

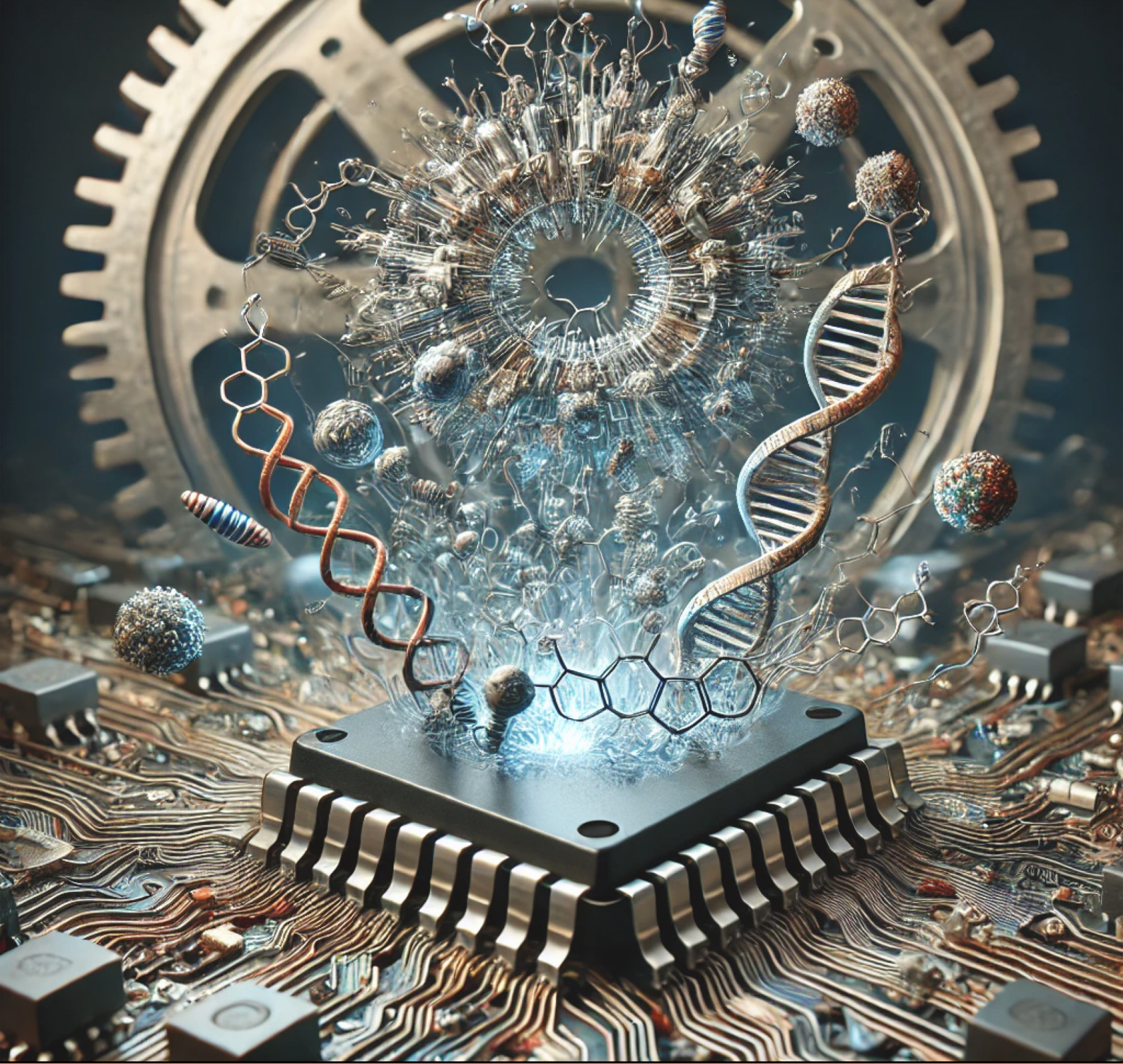
# VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

DERGİSİ



VAN YUZUNCU YIL UNIVERSITY  
JOURNAL OF ENGINEERING FACULTY

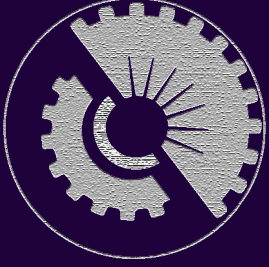
e-ISSN: 3023-5286



Cilt/Volume 3 Sayı/Issue 1 HAZİRAN/JUNE 2025

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/vyuumfd>





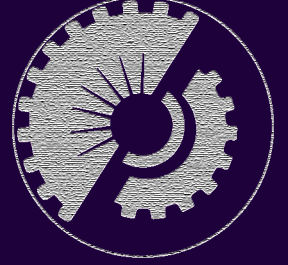
Editör/Editor

Doç. Dr. Şakir YILMAZ

Yardımcı Editörler/Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Gül ŞEN

Dr. Öğr. Üyesi Burçin YILDIZ



Yayın Kurulu/Editorial Board

Prof. Dr. Demet Banu Koralay, Pamukkale Üniversitesi  
Doç. Dr. Duygu Uysal, Gazi Üniversitesi  
Doç. Dr. Bilal Tütüncü, İstanbul Teknik Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif Hafızoğlu, Dicle Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Coşkun Topuz, Hakkâri Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Ogün Ozan Varol, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hatice Erdem, Muş Alparslan Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Emine Yalman, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Doç. Dr. Ali Hussein Abdulkarim, University of Kirkuk  
Dr. Öğr. Üyesi Fikriye Ataman, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Şehriban Oğuz, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Faruk Baturalp Günay, Atatürk Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmed Burhan Mohammed, University of Kirkuk  
Dr. Ahmed Saadallah Salman, Northern Technical University

Doç. Dr. Alper Hamzadayı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Altuğ Karabey, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Doç. Dr. Berdan Ulaş, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Deniz Aydın, Dicle Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Üzmuş, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan Bayrak, Kafkas Üniversitesi  
Doç. Dr. Şefika Kaya, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Dr. Öğr. Görevlisi Süleyman Osmanlı, Kayseri Üniversitesi  
Doç. Dr. Doğan Çelik, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Muhammad Waseem, Maynooth University  
Dr. Havva Tümay Temiz, Türkiye  
Dr. Öğr. Üyesi Tolga Özaslan, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Dil Editörleri/Language Editors

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

Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

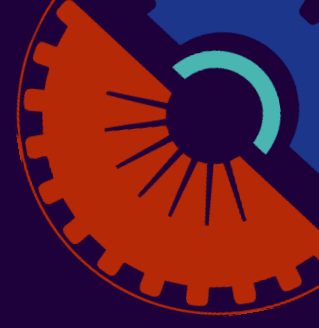
Arş. Gör. Mehmet Özçelik, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Arş. Gör. Muhammed Coşkun Irmak, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Sekreter/Secretary

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

Teknik Editör/Technical Editor

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



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

e-ISSN: 3023-5286 • Cilt/Volume: 3 • Sayı/Issue: 1 • HAZİRAN 2025

İÇERİK/CONTENT

Araştırma Makaleleri/Research Articles	
Çevirme Formasyonu'nun (Kırıkkale) Eosen Mikropaleontolojisi. (Eocene Micropaleontology of the Çevirme Formation (Kırıkkale)) <i>Aslı Karabaşoğlu, Büşra Tezel</i>	1-10
Comparison Materials of Bumper Beams for Passenger Cars Using Crash Analyses. (Yolcu Araçları için Çarpışma Analizleri Kullanılarak Tampon Kirişlerinin Malzemelerinin Kıyaslanması) <i>Ebru Barut, Ayşegül Akdoğan Eker, Ersel Özden, Harun Metin</i>	11-21





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



Makale türü: Araştırma Makalesi

### Çevirme Formasyonu'nun (Kırıkkale) Eosen Mikropaleontolojisi

Aslı Karabaşoğlu<sup>a\*</sup>, Büşra Tezel<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID: 0000-0001-6980-0194

<sup>b</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye  
ORCID: 0000-0001-8592-0161

#### ÖZET

Kırıntılı ve masif kireçtaşlarından oluşan Çevirme Formasyonu, Kırıkkale güneyinde Ceritkale ve çevresinde yer almaktadır. Formasyon, Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ile yanall ve düşey yönde geçişlidir. Çevirme Formasyonu gri renkli orta kalın katmanlı çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşı ara katmanlı ve masif kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ayrıntılı incelenmiş ve çalışılmıştır. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi bentik foraminiferce zengin, bivalvia, mercan kavkuları içeren gri renkli orta kalın katmanlı masif kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Arazi çalışmalarında 40 adet örnek alınmış, alınan örneklerin paleontolojik değerlendirmeleri sonucunda Eosen yaşlı *Alveolina pasticillata*, *Gyroidinella magna*, *Sphaerogypsina globula*, *Neorotalia vienotti*, *Valvulina orali*, *Nummulites sp.*, *Ornatorotalia sp.*, *Operculina sp.*, *Gyroidinella sp.*, *Alveolina sp.*, *Textulariidae*, *Miliolidae*'den oluşan foraminifer topluluğu saptanmıştır. Kireçtaşları Folk (1959) bileşim ve Dunham (1962)doku ağırlıklı sınıflandırmalarına göre istiftaşı ve bağlamtaşı olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında saptanan bentik foraminifer sığ, sıcak denizel karbonatça zengin ortamları, özellikle kıta sahanlığı ve kıyı bölgelerini temsil eder.

**Anahtar Kelimeler:** Kırıkkale, Ceritkale, bentik foraminifer, Mikropaleontoloji, Eosen

### Eocene Micropaleontology of the Çevirme Formation (Kırıkkale)

Aslı Karabaşoğlu<sup>a\*</sup>, Büşra Tezel<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Geology, Faculty of Engineering, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID: 0000-0001-6980-0194

<sup>b</sup>Institute of Science, Faculty of Engineering, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Türkiye  
ORCID: 0000-0001-8592-0161

#### ABSTRACT

The Çevirme Formation, composed of clastic and massive limestones, is in the south of Kırıkkale, around Ceritkale and its surroundings. The formation is transitional laterally and vertically with the Dulkadirli Limestone Member. Çevirme Formation consists of grey-coloured, medium-thick layered conglomerate, sandstone, siltstone interlayered and massive limestone. The Dulkadirli limestone Member was examined and studied in detail in this study. Dulkadirli Limestone Member consists of grey-coloured, medium-thick layered, massive limestones rich in benthic foraminifera and containing bivalvia and coral shells.

Forty samples were taken in field studies, and as a result of the paleontological evaluations of the samples taken, a foraminiferal community consisting of Eocene-aged *Alveolina pasticillata*, *Gyroidinella magna*, *Sphaerogypsina globula*, *Neorotalia vienotti*, *Valvulina orali*, *Nummulites sp.*, *Ornatorotalia sp.*, *Operculina sp.*, *Gyroidinella sp.*, *Alveolina sp.*, *Textulariidae*, *Miliolidae* was determined. Limestones are classified as packstone and boundstone according to Folk's (1959) composition and Dunham's (1962) texture-weighted classifications. Benthic foraminifera detected in the study area represents shallow hot marine carbonate-rich environments, especially continental shelves and coastal areas.

**Keywords:** Kırıkkale, Ceritkale, benthic foraminifera, Micropaleontology, Eocene

## 1. Giriş

Çalışma alanı, Kırıkkale il sınırları içerisinde güneydoğusunda Keskin ilçe merkezine yaklaşık 10 km. mesafede bulunan Ceritkale Köyü'nün çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada, Kırıkkale'nin güneydoğusunda bulunan önceki çalışmalarda Schmidt [1] tarafından Çayraz Formasyonu, Kara [2] tarafından Çevirme Formasyonu, Norman [3] tarafından Hacıbalı Formasyonu, Oktay [4] tarafından Arzılar Kireçtaşı, Kara ve Dönmez [5] tarafından Ceritkalale Formasyonu ve Meşeköy Formasyonu olarak adlandırılan Eosen yaşlı fosilce zengin kireçtaşlarının paleontolojik içeriklerini ortaya çıkarmak, yaşlarını saptamak ve istiflerin çökme koşullarını ve fasiyelerini belirleyerek bölgesel jeolojiye katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Bölgedeki en eski kayaçlar, Kırşehir masifi olup metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır. Bu birimler, Üst Kretase yaşlı Karaboğazdere gabrosu ve Çiçekdağ Formasyonu tarafından tektonik olarak örtülmektedir. Bu kayaçlar, Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu granitoidleri tarafından kesilmektedir. Granitoidler üzerinde, Paleosen-Alt Eosen yaşlı ve genellikle kırıntılı ve yer yer kireçtaşı bloklarından oluşan Dizilitaşlar Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Paleosen yaşlı birimler üzerinde, önceki çalışmalarda Baraklı ve Çayraz formasyonu olarak adlandırılan kırıntılar ve Eosen yaşlı denizel kireçtaşlarından oluşan Çevirme Formasyonu uyumsuz olarak yer almaktadır. (Şekil 1, 2.) [6].

Baykal (1943) [7], Ankara bölgesinde Kaledoniyen ve Hersiniyen hareketlerini incelemiş bu hareketlerin bölgedeki eski şist ve kalkerlerin kıvrımlarını etkilediğini belirtmiştir. Akıncı ve Ünlügenç [8], Kırıkkale baseninin yumuşak sedimantasyonla yaşıt kıvrımlanmış deformasyon modelinde olduğunu savunmuşlardır. Sirel ve Gündüz [9] çalışmalarında Haymana'nın güneyinde Çayraz ve Yeşilyurt Köyleri arasında Paleosen ve Eosen çökelleri içindeki Nummulites, Assilina ve Alveolina cinslerinin sistematik tanımlamaları ve stratigrafik dağılımları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çağatay ve ark., [10] çalışmasında, Keskin-Ankara bölgesindeki Karamağara kuyusundaki kurşun-çinko cevherleşmesini incelemişlerdir. Ateş [11] çalışmasında Kırıkkale Keskin ve çevresini havadan manyetik anomalilerini değişik filtre yöntemiyle incelemiş ve manyetik bozucu bir kütle olduğunu belirtmiştir. Meydan [12] çalışmasında, Kırıkkale'nin doğusunda yer alan Delice-Çerikli-Salmanlı arasındaki bölgenin neotektonik özelliklerini incelemiştir.

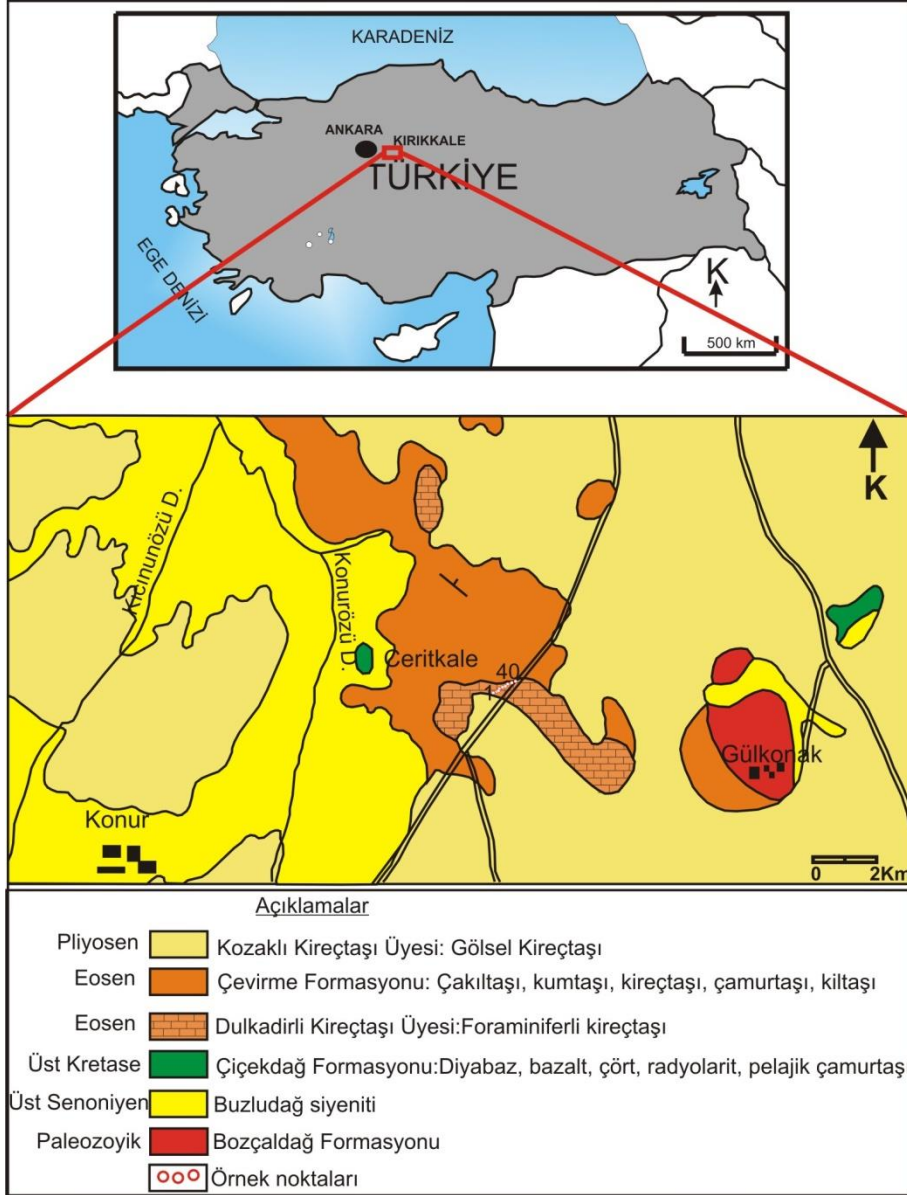
Bu çalışmada Çevirme Formasyonu'nun üyesi olan Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi'nin paleontolojik özellikleri ve fasiyelerini ayrıntılı incelenmiş ve fosil içeriği ortaya konmaya çalışılmıştır.

### 1.1. Çevirme Formasyonu

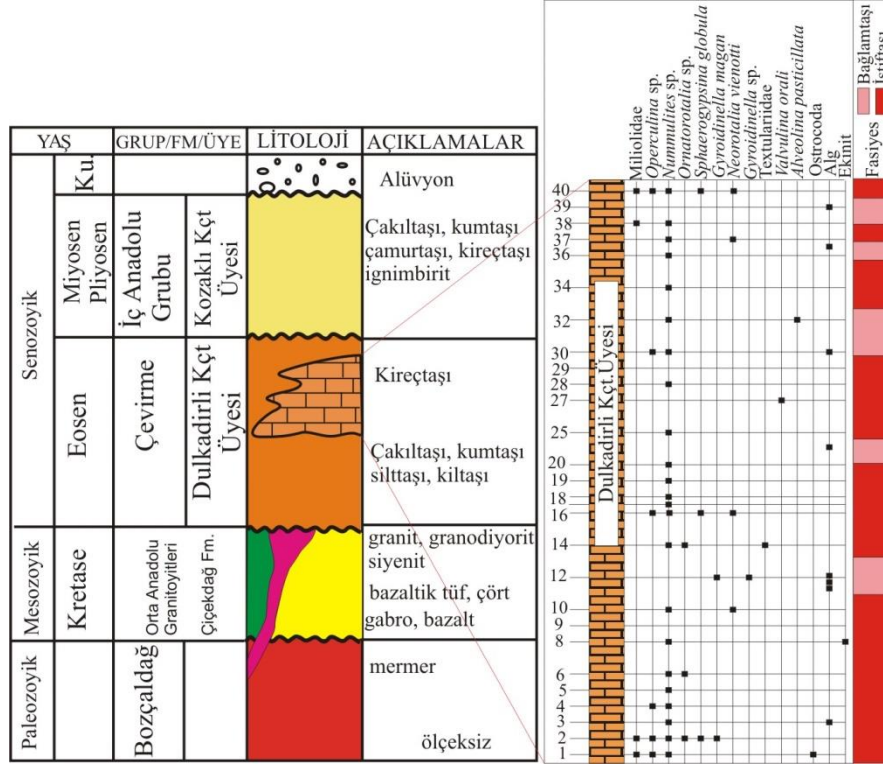
Çevirme Formasyonu, tabanda tabakalı, kahverengi, gri ve yer yer kırmızı renkli çakıltası ile kumtaşı ile başlar. Üst kesimlerde, açık gri ve gri renkli, paralel katmanlı, iyi boylanmış, kumtaşı ve silttaşı, az miktarda ince taneli çakıltılarından oluşur. Orta düzeylerinde gri renkli, masif kireçtaşları yer alır ve bunlar orta-kalın katmanlı, yer yer killi ve kumludur. Üst kesimlerinde türbiditik çakıltası, kumtaşı ve ara katmanları içeren gri renkli, masif, çamurtaşlarından oluşur.

#### 1.1.2. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi

Kırşehir-131 paftasının batısında Ceritkale ve çevresinde yer alan kireçtaşları bivalvia, gastropod, mercan ve bol miktarda iri bentik foraminiferlerce zengin olmasıyla ayırtılır. Birim gri renkli orta kalın katmanlı yer yer kumlu siltli ara düzeyler içeren kireçtaşları ve masif kireçtaşlarından oluşur. Birim Çevirme Formasyonu ile yanal ve düşey yönde uyumlu geçişlidir. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ilk olarak Oktay [4] tarafından adlandırılmıştır. Üyenin kalınlığı 5-100 m arasında değişir [4, 11, 16]. Birimin alt alt dokanağı çalışma alanında Orta Anadolu granitoidleri üzerine uyumsuzlukla gelirken, bazı alanlarda Dizilitaş Formasyonu ile uyum göstermektedir. Dulkadirli kireçtaşı Üyesi üzerine Oligosen yaşlı yer yer çakıltası kumtaşı ve çamurtaşı katmanlarından ve evaporitik kayaçlardan oluşan İncik Formasyonu uyumlu olarak yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru, jeoloji [6] ve örnek haritası.



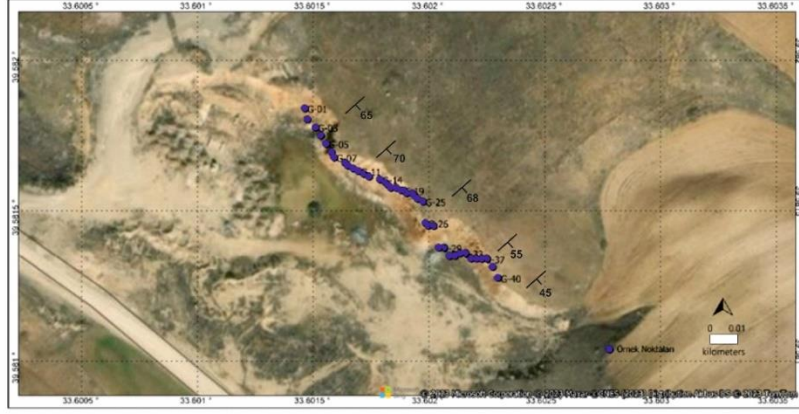
Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti (Dönmez vd., 2005 [6]'den değiştirilerek alınmıştır) ve mikropaleontolojik fosil içeriğini ve fasiyes değişimini gösteren kesit.

## 2. Materyal ve Yöntem

Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi'nin aşınma yüzeyi kahverenkli, taze yüzeyi beyazımsı-sarı renkli olarak gözlemlenmektedir. Ceritkale Köyü çevresinden alınan 40 adet örneğin paleontolojik analizleri yapılmıştır (Şekil 3). Alınan örneklerin ince kesitleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünde ince kesitleri yaptırılmış mikroskop altında incelenmiş, fotoğraflandırılmış ve paleontolojik kataloglar yardımıyla cins ve türler saptanmıştır. Ayrıca Folk [13]'a göre bileşim ağırlıklı ve Dunham [14]'ye göre doku ağırlıklı karbonat sınıflamalarına göre adlandırılmıştır.

## 3. Bulgular

Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi olarak adlandırılan birim iri bentik foraminiferlerden çoğunlukla Nummulites ve mercan, gastropod, bivalvia kavkaları içeren, gri renkli, orta-kalın katmanlı, kumlu-siltli ve masif kireçtaşlarından oluşur ve Çevirme Formasyonu ile yanal-düşey yönde geçişlidir (Şekil. 3, 4).



Şekil 3. Ceritkale Köyü çevresinden alınan örneklerin Google Earth uydu görüntüsü ve Çevirme Formasyonu ile Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi'nin dokanağı.



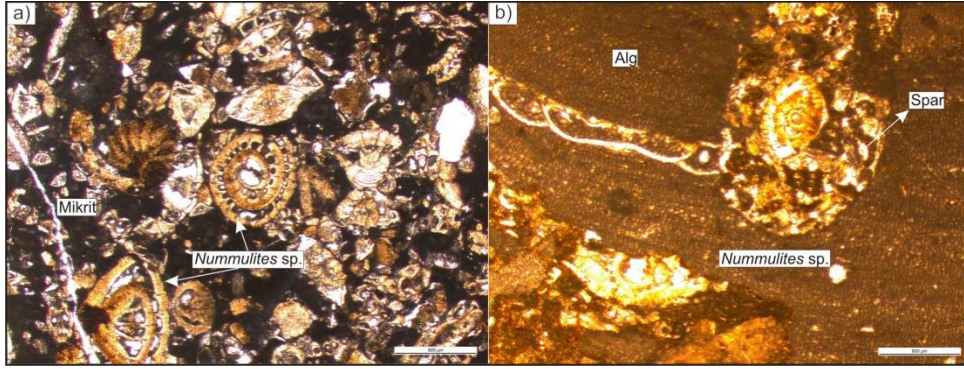
Şekil 4. a) Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi ve Çevirme Formasyonuna ait kireçtaşlarının dokanağı, b) Dulkadirli Kireçtaşı Üyesine ait bol nummulitesli kireçtaşları (Ceritkale Köyü).

Dulkadirli Kireçtaşı Üyesinden alınan örneklerin detaylı petrografik incelemesi sonucunda, Folk [13] ve Dunham [14]'ye göre sınıflandırılmıştır. Folk Sınıflandırmasına göre belirgin biyoklastlar



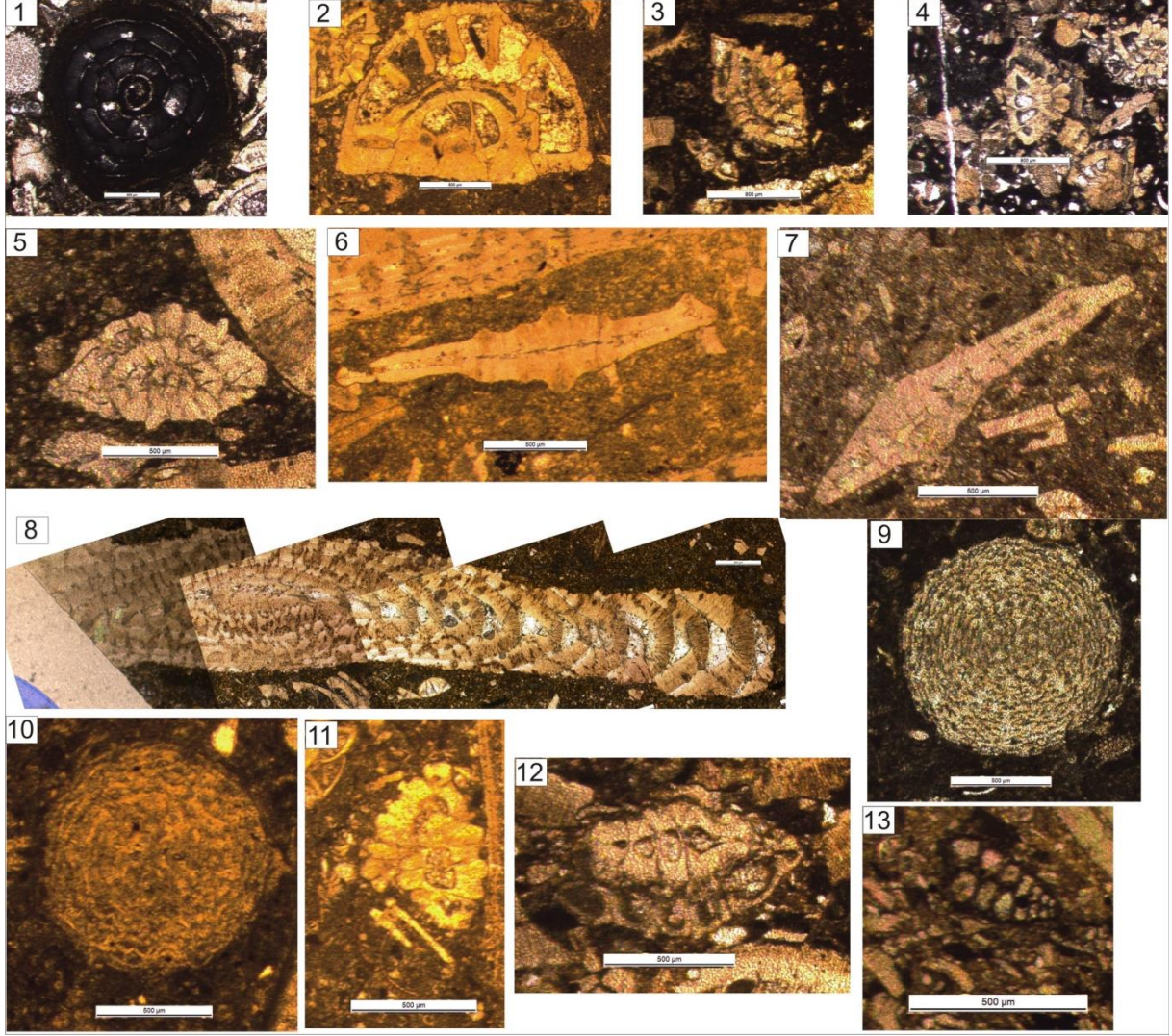
ile sparit çimentosu gözlenmekte ve yer yer biyomikritler yer almaktadır Dunham sınıflandırmasına göre taneler birbirine yer yer temas etmekte ve az miktarda matris içermektedir. Tanelerin %10'dan fazlası matris içinde gözlenmiştir. Kayaç Dunham'ya [14] göre biyomikrit, Folk [13]'e göre istif taşı olarak adlandırılır (Şekil 5a).

Folk Sınıflandırmasına göre kireçtaşı yersel tane destekli, mikrit aramaddelidir. İnce kesitin bazı kısımlarında tane destekli doku gözlenen kireçtaşı Dunham [14] ye göre bağlamtaşı özelliği sunarken, Folk'e [13] göre biyomikrit özelliği göstermektedir. Biyoklast olarak bentik foraminifer ve koralin alg gözlenmiştir (Şekil. 5b). Koralin algler ise, kalsiyum karbonat birikimi ile karakterize edilen kırmızı alglerdir. Bu algler, resif yapılarının oluşumuna katkıda bulunur ve biyoklastik tortul kayaçların önemli bir bileşen olarak gözlenmektedir (Şekil. 5b).

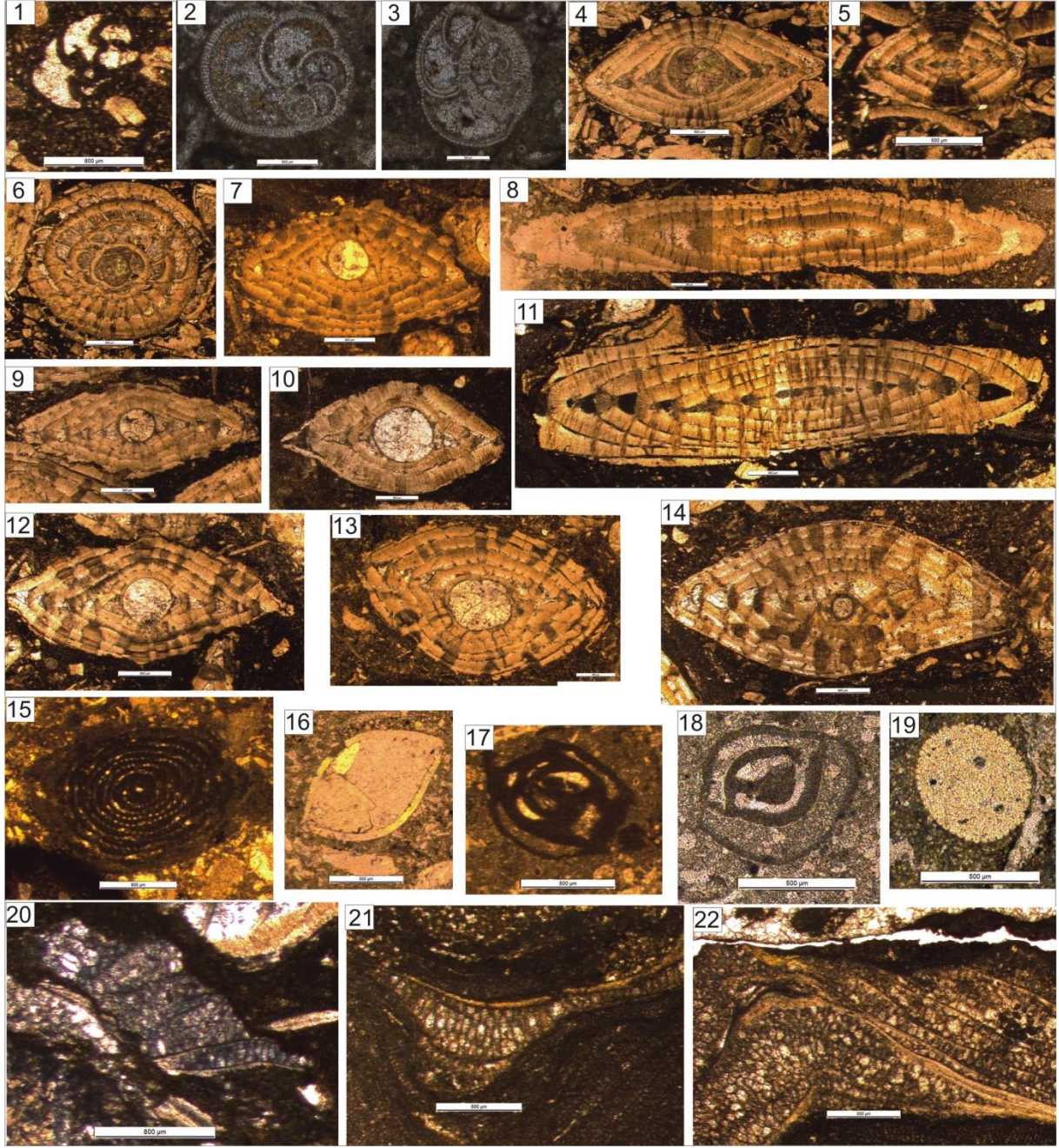


Şekil 5. a) (örnek no; G16). Dulkadirli Kireçtaşı Üyesine ait kireçtaşının içerisinde gözlenen bentik foraminifer (Dunham (1962) [14]: istiftaşı), (Folk (1959): biyomikrit), b) (örnek no; G19). Kireçtaşı içerisinde gözlenen bentik foraminifer ve koralin alg fosilleri. (Folk (1959) [13] : biyomikrit), (Dunham (1962) [14] :bağlamtaşı)

Dulkadirli Kireçtaşı Üyesine ait kireçtaşı örneklerinin ince kesitlerinde saptanan bentik foraminiferler ve mikrofosiller şekil 6 ve 7'de sunulmuştur.



Şekil 6. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi içinde saptanan bentik foraminiferler: 1) *Alveolina pasticillata* (Schwager,1883) [15], ekvatoryal kesit, (örnek no; G32.9), 2) *Gyroidinella magna* (Le Calvez, 1949) [16], aksenal kesit, (örnek no; G2.12), 3, 4, 5) *Neorotalia viennoti* (Greig 1935) [17], aksenal kesit, (örnek no; G10.7, G16.2, G37.1), 6, 7) *Operculina* sp., aksenal kesit, (örnek no; G4.1, G30.4), 8) *Ranikothalia* sp., aksenal kesit, (örnek no; G24.4), 9, 10) *Sphaerogypsina globula* (Reuss 1848) [18], aksenal kesit, (örnek no; G2.10, G2.16), 11, 12) *Ornatorotaliidae*, aksenal kesit, (örnek no; G2.15, G14.11). 13) *Textulariidae*, boyuna kesit, (örnek no; G14.5).



Şekil 7. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi içinde saptanan bentik foraminiferler ve mikrofosiller; 1) *Gyroidinella* sp., 2, 3) *Valvulineria orali* (İnan, 2003) [19], oblik kesit, (örnek no; G27.1, G27.2), 4-14) *Nummulites* sp., eksenel kesit, 6) ekvatoryol kesit, (örnek no; G10.2, G14.9, G14.10, G14.13, G19.7, G22.4, G32.10, G34.9, G36.1, G36.9, G36.12, 15) *Alveolina* sp. (örnek no; G20.14), eksenel kesit, 16) *Ostrocoada*, (örnek no; G1.1), 17-18) *Miliolidae*, (örnek no; (G38.1, G40.11), 19) Ekinid dikeneni, (örnek no; G8.2), 20-22) Korallin alg, (örnek no; G3.1, G30.5, G39.2).

#### 4. Sonuç

Kırıkkale'nin güneydoğusunda Ceritkale ve çevresinde yer alan Çevirme Formasyonu Dulkadirli Kireçtaşı Üyesiyle yanıl ve düşey yönde geçişlidir. Dulkadirli Kireçtaşı Üyesi orta kalın katmanlı, kumlu siltli kireçtaşlarından oluşur ve bol bentik foraminifer, mercan, gastropod ve bivalvia kavkılari içerir. Bu çalışmada Dulkadirli Kireçtaşı Üyesinden 40 adet paleontolojik tayin için kaya örneği alınmiş ve *Alveolina pasticilata*, *Gyroidinella magna*, *Sphaerogypsina globula*, *Neorotalia*

*vienotti*, *Valvulina orali*, *Nummulites* sp., *Ornatorotalia* sp., *Operculina* sp., *Gyroidinella* sp., *Alveolina* sp., *Textulariidae*, *Ornatorotaliidae*, *Miliolidae*'den oluşan foraminifer topluluğu ve alg, ostrocoda, ekinit dikenli gibi fosiller saptanmıştır. Saptanan foraminiferlerin sistematik tanımlamaları yapılmıştır. Eosen dönemini işaret eden fosil topluluğunda *Nummulites* cinsinin bolluğu ve beraberinde birlikte bulunan diğer fosil topluluğu, sıcak, sığ karbonatça zengin kıta sahanlığı (şelf) ve kıyı ortamını temsil eder.

Alınan örnekler Folk [13] (Bileşim ağırlıklı sınıflama) ve Dunham [14] (Doku ağırlıklı sınıflama)'ye göre kireçtaşları istif ve bağlamtaşı olarak sınıflandırılmıştır. Bağlamtaşı genellikle sığ ve enerjik ortamı işaret ederken, istif taşının daha sakin kısmen derinleşen bir deniz ortamını işaret ettiği söylenebilir. Eosen dönemindeki bu geçişler bölgedeki deniz seviyesi değişimini işaret etmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Schmidt, C. C., (1960). AR/MEM/ 365-366 -367 sahalarının nihai terk raporu, Pet. İş. Gn. Müd. (yayınlanmamış), Ankara.
- [2] Kara H., (1991). 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırşehir-G 18 paftası, No: 37, MTA, Ankara.
- [3] Norman, T., (1972). Ankara Yahşihan bölgesinde Üst Kretase-Alt Senozoyik istifinin stratigrafisi, TJKurultayı Bülteni, XV, 2, 180-276.
- [4] Oktay, F. Y., (1981). Savcılı-Büyükoba (Kaman) çevresinde Orta Anadolu masifi tortul örtüsünün jeolojisi ve sedimantolojisi, İTÜ Maden Fak., (Yayımlanmamış Doçentlik Tezi), İstanbul.
- [5] Kara, H. ve Dönmez, M., (1990). 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Kırşehir-G 17 paftası, No: 34, MTA, Ankara.
- [6] Dönmez, M., Bilgin, Z.R., Akçay, A.E., Kara, H., Yergök, A.H., Esentürk, K. (2005). 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Kırşehir-İ31 paftası, No: 46, MTA, Ankara.
- [7] Baykal, F., (1943). Kırıkkale-Kalecik ve Keskin-Bala mıntıkasındaki jeolojik etütler, MTA Rap. No: 1448 (yayınlanmamış), Ankara.
- [8] Akıncı, A., Ünlügenç, U. C., (2008). Yahşihan (Kırıkkale) Civarının Tektono-Stratigrafisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84, Adana.
- [9] Sirel, E., Gündüz, H., (1976). Haymana (G Ankara) yöresi llerdiyen, Küziyen ve Lütésiyen'deki *Nummulites*, *Assilina* ve *Alveolina* cinslerinin bazı türlerinin tanımlamaları ve stratigrafik dağılımları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni., c. 19, 31-44, Ankara.
- [10] Çağatay, A., Rüksan, T., (1979). Vitişenit Minerali içeren Keskin -Karamağara Kurşun-Çinko Zuhurunun Mineralojisi ve Köken, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni., C. 22, 203-208, Ankara.
- [11] Ateş, A. (1995). Kırıkkale, Keskin ve Çevresinin Havadan Manyetik Anomalilerinin İncelenmesi, TMMOB, Jeofizik Mühendisleri Odası, Jeofizik 9-10, 35-40.
- [12] Meydan, M., (2005). Deliçerikli-salmanlı (Kırıkkale) Arasındaki Bölgenin Neotektoniği ve Depremselliği, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57, Ankara.
- [13] Folk, R. L., (1959). Practical petrographic classification of limestones: AAPG Bulletin, 43, 1-38.
- [14] Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. HAM (ed.) Classification of Carbonate Rocks.-American Association of Petroleum Geologists Memoir 1,108-121; Tulsa, Ok.
- [15] Schwager, C. (1883). Die Foraminiferen aus den Eocaenablagerungen der libyschen Wüste und Aegyptens. Palaeontographica, 30, 79-153.

[16] Le Calvez, Y. (1949). Révision des foraminifères lutétiens du Bassin de Paris II, Rotaliidae et familles affines. *Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*. 1-53.

[17] Greig, D. A. (1935). *Rotalia viennoti*, an important foraminiferal species from Asia Minor and western Asia. *Journal of Paleontology*, 9(6), 523–526.

[18] Reuss, A. E., (1848). Die fossilen Polyparien des wiener Tertiarbeckens, *Naturwissenschaftliche Abhandlungen*, Wien 2 (1), 1-109.

[19] İnan, N. (2003). *Cocorota orali* n.sp. (Foraminifera) from Upper Maastrichtian-Lower Lutetian deposits of Turkey. *Micropaleontology* 49, 201-204.



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



Article type: Research Article

### Comparison Materials of Bumper Beams for Passenger Cars Using Crash Analyses

Ebru Barut<sup>a\*</sup>, Ayşegül Akdoğan Eker<sup>b</sup>, Ersel Özden<sup>c</sup>, Harun Metin<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Research and Development Center, Toyotetsu Automotive Parts Industry and Trade Inc., Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3824-3150

<sup>b</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical, Yıldız Technical University, Istanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0212-9230

<sup>c</sup> Research and Development Center, Toyotetsu Automotive Parts Industry and Trade Inc., Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3911-7738

<sup>d</sup> Research and Development Center, Toyotetsu Automotive Parts Industry and Trade Inc., Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0009-0007-1884-2993

#### ABSTRACT

Frontal accidents, which account for most of the accident types to which passenger vehicles are subjected, emphasize the bumper component. The vehicle's radiator, cooling system, engine, and other components are all protected by the bumper part, thus it needs to be a part that can give safety and great energy absorption to stop any impacts. The material and design of the item are the two most crucial factors that must be improved to offer safety and maximum energy absorption. The goal of using less energy is to employ appropriate design and materials and provide transportation and consumption sites.

Within the framework of this study, material optimization employing various materials and collision simulation analyses were done to maximize the collision endurance of the cars. The mesh structure was obtained using the Hypermesh tool, and the part design was produced using Catia V5. The simulation outputs were examined using Oasys-Suite, while the simulations themselves were examined using Ansys Ls-Dyna. Force-moment-time graphs, deformation, and stress data of the materials were obtained. According to the obtained results, the material expressed as MAT1 gave better results compared to the material expressed as MAT2 in terms of the material's resistance to deformation and its capacity to absorb impact energy.

**Keywords:** Bumper, Crashworthiness, Safety, Steel Materials.

### Yolcu Araçları için Çarpışma Analizleri Kullanılarak Tampon Kirişlerinin Malzemelerinin Kıyaslanması

Ebru Barut<sup>a\*</sup>, Ayşegül Akdoğan Eker<sup>b</sup>, Ersel Özden<sup>c</sup>, Harun Metin<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Toyotetsu Otomotiv Parçaları San ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3824-3150

<sup>b</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0212-9230

<sup>c</sup> Toyotetsu Otomotiv Parçaları San ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3911-7738

<sup>d</sup> Toyotetsu Otomotiv Parçaları San ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Kocaeli, Türkiye, ORCID: 0009-0007-1884-2993

#### ÖZET

Yolcu araçlarının maruz kaldığı kaza türlerinin çoğunu oluşturan önden çarpışmalar, tampon bileşenini hedef almaktadır. Tampon parçası, aracın radyatörünü, soğutma sistemini, motorunu ve diğer bileşenlerini korur. Bu nedenle, herhangi bir darbeyi durdurmak için güvenlik ve mükemmel enerji emilimi sağlayabilen bir parça olmalıdır. Parçanın malzemesi ve tasarımı, güvenlik ve maksimum enerji emilimi sağlamak için iyileştirilmesi gereken iki en önemli faktördür. Daha az enerji kullanma hedefi, uygun tasarım ve malzemeler kullanarak taşıma ve tüketim alanları sağlamaktır.

Bu çalışma kapsamında, araçların çarpışma dayanımını en üst düzeye çıkarmak için çeşitli malzemeler kullanılarak malzeme optimizasyonu ve çarpışma simülasyonu analizleri yapılmıştır. Mesh yapısı Hypermesh aracı kullanılarak elde edilmiş ve parça tasarımı Catia V5 kullanılarak tasarlanmıştır. Simülasyon çıktıları Oasys-Suite kullanılarak incelenmiş ve simülasyonlar Ansys Ls-Dyna kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin kuvvet-moment-zaman grafikleri, deformasyon ve gerilme verileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, MAT1 olarak ifade edilen malzeme, deformasyona karşı direnci ve darbe enerjisini emme kapasitesi açısından MAT2 olarak ifade edilen malzemedan daha iyi sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Tampon, Çarpışma Dayanımı, Güvenlik, Çelik Malzemeler.*

---

## **1. Introduction**

The frequency of accidents happening in traffic has significantly increased along with the use of individual vehicles. Vehicle makers are subject to international regulations that must be followed to create safe automobiles that will shield occupants from harm in the case of an accident. The main areas that engineers focus on are developing safe designs and selecting appropriate materials to reduce potential accident risks for the automotive industry according to these international regulations [1, 2].

Hits from the front of the car are the cause of the majority of automobile accidents. The area of the vehicle's bumper that receives the initial blow during an impact is said to be experiencing front impact. The vehicle's critical pieces, including the engine, cooling systems, hoods, mufflers, radiators, and fenders, are all protected by the bumper, which must absorb the most energy during an accident. The best design and material choice will boost safety since the amount of energy the bumper component can absorb is directly tied to the part's design and composition [3, 4].

Various studies in the literature highlight the importance of material selection in bumper components. For instance, Chaure et al. explored different metals, such as aluminium, titanium, and steel, to replace traditional plastic bumper sections using Ls-Dyna simulations. Their study aimed to investigate the utilization of metal materials under different speed and thickness conditions while considering strength and bending stress [5]. Khedkar et al. conducted experimental and numerical research on bumper parts used in Indian passenger vehicles. They compared different geometries and materials under three-point bending tests to validate ideal conditions for bumper designs [6]. Another study by Nachippan et al. focused on hybrid composite materials made from epoxy matrix composites reinforced with glass fibers, which are considered environmentally friendly while providing adequate mechanical qualities for bumpers [7].

Further studies explored the potential of materials such as aluminium alloys, thermoplastic polymers, and composite materials. For example, Basith et al. compared deformation, strain, and stress values of these materials under different speeds in simulation models [8]. Kannan et al. used acrylonitrile butadiene styrene (ABS) to analyze bumper pieces and optimized their design based on total deformation and plastic strain parameters [9]. Kumar et al. found that S2 glass epoxy, a fiber-reinforced composite material, outperformed alloy steel and polyetherimide (PEI) in terms of stress-strain values and energy absorption [10].

John et al. conducted structural analyses of bumpers using materials such as aluminum B390 alloy, chromium-plated mild steel, and carbon composites, employing CATIA V5 for modeling and ABAQUS and Ansys Workbench for simulations. Their results indicated that the carbon composite bumper exhibited the lowest deformation and the highest Von Mises stress during static analysis. In dynamic analysis, the carbon composite bumper also demonstrated superior resistance [11]. Marzbanrad et al. compared aluminum, magnesium, glass materials thermoplastic (GMT), and high-strength sheet molding compound (SMC) materials for bumper simulations. Their findings suggested that SMC material reduced impact forces and stress distribution compared to other materials, while also enhancing elastic deformation energy [12]. Reddy et al. observed that carbon fiber, when used for bumper modeling, exhibited lower deformation and better mechanical properties compared to aluminum and chromium-plated mild steel [13].

When reviewing these studies, it is clear that metals, alloys, polymers, and composite materials have all been explored for bumper components. Each material group offers distinct advantages in terms of weight, strength, and energy absorption. As the automotive industry continues to advance, new-generation high-strength steels and advanced composites show promise in providing both lightweight and high-performance solutions for vehicle safety.



In this work, we performed analyses using both cold-rolled and hot-rolled steels with similar strength qualities and new-generation high-strength steels under simulation settings. The bumper part was designed using Catia V5 and meshed in Hypermesh. Ansys Ls-Dyna was employed to solve boundary conditions, and the outputs were compared using the Oasys Suite program.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Materials**

High-strength steels have excellent mechanical properties and a high capacity to absorb impact energy. For this reason, they have been widely used in the production of bumper parts for many years [14].

Aluminum and its alloys have a lower density compared to steels, which means they have a lower mass per unit volume. Additionally, they exhibit excellent corrosion resistance, enabling a weight reduction of up to 36% compared to steel [14].

Composite materials are highly preferred in the automotive industry due to their low weight and high mechanical properties. Recent studies have shown that fiber-reinforced polymer composites are being used as alternatives to ultra-high-strength steels, aluminum, and magnesium alloys [14, 15].

However, high-strength steels remain a preferred choice in bumper design due to their superior energy absorption capabilities. These steels provide a remarkable balance between strength and weight, making them highly effective in enhancing vehicle safety by absorbing impact energy during collisions. Their high mechanical properties ensure that the bumper maintains structural integrity under impact, minimizing deformation and protecting critical components such as the engine and cooling systems. Additionally, the durability and corrosion resistance of modern high-strength steels ensure that the bumper remains effective throughout the vehicle's lifespan. These advantages, supported by numerous studies, make high-strength steel an optimal material choice for bumper components [14, 15].

### **2.2. Design**

The bumper design created in the Catia V5 program aligns with the design regulations, as shown in Figure 1, and is intended for use in simulations.

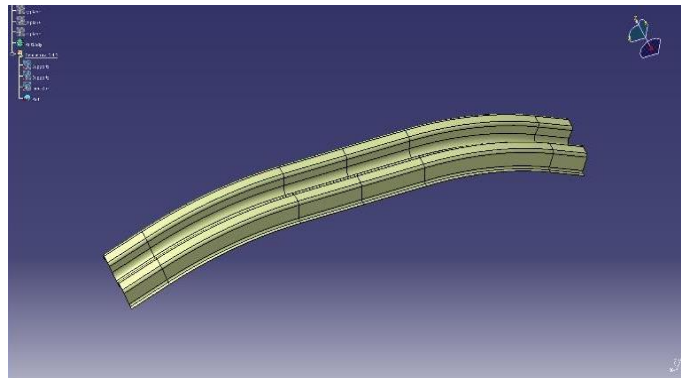


Figure 1. Design of Bumper from Catia V5

### 2.3. Meshing

To perform finite element analysis of a design, it is crucial to perform the "mesh" operation. In the mesh operation, the surface of the part to be analyzed is divided into many smaller and simpler sub-parts. In this way, the numerical solution of complex problems becomes more effortless. The Hypermesh program's Batchmesher command was used to build the mesh structure before the analysis boundary conditions for the bumper design were finished. The quad element was chosen as the mesh element type to create the mesh, with a target element size of 2 mm and a maximum element size of 3.5 mm. Figure 2 depicts the mesh construction of the bumper piece.

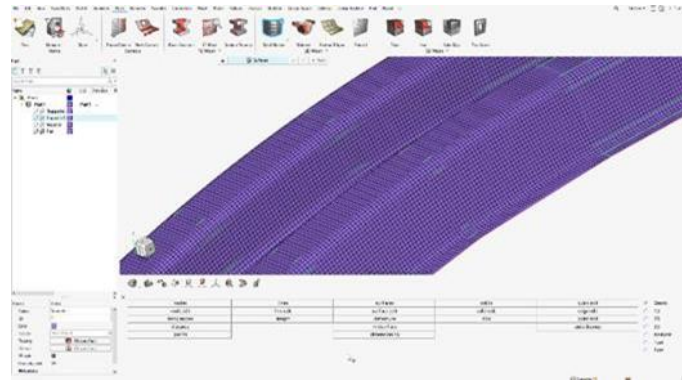


Figure 2. Mesh Image from HyperMesh

### 2.4. Modelling of Bumper

The creation of accurate simulation data and obtaining a solution are crucial in finite element simulations. To conduct this study, the Ansys Ls-Dyna program was used to evaluate the bumper component input document, as shown in Figure 3.

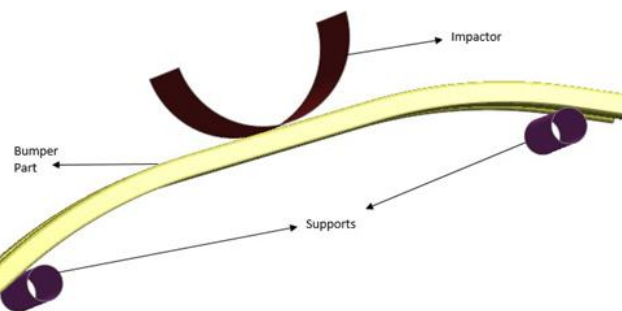


Figure 3. Bumper Set from Ansys Ls-Dyna

The bumper part's model file was created using the MAT\_024: PIECEWISE LINEAR PLASTICITY material model since it is anticipated that the simulation will cause plastic deformation in the component. The Support components used in the simulation and the Impactor component, which will transmit the energy that causes the deformation of the buffer component, were made using the MAT\_20: RIGID material model, as they should not undergo any deformation and should have rigid properties.

The "Contact" command is used to determine how the parts relate to each other during the simulation. With this command, the impactor and the bumper part are connected using the

AUTOMATIC SURFACE TO SURFACE connection since they will be in direct contact during the collision, and the support parts are connected using the AUTOMATIC SINGLE SURFACE connection since they will not be in contact with the impactor. The part's 1.6 mm thickness was established, along with the simulation's speed and duration. Following the determination of the boundary conditions, Ansys Ls-Dyna was used to solve the simulation and determine the desired simulation results.

This study used cold-stamped and hot-stamped steel to compare the effects of two distinct materials as a result of crash test analysis. The properties of cold-stamped and hot-stamped steel are shown in Tables 1 and 2, respectively.

Table 1. Material properties of Cold Stamped Steel (MAT1)

Mechanical Property	Numerical Value
Young's modulus (GPa)	205
Poisson's ratio	0.3
Yield Strength (MPa)	1225
Ultimate Tensile Strength (MPa)	1650

Table 2. Material properties of Hot Stamped Steel (MAT2)

Mechanical Property	Numerical Value
Young's modulus (GPa)	205
Poisson's ratio	0.3
Yield Strength (MPa)	1120
Ultimate Tensile Strength (MPa)	1850

The bumper employed in the study is regarded as a safety component when auto accidents are considered because it ranks first in terms of exposure to impact. Simulations were made to simulate the crash test conditions using two different materials, and the determined material values were compared.

As a result of the simulation, moment-time graphs of the deformed component and force-time graphs of the load-applied section were obtained. To compare plastic strain measurements and part deformation, von Mises stresses were examined.

### 3. Results and Discussion

A three-point bending test simulation was performed on the bumper section using new generation high-strength steel materials. The simulations were finished by using supports at two places from the part's bottom and delivering a load from above using an impactor to the part's midpoint. The material deformation following the simulation is shown in Figure 4.

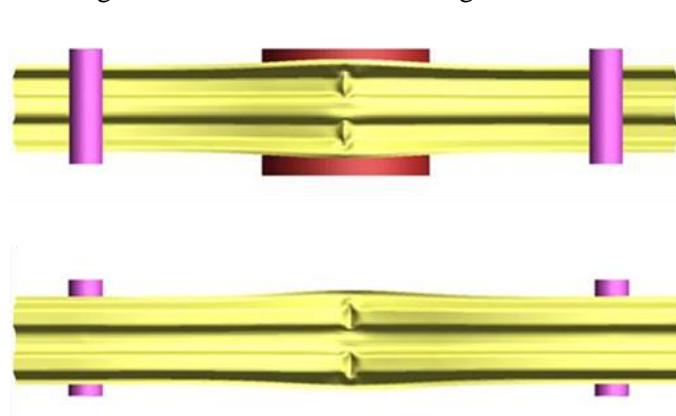


Figure 4. Bumper Part After Simulation

Figure 5 shows the force values applied to the part as a consequence of several simulations using two different materials. The maximum forces for the two simulations are different when the graph is inspected. However, the force needed to distort the MAT1 material at around the same time step is more than the force needed to deform the MAT2 material. Compared to hot-stamped material, cold-stamped material needs greater force to distort.

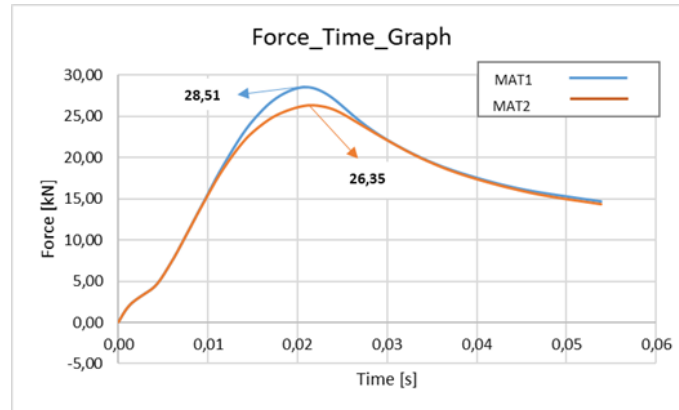


Figure 5. Force-Time Graph After Simulation

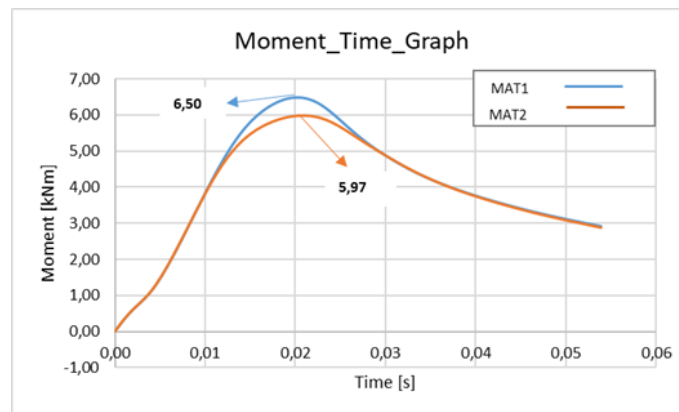


Figure 6. Moment-Time Graph After Simulation

Figure 6 displays the calculated torque values as a result of the simulations. The force values shown in Figure 5 and the separation between the two support jigs holding up the bumper section in the simulation were taken into consideration when computing the moment value. When the findings are compared to the force-time graph, it can be observed that the MAT1 material has a more significant moment of 6.50 kNm compared to the MAT2 material's value of 5.97 kNm.

The plastic strain values from the simulations were derived with color maps, as shown in Figures 7 and 8, and were then numerically examined in order to compare the materials' formability. It can be seen that the impactor is at the middle of the part that is loaded with the impactor when the plastic strain of the MAT1 material is evaluated in Figure 7. Similar to Figure 7, where the part comes into contact with the first load, plastic deformation can be seen at the midpoint, and the the color map supports the results. The MAT1 material has a maximum plastic strain of 492.52E-03, whereas the MAT2 material has a maximum value of 449.53E-03.

The analysis of the material properties presented in Tables 1 and 2 indicates that although mat1 and mat2 have the same Young's modulus and Poisson's ratio, mat1 exhibits a higher yield strength compared to mat2. This difference is expected to influence the plastic deformation behavior of the material. A higher yield strength implies that mat1 requires a greater applied stress to transition into the

plastic deformation regime. Existing studies in the literature have examined the influence of yield strength on plastic deformation providing support for the findings of this study [16], [17].

Yield strength determines the transition point of a material from the elastic region to the plastic region. At this point, when further stress is applied, the material begins to undergo permanent deformation. A higher yield strength allows the material to withstand greater loads; however, it also means that the material can endure a higher stress level before experiencing plastic deformation.

Liu et al. (2013) stated that yield strength directly influences the onset of plastic deformation and that materials with higher yield strength can sustain greater elastic loads. This condition limits the material's deformation capacity and constrains the deformation process. Consequently, it indicates that the material has a higher energy absorption capability, meaning improved impact damping performance [16].

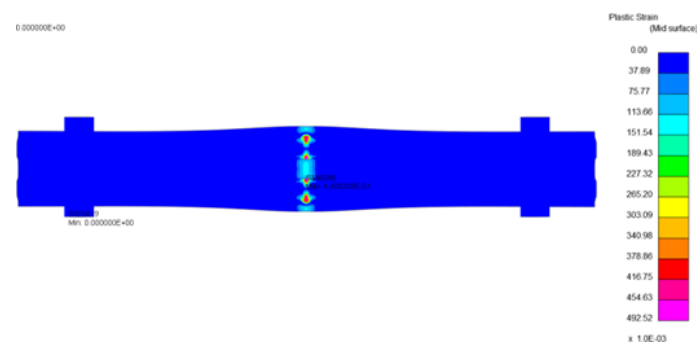


Figure 7. Plastic Strain for MAT1 Material

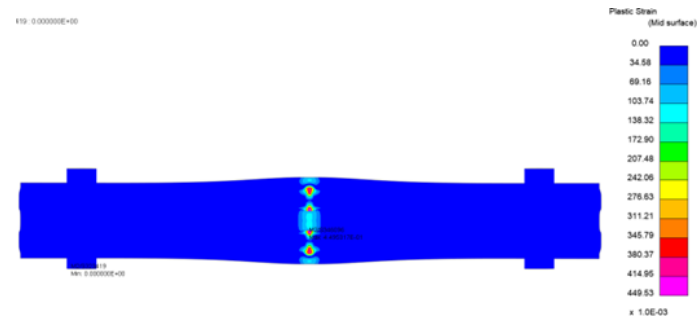


Figure 8. Plastic Strain for MAT2 Material

Materials with increased yield strength generally exhibit lower plasticity, meaning they undergo less permanent deformation. Materials with high yield strength deform less under increased stress.

Wang et al. (2016) emphasized that materials with high yield strength exhibit less plastic deformation and have enhanced durability, particularly under high loads. This increase in yield strength limits the material's ability to undergo plastic deformation [18].

As shown in Figures 9 and 10, von Mises stress levels were compared to assess the simulation findings mechanically. Instead of loading in a single axis like tensile and compressive stresses, the von Mises stress value expresses the average of the stresses and shear stresses in the material under every loading scenario. This stress value was investigated to compare the plastic deformability of two distinct materials. The value found as 1.725E-03 for the MAT2 material was 1.732E-03 in the simulation with the MAT1 material.

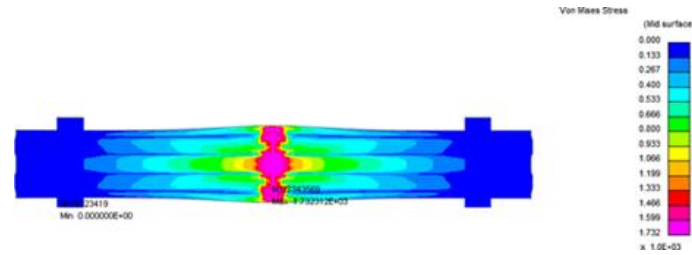


Figure 9. Von Mises Stress for MAT1 Material

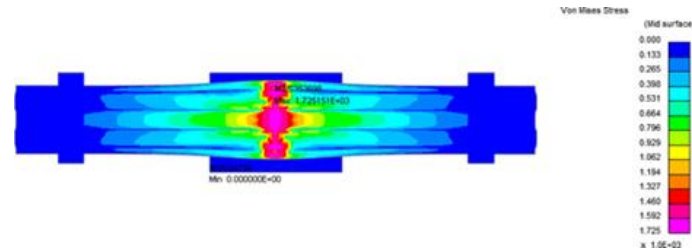


Figure 10. Von Mises Stress for MAT2 Material

When simulations are run under identical circumstances, and the results are assessed, it is evident that the cold-stamped material, represented by MAT1, has superior mechanical and formability properties to the hot-stamped material, represented by MAT2. Although there are only minor manufacturing process differences between the two materials, these differences directly impact the material characteristics, and as can be shown from the simulation results, cold-stamped materials have some benefits.

When using the cold stamping technique, which is done at room temperature, the material's strength is increased without the aid of heat through the action of several hardening mechanisms. The effect of these hardening mechanisms and hardening is projected to produce a larger increase in the material's strength compared to the hot stamping procedure. It will be challenging to optimize both the equipment costs and the process conditions for the hot stamping method since it involves altering the grain structure by heating the material to the recrystallization temperature.

Hot stamping steel materials had benefits over traditional steels in terms of mechanical qualities, but it was now possible to achieve the same strength values as cold stamping thanks to the development of next-generation high-strength steels and manufacturing techniques. The steel employed in this study, MAT1, is a new-generation high-strength steel; however, it reveals superior qualities when the findings under simulation settings are reviewed, it reveals superior qualities. Even though the Ultimate Tensile Strength (UTS) of the MAT2 material is stronger, this suggests that the material is brittle and its shaping ability will not be better than MAT1 when the features listed in Tables 1 and 2 are compared with the simulation results.

The study's objective was to assess different bumper part materials utilizing accident analyses in a simulated environment. When comparing the simulation results for steel materials with roughly equal strengths, considering the cost of manufacture, it becomes clear that cold-stamped material will be favored because of its superior qualities.

#### 4. Conclusion

New generation high-strength steels are widely used due to the demands of the automotive industry and the changes in the qualities anticipated from materials with evolving technologies. The relevance of material selection has grown as a result of the constant evolution of material properties. Today, many qualities may be investigated in simulation programs rather than putting trial expenditures and working conditions at risk when choosing materials.

The material expressed as MAT1 has better properties than the material expressed as MAT2; it can be observed when the simulation results are evaluated and the two materials are contrasted. The two

main factors considered in crash analyses are the material's resistance to deformation and its capacity to absorb impact energy. It is advised to choose MAT1 material because of its characteristics while examining the force-moment-time graphs, deformation, and stress data.

### Acknowledgement

The authors are kindly grateful for the financial and technical support of the Research & Development Center of Toyotetsu Turkey.

### References

- [1] N. Natarajan, P. Joshi, R. Tyagi, (2020). Design improvements of vehicle bumper for low speed impact, *Materials Today: Proceedings*, 38(4).
- [2] N. Tanlak, F. Sönmez, M. Şenaltun, (2015). Shape optimization of bumper beams under high-velocity impact loads, *Engineering Structures*, 95, 49–60.
- [3] F. Sayyad, A. Deshmukh, (2013). Crash analyses of bumper assembly with solver to improve the design for impact tests, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2, 1282–1289.
- [4] O. Lademo, T. Berstad, M. Eriksson, T. Tryland, T. Furu, O. Hopperstad, M. Langseth, (2008). A model for process-based crash simulation, *International Journal of Impact Engineering*, 35, 376–388.
- [5] A. Chaure, G. Mathur, N. Babu, (2021). Crash test analyses of bumpers of automobiles using LS-DYNA, *Materials Science and Engineering*, 1123, 012007.
- [6] N. Khedkar, C. Sonawane, S. Kumar, (2020). Experimental and static numerical analysis on bumper beam to be proposed for Indian passenger car, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.582>
- [7] N. Nachippan, M. Alphonse, V. Raja, K. Palanikumar, R. Kiran, (2021). Numerical analysis of natural fiber reinforced composite bumper, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.045>
- [8] M. Basith, N. Reddy, S. Uppalapati, S. Jani, (2021). Crash analysis of passenger car bumper assembly to improve design for impact test, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.561>
- [9] V. Kannan, J. Surendar, S. Sundaram, S. Jegadeeswer, R. Venkatesh, (2020). Crash analysis on automobile bumpers, *Materials Science and Engineering*, 923, 012018.
- [10] C. Kumar, J. Abhilash, M. Anjaiah, A. Mohan, (2014). FE analysis on vehicle bumper using different materials and speeds, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4, 99–110.
- [11] A. John, M.B. Nidhi, (2014). Modelling and analysis of an automotive bumper used for a low passenger vehicle, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 15(7).
- [12] J. Marzbanrad, M. Alijanpour, M.S. Kiasat, (2009). Design and analysis of an automotive bumper beam in low-speed frontal crashes, *Thin-Walled Structures*, 47(8–9), 902–911.
- [13] R.S. Reddy, C.R. Reddy, (2019). Design and analysis of an automotive bumper, *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 7(1), <https://doi.org/10.32628/IJSRST>
- [14] D. Jan, M.S. Khan, I.U. Din, K.A. Khan, S.A. Shah, A. Jan, (2024). A review of design, materials, and manufacturing techniques in bumper beam system, *Composites Part C: Open Access*, 14, 100496.

- [15] E. Kurtuluş, G. Tekin, (2021). Conversion of aluminum front bumper system to magnesium material by using design of experiment method, *International Journal of Automotive Science and Technology*, 5(1), 34–42.
- [16] H. Liu, Y. Zhang, Z. Wang, (2013). Effect of yield strength on the deformation behavior of metals, *Journal of Materials Science and Engineering*, 27(5), 134–141.
- [17] L. Zhang, (2020). Effect of material strength on deformation mechanisms in automotive components, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(10), 6254–6262.
- [18] J. Wang, X. Zhang, Y. Liu, (2016). High yield strength and work hardening in aluminum alloys, *Materials Science Forum*, 809, 112–118.