ve perovskit LED'ler, saf tek tabaka grafen kullanılarak oluşturulan aygıt tasarımlarına kıyasla %50,8 ve %36,8 artışla 129,3 ve 15,6 cd/A maksimum verimlilik sergiledi. Bu durum grafen bazlı TCE'lerin yeni nesil ekranlar ve katı hal aydınlatma uygulamalarında büyük umut vaat ettiğini göstermektedir. Anot olarak grafen tabanlı TCE' lerin kullanılması ile oluşturulan OLED' lerin lüminesans verimi ITO ile oluşturulan aygıtların performansı ile karşılaştırıldığında düşük iş fonksiyonu ve yüksek tabaka direncinden dolayı sınırlıdır. Bu da OLED'lerin performansının hala ITO tabanlı cihazlarinkinden daha düşük olmasına neden olur. Son zamanlarda, yüksek çalışma fonksiyonuna ve düşük tabaka direncine sahip anot olarak HNO₃ katkılı grafen içeren yüksek performanslı OLED' ler başarıyla geliştirildi; bu, floresan OLED' lerde 37,2 ve fosforesan OLED' lerde 102,7 ile son derece yüksek ışık verimliliği elde etti. şaşırtıcı bir şekilde OLED' lerin ışık verimliliği, ticari ITO' lu OLED' lerinkinden önemli ölçüde daha yüksektir (Han vd., 2012 : Ahn ve Hang, 2014 : Zurutuza ve Marinelli, 2014 : Cao vd., 2018 : Lin vd., 2018 : Chu vd., 2021: Liu vd., 2021: Huang, 2023)

Ambipolar alan etkisi elektronikte grafenin kullanılmasını mümkün kılan ve transistörlerde kullanılan bir özelliktir. Alan etkisiyle boşluklar ya da elektronlar tarafından taşıma işlemi modüle edilebilir. Grafen sıfır yasak enerji aralığına sahip bir yarımetal olduğu için iki boyutlu grafen bir boyutlu grafen nanoşeritlere daraltılarak alan etkisi yardımıyla yasak enerji aralığı oluşturma işlemi başarıldı. Yürütülen çalışmalarda 104 açma-kapama oranına sahip transistörler elde edilmiştir. Ayrıca oda sıcaklığında yüksek taşıyıcı mobilitesinden dolayı transistör uygulamalarında doğru bir tercih olarak karşımıza çıkmaktadır (Caridad vd., 2024; Ludwing vd., 2024). Wu et al ve ekibi tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda CVD yöntemi ile bakır folyo üzerine büyütülen grafen filmler elmas benzeri karbon yapısı üzerine transfer edilerek top-gate radyo frekans transistör tasarımı gerçekleştirildi. 40 nm' lik gate uzunlukları ile en kısa radyo frekans transistör tasarımları arasında yer almaktadır. 155 GHz kadar ulaşabilen kesme (cut-off) frekansları elde edilmiş ve bu değer $1/\text{gate}$ uzunluğu olarak ölçeklendiği sonucuna ulaşılmıştır (Wu vd., 2011). Vicarelli ve ekibi tarafından yürütülen çalışmalarda terahertz radyasyonunu dedekte etmek için anten bağlantılı alan etkili grafen transistörlere dayanan terahertz dedektörler kullanıldı. Oda sıcaklığında 0,3 THz frekansta performans sergileyen grafen tabanlı dedektörler sayesinde proteinleri, biyomolekülleri, hücreleri ve DNA' nın hızlı bir şekilde algılanma ve görüntülenmesini mümkün kıldı (Vicarelli vd., 2012).

Tek tabaka grafenin yanı sıra çift ve çok katmanlı grafen kullanılarak tasarlanan esnek aygıt tasarımı da son yıllarda hız kazanmıştır. Yürütülen çalışmalarda BLG kullanılarak oluşturulan Grafen/4H-SiC ultraviyole Schottky bağlantılı kendi kendine çalışan fotodedektör tasarımı gerçekleştirildi. 240-350 nm aralığında ultraviyole ışık altında gerçekleştirilen elektronik ve optoelektronik karakterizasyon çalışmalarında, fotodedektörün spektral duyarlılığının (R_{max}) $0,008 \text{ AW}^{-1}$ olduğu ve tek tabaka grafen kullanılarak oluşturulan detektöre nazaran %50 daha hızlı yanıt verdiği sonucuna ulaşıldı (Ala K. Jehad 2023)

Köç Bakacak ve çalışma grubu tarafından yürütülen çalışmalarda çok katmanlı grafenin (MLG) kullanımının yanı sıra farklı aygıt tasarımları da öne çıkmaktadır. Tek tabaka grafen yerine, PoliVinil Clorür (PVC) üzerine transfer edilen çok katmanlı grafen (MLG) kullanımı dikkat çeken araştırmalar arasında yer almaktadır. İlave başka bir elektrot kullanmadan sadece grafen yüzeyinden oluşan yeni bir aygıt tasarımı olan coplanar (eş düzlem) aygıt yapısı kullanıldı. Elektrostatik doping yöntemi ile sadece MLG den oluşturulan elektrokromik aygıtın elektrik ve optik özellikleri kontrol edildi. Bu sayede oldukça esnek, basit, ucuz ve performansı yüksek optoelektronik aygıt tasarımı gerçekleştirilmiş oldu. (Köç Bakacak vd., 2021).

3. Sonuç

Karbon atomlarının tek bir atomik tabaka içerisine bal peteği örgüsü şeklinde dizilmeleri sonucu oluşan grafen, mükemmel elektrik, termal iletkenlikleri, yüksek optik geçirgenliği, esnek-bükülebilir oluşu ve kimyasal olarak stabil olması gibi ayrıcalıklı özellikleri sayesinde esnek teknolojik aygıt uygulamalarında kırılğan ITO' nun yerine mükemmel bir adaydır. Grafenin esnek ve bükülebilme özelliği sadece geleneksel cihazların insan vücudu ile sorunsuz bir şekilde entegre olmasını sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda geniş optik bant absorpsiyonu özelliği ile yeni esnek ve giyilebilir elektronik aygıtların ortaya çıkmasına imkan tanımaktadır. Mekanik ayrışma yöntemi ile elde edildiği 2004 yılından beri CVD, rGO, Epitaksiyel büyütme ve LPE gibi bir çok yöntem ile başarılı bir şekilde elde edildi. Tüm bu yöntemlerde amaç; kaliteli, pürüzsüz, kontrollü sayıda katmanla büyük ölçekli grafen sentezini elde edebilmektir. Bu çalışmada; grafenin sahip olduğu ayrıcalıklı elektrik, optik ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, optoelektronik cihazlarda neden tercih edildiğini ve son yıllarda bu alanda yürütülen çalışmalarda gerçekleştirilen ilerlemeyi inceledik. Grafen esaslı aygıt tasarımlarının kullanım

alanının her geçen gün genişlemesine rağmen, gelecekte doğrusal olmayan optik cihazlar alanında yürütülen çalışmalarda grafenin ultra geniş bant kapasitesinden tam olarak yararlanmak için farklı dalga boylarına odaklanılması gerekmektedir.

4 Beyanname

4.1 Rakip ıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

4.2 Yazarların Katkıları

Pınar K C BAKACAK: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazma-Orijinal taslak hazırlama, İnceleme

Aytaç LEVENT: İnceleme, Düzenleme.

Kaynakça

Abdelkader, A.M., et al., (2017). Ultraflexible and robust graphene supercapacitors printed on textiles for wearable electronics applications. *2D Materials*, 4(3): p. 035016. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aa7d71>

Abdel Ghany, N. A., Elsherif, S. A., Handal, H. T., (2017). Revolution of Graphene for different applications: State-of-the-art. *Surfaces and Interfaces*, 9, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.08.004>

Ahn, J.-H., and Hong, B.H., (2014). Graphene for displays that bend. *Nat. Nanotechnol*, 9 (10), 737–738.

Blake, P., Hill, E. W., Neto, A. H. C., Novoselov, K. S., Jiang, D., Yang, R., Booth, T. J., Geim, A. K., (2007). Making graphene visible. *Appl. Phys. Lett.* 91, 063124. <http://dx.doi.org/10.1063/1.2768624>

Bolotin, K.I., et al. (2008). Ultrahigh electron mobility in suspended graphene. *Solid State Communications*, 146 (9-10): p. 351-355. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2008.02.024>

Bonaccorso F., Sun Z., Hasan T., Ferrari AC., (2010). Graphene photonics and optoelectronics. *Nat Photonics*, 4:611–622. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2010.186>

Bonaccorso, F., Colombo, L., Yu, G., Stoller, M., Tozzini, V., Ferrari, A.C., Ruoff, R.S., (2015). V. Pellegrini, Graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems for energy conversion and storage. *Science* ,347 (6217),1246501.

Britnell, L., Gorbachev, R. V., Jalil, R., Belle, B. D., Schedin, F., Mishchenko, A., Georgiou, T., Katsnelson, M. I., Eaves, L., et al. (2012). Field-Effect Tunneling Transistor Based on Vertical Graphene Heterostructures. *Science*, Vol 335, Issue 6071, pp. 947-950. <https://doi.org/10.1126/science.1218461>

C. Rao et al. (2009). Graphene, the new nanocarbon. *Journal of Materials Chemistry*, 19(17), 2457-2469. <https://doi.org/10.1039/b815239j>

Cao, Y., et al. (2018). Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices. *Nature*, 556,43-50.

Cao, Y., Wang, N., Tian, H., Guo, J., Wei, Y., Chen, H., Miao, Y., Zou, W., Pan, K., He, Y., (2018). Perovskite light-emitting diodes based on spontaneously formed submicrometrescale structures. *Nature*, 562 (7726) 249–253.

Caridad et al., (2024). Room-Temperature Plasmon-Assisted Resonant THz Detection in Single-Layer Graphene Transistors. *Nano Lett.*, 24, 3, 935–942. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.3c04300>

Casiraghi, C., Hartschuh, A., Lidorikis, E., Qian, H., Harutyunyan, H., Gokus, T., Novoselov, K. S., Ferrari, A. C., (2007). Rayleigh Imaging of Graphene and Graphene Layers. *Nano Lett.*, 7, 2711.

- Castelvecchi, D., Stoye, E., (2019). Chemistry Nobel honours world-changing batteries. *Nature*, 574 (7777), 308–309.
- Charlier, J.-C., Eklund, P. C., Zhu J., & Ferrari, A. C., (2008). Electron and Phonon Properties of Graphene: Their Relationship with Carbon Nanotubes. *Appl. Physics*, 111, 673–709.
- Chu, S., Chen, W., Fang, Z., Xiao, X., Liu, Y., Chen, J., Huang, J., Xiao, Z., (2021) Large-area and efficient perovskite light-emitting diodes via low-temperature blade-coating. *Nat. Commun.*, 12 (1) 1–9.
- De, S. et al., (2009). Silver nanowire networks as flexible, transparent, conducting films: extremely high dc to optical conductivity ratios. *ACS Nano*, 3, 1767–1774.
- Dragoman M., Dragoman D., (2009). Graphene-based quantum electronics. *Prog Quantum. Progress in Quantum Electronics*, 33(6):165–214. <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2009.08.001>
- El-Kady, M. F., Shao, Y., and Kaner R. B., (2016). Graphene for batteries, supercapacitors and beyond. *Nature Reviews Materials*, 1, 16033 <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.3>
- Ellmer, K., (2012). Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes. *Nat. Photonics*, 6 (12), 809–817.
- Gadipelli, S., Guo, Z.X., (2015). Graphene-based materials: Synthesis and gas sorption, storage and separation. *Prog. Mater Sci.*, 69 (2015) 1–60. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2014.10.004>
- Geim, A. K., Novoselov, K. S., (2007). The rise of graphene. *Nat. Mater.*, 6, 183
- Hamberg, I. & Granqvist, C. G., (1986). Evaporated Sn-doped In₂O₃ films: basic optical properties and applications to energy-efficient windows. *J. Appl. Phys.*, 60, R123–R160.
- Han, T.-H., Lee, Y., Choi, M.-R., Woo, S.-H., Bae, S.-H., Hong, B.H., Ahn, J.-H., Lee, T.W., (2012). Extremely efficient flexible organic light-emitting diodes with modified graphene anode. *Nat. Photonics*, 6 (2) 105–110.
- He, J., et al., (2021). Scalable production of high-performing woven lithium-ion fibre batteries. *Nature*, 597 (7874) 57–63.
- Hecht, D.S., Hu, L., Irvin, G., Emerging transparent electrodes based on thin films of carbon nanotubes, graphene, and metallic nanostructures. *Adv. Mater.*, 23 (13), 1482–1513. <https://doi.org/10.1002/adma.201003188>
- Holland, L. & Siddall, G., (1953). The properties of some reactively sputtered metal oxide films. *Vacuum*, 3, 375–391.
- Huang, X. et al., (2023). Transparent shape memory polyimide enables OLED for smart deformation. *Composites: Part A*, 175 107781. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2023.107781>
- Iyechika, Y., (2010). Application of graphene to high-speed transistors: expectations and challenge. *Sci Techno Trends—Q Rev*, 37:3776–3792.
- Jehad, A.K., Fidan, M., Ünverdi, O., Çelebi, C., (2023). CVD graphene/SiC UV photodetector with enhanced spectral responsivity and response speed. *Sensors and Actuators, A. Physical*, 355,114309. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114309>
- Jinlei Miao, J., and Fan, T., (2023). Flexible and stretchable transparent conductive graphene-based electrodes for emerging wearable electronics. *Carbon*, 202, 495-527. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2022.11.018>
- Kim, K.S., et al., (2009). Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes. *Nature*, 457(7230): p. 706-710.
- Köç Bakacak, P., Tüzemen, S., Kocabaş, C., (2021). New practical device structure for graphene-based electrochromic devices. *Optical Materials*, 122, 111675. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111675>

- Köç, P., (2013). Stimulated electroluminescence emission from n-ZnO/p-GaAs: Zn heterojunctions fabricated by electro-deposition. *AIP Advances*, 3, 122107. <https://doi.org/10.1063/1.4842635>
- Kumar, N., et al., (2021). Top-down synthesis of graphene: A comprehensive review. *FlatChem*, 27,100224. <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2021.100224>
- Kumar, R., et al., (2019). A review on synthesis of graphene, h-BN and MoS₂ for energy storage applications: Recent progress and perspectives. *Nano Res*, 12(11):2655–94. <https://doi.org/10.1007/s12274-019-2467-8>
- Li, X., et al., (2024). Laser fabrication of epidermal paper-based graphene sensors. *Applied Materials Today*, 36, 102051. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2023.102051>
- Lin, K., Xing, J., Quan, L.N., De Arquer, F., Gong, X., Lu, J., Xie, L., Zhao, W., Zhang, D., Yan, C., (2018). Perovskite light-emitting diodes with external quantum efficiency exceeding 20 per cent. *Nature*, 562 (7726) 245–248.
- Liu, L., Dong, R., Ye, D., Lu, Y., Xia, P., Deng, L., Duan, Y., Cao, K., Chen, S., (2021). Phosphomolybdic acid-modified monolayer graphene anode for efficient organic and perovskite light-emitting diodes. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 13 (10) 12268–12277. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c22456>
- Liu, R., Wang, Z.L., Fukuda, K., Someya, T., (2022). Flexible self-charging power sources. *Nat. Rev. Mater.*, 1–17.
- Liu, W., Song, M.S., Kong, B., Cui, Y., (2017). Flexible and stretchable energy storage: recent advances and future perspectives. *Adv. Mater.*, 29 (1), 1603436. <https://doi.org/10.1002/adma.201603436>
- Ludwing et al., (2024). Terahertz Detection with Graphene FETs: Photothermoelectric and Resistive Self-Mixing Contributions to the Detector Response. *ACS Appl. Electron. Mater.*, 6, 4, 2197–2212. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.3c01511>
- Ma, R., Zhou, Y., Bi, H., Yang, M., Wang, J., Liu, Q, et al. (2020). Multidimensional graphene structures and beyond: Unique properties, syntheses and applications. *Prog Mater Sci.*, 113,100665. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100665>
- Mak, K. F., Sfeir, M. Y., Misewich, J. A., Heinz, T.F., (2009). Electronic Structure of Few-Layer Graphene: Experimental Demonstration of Strong Dependence on Stacking Sequence. *Phys. Rev. Lett.*, 104, 176404. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.176404>
- Mbayachi, V., Ndayiragije, E., Sammani, T., Taj, S., Mbuta, E., Khan, A., (2021). Graphene synthesis, characterization and its applications: A review. *Results in Chemistry*, 3, 100163. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2021.100163>
- Minami, T., (2005). Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes. *Semicond. Sci. Technol.*, 20, S35–S44.
- Mohebbi, E., Pavoni, E., Pierantoni, L., Stipa, P., Hemmetter, A., Laudadio, E., and Mencarelli, D., (2024). Towards graphene-based asymmetric diodes: a density functional tight-binding study. | *Nanoscale Adv.*, 6, 1548-1555. <https://doi.org/10.1039/D3NA00603D>
- Na, Y.W., Cheon, J.Y., Kim, J.H., Jung, Y., Lee, K., Park, J.S., Park, J.Y., Song, K.S., Lee, S.B., Kim, T., (2022). All-in-one flexible supercapacitor with ultrastable performance under extreme load. *Sci. Adv.*, 8 (1), eabl8631. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abl8631>
- Nair, M., Mishra, S., Dahiya, R., (2023). Graphene-Based Touch Sensors. *Encyclopedia of Materials: Electronics*, 3,54-70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819728-8.00122-4>
- Nair, R. R., et al (2008). Fine structure constant defines visual transparency of graphene. *Science* 320, 1308. <https://doi.org/10.1126/science.1156965>
- Neto, AHC., Novoselov KS., (2011). New directions in science and technology: twodimensional crystals. *Rep Prog Phys.*, 74:082501. <http://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/74/8/082501>

- Olabi, A.G., Abdelkareem, M.A., Wilberforce, T., Sayed, E.T., (2021). Application of graphene in energy storage device – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110026. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110026>
- Patil, J.J., Chae, W.H., Trebach, A., Carter, K.J., Lee, E., Sannicolo, T., Grossman, J.C., (2021). Failing forward: stability of transparent electrodes based on metal nanowire networks. *Adv. Mater.*, 33 (5), 2004356. <https://doi.org/10.1002/adma.202004356>
- Perala, R., Chandrasekar, N., Balaji, R., Alexander, P., Humaidi, N., Hwang, M., (2024). A comprehensive review on graphene-based materials: From synthesis to contemporary sensor applications. *Materials Science and Engineering: R, Volume 159*, 100805. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2024.100805>
- Pomerantseva, E., Bonaccorso, F., Feng, X., Cui, Y., Gogotsi, Y., (2019). Energy storage: the future enabled by nanomaterials. *Science*, 366 (6468) eaan8285. <https://doi.org/10.1126/science.aan8285>
- Sanz, S., et al. (2020). Uncovering the Triplet Ground State of Triangular Graphene Nanoflakes Engineered with Atomic Precision on a Metal Surface. *Physical Review Letters*, 124, (171), 177201. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.177201>
- Sarma SD., Adam S., Hwang EH., Rossi E., (2011). Electronic transport in two-dimensional graphene. *Rev Mod Phys.*, 83:407–470. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.83.407>
- Seekaew, Y., Arayawut, O., Timsorn, K., Wongchoosuk, C., (2019). Chapter Nine - Synthesis, Characterization, and Applications of Graphene and Derivatives. *Carbon-Based Nanofillers and their Rubber Nanocomposites*, Elsevier, pp. 259–283. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813248-7.00009-2>
- Shams, S., Zhang, R., and Zhu, J., (2015). Graphene synthesis: a Review. *Materials Science-Poland*, 33(3), pp. 566-578. <https://doi.org/10.1515/msp-2015-0079>
- Shinohara, H., Tiwari, A., (2015). *Graphene: an introduction to the fundamentals and industrial applications*. John Wiley & Sons.
- Siow, L., Lee, J., Ooi, E., and Lau, E., (2024). Application of graphene and graphene derivatives in cooling of photovoltaic (PV) solar panels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 193(3-4), 114288. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114288>
- Sua, H., and Hu, Y.H., (2023). 3D graphene: synthesis, properties, and solar cell applications. *Chemical Communications*, 59(44),6660-6673. <https://doi.org/10.1039/d3cc01004j>
- Trivedi, S., Lobo, K., and Matte, H.R., (2019). Synthesis, Properties, and Applications of Graphene. *Fundamentals and Sensing Applications of 2D Materials*, Elsevier, pp. 25–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102577-2.00003-8>
- Velasco-Soto, M.A., Pérez-García, S.A., Alvarez-Quintana, J., Cao, Y., Nyborg L., Licea-Jiménez, L., (2015). Selective band gap manipulation of graphene oxide by its reduction with mild reagents. *Carbon*, 93,967-973. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.06.013>
- Vicarelli, L. et al., (2012). Graphene field-effect transistors as room-temperature terahertz detectors. *2012. 11(10): p. 865-871.*
- Wallace P. R., (1947). The Band Theory of Graphite. *Phys. Rev.* 71, 622. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.71.622>
- Wang, S., Liang, L., Chen, S., (2024). Tensile strength and toughness of carbon nanotube-graphene foam composite materials and the corresponding microscopic influence mechanism. *Materials & Design*, 237,112529. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112529>
- Wang, X., Shi, G., (2015). Flexible graphene devices related to energy conversion and storage. *Energy Environ. Sci.*, 8 (3),790–823.
- Wu, Y. et al., (2011). High-frequency, scaled graphene transistors on diamond-like. *Carbon*, 472(7341): p. 74-78.

- Yang, G., Li, L., Lee, W.B., and Man Cheung Ng, (2018). Structure of graphene and its disorders: a review. *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 19(1): p. 613-648. <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1494493>
- Yang, Y., Jeong, S., Hu, L., Wu, H., Lee, S.W., Cui, Y., (2011). Transparent lithium-ion batteries. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 108 (32), 13013–13018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102873108>
- Zhang, F., Yang, K., Liu, G., Chen, Y., Wang, M., Li, S., (2022). Recent advances on graphene: Synthesis, properties and applications. *Composites Part A*, 160,107051. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2022.107051>
- Zhang, Y., Tang, T.-T., Girit, C., Hao, Z., Martin, M.C., Zettl, A., Crommie, M.F., Shen, Y.R., Wang, F., (2009). Direct observation of a widely tunable bandgap in bilayer graphene. *Nature* 459, 820–823.
- Zhao, W., Jiang, M., Wang, W., Liu, S., Huang, W., Zhao, Q., (2021). Flexible transparent supercapacitors: materials and devices. *Adv. Funct. Mater.*, 31 (11), 2009136. <https://doi.org/10.1002/adfm.202009136>
- Zhao, Y., Liu, H., Yan, Y., Chen, T., Yu, H., Ejeta, L.O., Zhang, G., Duan, H., (2022). Flexible transparent electrochemical energy conversion and storage: from electrode structures to integrated applications. *Energy & Environ. Mater.*, 6,12303. <https://doi.org/10.1002/eem2.12303>
- Zurutuza, A., Marinelli, C., (2014). Challenges and opportunities in graphene commercialization. *Nat. Nanotechnol*, 9 (10) 730–734.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).