

# ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



ALANYA  
**ALAADDİN  
KEYKUBAT**  
ÜNİVERSİTESİ

*Cilt:4 Sayı:1 (Ocak-Nisan 2022)*

*Volume:4 Issue:1 (January-April 2022)*

**ALKU**  
**JOURNAL of SCIENCE**

e-ISSN 2667-7814

**Alanya  
Alaaddin Keykubat University**

## **DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO**

**Derginin Adı / Journal Name:** ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

**Kısa Adı/ Short Name:**

**e-ISSN:** 2667-7814

**Doi prefix:** 10.46740/alku.

**Yayın Dili / Publication Language :** Türkçe / English

**Yayın Periyodu / Publication Period:** Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

**Sahibi / Owner:** Prof. Dr. Ekrem KALAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rektörü

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager:** Prof. Dr. Mehmet KANOĞLU

**Kuruluş / Establishment:** ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which is published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors in all of the publication steps.

**Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms:** Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

**Web Adresi/ Web address :** <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

**Yayınlayan Kuruluş / Publisher :** Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

**Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system:** ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

**Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support:** Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

**İletişim / Contact:** Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: [alkufenbilimleridergisi@alanya.edu.tr](mailto:alkufenbilimleridergisi@alanya.edu.tr) Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

## EDİTÖR / EDITOR

**Prof. Dr. Mehmet KANOĞLU**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

**Prof. Dr. Fikri Serdar Gökhan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Electrical-Electrical Engineering

Alan: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

**Doç. Dr. Bertan Beylergil**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mechanical Engineering

Alan: Makine Mühendisliği

**Doç. Dr. İrem Küçüköğlü**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mathematics

Alan: Matematik

**Dr. Öğr. Üyesi Murat Aksel**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya

Subject: Civil Engineering

Alan: İnşaat Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Cigdem Dülgerbaki**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Chemistry

Alan: Kimya

**Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Gökhan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Genetic Engineering

Alan: Genetik Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Aktar Küçükarslan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Food Engineering

Alan: Gıda Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Emir Hüseyin Özder**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Industrial Engineering

Alan: Endüstri Mühendisliği

## **YAYIN VE TEKNİK EDİTÖRLERİ / PUBLISHING AND TECHNICAL EDITORS**

**Arş .Gör. Gökhan Canbolat**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş .Gör. Mustafa Altuğ Peker**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## **YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD**

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)

Gökhan APAYDIN (Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)

Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi)

Rossana DIMITRI (Dr., University of Salento)

Tamio ENDO (Prof. Dr., Mie University)

John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)

Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)

Anastas IVANOV IVANOV (Doç. Dr., Todor Kableshkov Higher School of Transport)

İlker Murat KOÇ (Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi)

Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)

Bilsay SÜMER (Dr., Hacettepe Üniversitesi)

Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)

Francesco TORNABENE (Dr., University of Bologna)

Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

**ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2022:4(1)**

**ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2022:4(1)**

**İçindekiler / Contents**

1. Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Süneklik Düzeyi Sınırlı Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımlarının Hesabı / *Computation of shear strength of reinforced concrete beams with limited ductility using fuzzy logic approach*  
Ertekin ÖZTEKİN  
.....1-10
2. Tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin bulanık mantık metodu ile belirlenmesi / *Determination of bearing moment capacities of singly reinforced concrete beams by fuzzy logic method*  
Ertekin ÖZTEKİN  
.....11-20
3. Farklı Karışım Özelliklerine Sahip Betonların Sülfat Dirençlerinin Belirlenmesi / *Determination of Sulphate Resistance of Concretes with Different Mixing*  
Osman AKÇAY, Mustafa ÇULLU  
.....21-31
4. Krank Kasnağında Kullanılan Kauçuk Bileşenin Hızlandırılmış Test Yaklaşımı İle Yorulma Ömrünün Tahmin Edilmesi / *Estimation of Durability Life of Rubber Component Used in The Torsional Vibration Damper with Accelerated Testing Approach*  
Cihangir KAPLAN, Ömer Faruk ÜNAL, Cem GÜLEÇ  
.....32-41
5. Investigation of Cutting and Ironing Performance of DC04 EN10130 Experimentally and Numerically / *DC04 EN10130 Kesme ve Ütuleme Performansının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi*  
Cihangir KAPLAN, Cem GÜLEÇ, Mesut ARIKOĞLU, Murat YALÇINKAYA, Serkan TOROS  
.....42-52

## Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Süneklik Düzeyi Sınırlı Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımlarının Hesabı

Ertekin ÖZTEKİN<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Müh.ve Doğa Bil. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

\*ertekinotekin@hotmail.com

### Özet

Bu çalışmada, süneklik düzeyi sınırlı dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin kesme dayanımının hesabı için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, kesit genişliği, kesit yüksekliği, beton örtüsü kalınlığı, karakteristik beton basınç dayanımı ve etriye aralığı değişken parametre olarak, dikdörtgen betonarme kesitin kesme dayanımı ise çıktı parametresi olarak tanımlanmıştır. Çalışmada değişken parametreler için önceden belirlenen tüm değerlerin kombinasyonu sonucu 600 adet örnek problem datası bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu modeli oluşturmak için kullanılan datanın haricinde 120 adet data ise oluşturulan modelin test edilmesinde kullanılmıştır. Test sonuçları üzerinde gerçekleştirilen irdelemelerde ortalama mutlak yüzde hata değeri % 0,22 olarak, korelasyon katsayısı  $R^2 = 0.9997$  olarak elde edilmiştir. Elde edilen test sonuçları ve bu sonuçlar üzerinde yapılan irdelemeler ile bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modelinin, bu çalışmada belirtilen değişken parametrelere ait değer aralıklarında kalmak kaydıyla, dikdörtgen betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenmesinde rahatlıkla kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme kiriş, Bulanık mantık, Kesme dayanımı, Sınırlı süneklik

## Computation of shear strength of reinforced concrete beams with limited ductility using fuzzy logic approach

### Abstract

In this study, fuzzy logic method has been used to compute the shear strength of rectangular reinforced concrete beams with limited ductility level. In the study, section width, section height, concrete cover thickness, characteristic concrete compressive strength and stirrup space are defined as variable parameters, and shear strength of rectangular reinforced concrete section is defined as output parameter. 600 sample problem data constituted by combination of all predetermined values for the variable parameters were used in the development of the fuzzy logic model. Apart from the data used to develop this model, 120 different sample data were used to test the model. In the examinations performed on the test results, the average absolute error value was found as 0.22% and the correlation coefficient was obtained as  $R^2 = 0.9997$ . It has been revealed with the test results obtained and the examinations made on these results that the fuzzy logic model developed in this study can be easily used in determining the shear strength of rectangular reinforced concrete beams, provided that the variable parameters remain within the value ranges of specified in this study.

**Keywords:** Reinforced concrete beam, Fuzzy logic, Shear strength, Limited ductility

## 1. GİRİŞ

Uzun yıllardır deneysel çalışmalara dayalı olarak geliştirilen analitik bağıntılar, günümüzde halen betonarme hesap ve tasarımların yapıldığı bilgisayar paket programlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dijital çağ ile birlikte çok hızlı bir şekilde gelişen donanım teknolojilerine ve yazılım tekniklerine paralel olarak, yıllardır biriken veriler üzerinde işlemler yaparak, çözümler gerçekleştirmek, tahminler yapmak artık daha kolay ve daha cazip hale gelmiştir. Özellikle yapay zekâ adı verilen ve doğadaki hemen hemen tüm işleyişteki ve yaratılmışların en mükemmeli olan insandaki özelliklerden esinlenilerek geliştirilen bilgisayar yazılım teknikleri ile birçok problem artık çok daha hızlı ve yüksek hassasiyetle çözülebilir olmuştur. Bulanık mantık yöntemi de bu yapay zekâ yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, bulanık küme teorisi ve insanın tecrübe ettiği durumlardan yeni çıkarımlar yapabilme yeteneği birleştirilerek geliştirilmiştir. Bulanık küme teorisi ilk defa Azeri kökenli Lütüfi Zadeh [1-3] tarafından ortaya atılmış, daha sonra birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Bu araştırmacıların en önemlilerinden birisi Mamdani dir. Mamdani çalışmalarında söylesel ya da başka bir deyişle dilsel kavramları bulanık kontrol edicilerde kullanmayı başarmıştır[4-5].

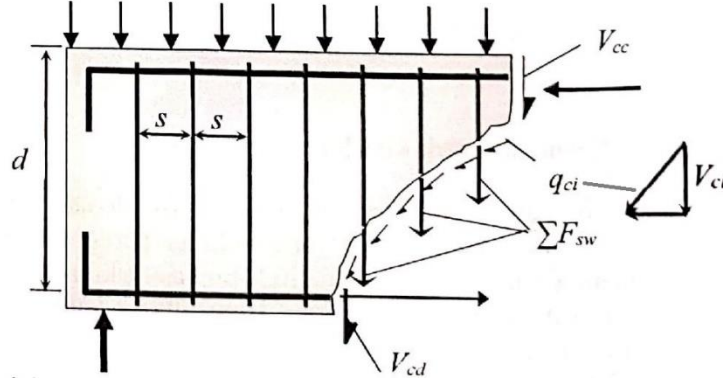
Hemen hemen tüm disiplinlerde yaygın olarak kullanılan bulanık mantık yöntemi, inşaat mühendisliği alanında da birçok farklı araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmalardan bazılarından şunlardır. Pakdamar ve Güler, betonarme yapıların performans değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır[6]. Jafer bulanık mantık yöntemini normal ve yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin nihai kesme kapasitesinin tahmininde kullanmıştır[7]. Nasrollahzadeh ve Basiri bulanık çıkarım sistemi kullanılarak FRP ile donatılmış betonarme kirişlerin kesme dayanımının tahmin etmeye çalışmışlardır[8]. Öztekin ve Kumaş, beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir[9]. Baykan ve diğerleri, tahribatsız test sonuçları kullanarak betonun basınç dayanımını tahmin etmek için bir bulanık mantık model geliştirmişlerdir[10]. Pöрге, üç eksenli beton basınç dayanımı modellerinin güvenilirliklerinin değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımını kullanmıştır[11]. Nagarkar ve diğerleri, bulanık mantık ve model ağacı kullanarak beton basınç dayanımının tahmin etmeye çalışmışlardır[12]. Literatürde inşaat mühendisliği alanında bulanık mantık yönteminin kullanıldığı daha birçok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada süneklik düzeyi sınırlı dikdörtgen kesitli betonarme kiriş tasarımı ve/veya denetimlerinde mutlaka gerçekleştirilmesi gereken hesaplardan birisi olan kiriş kesme dayanımının belirlenmesi için bir bulanık mantık modeli geliştirilmeye çalışılmış ve modelin geliştirilme aşamaları ile test edilerek doğrulanması başka bir deyişle kullanılabilirliğinin ortaya konulması ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

## 2. DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAYANIMININ HESABI

Bu çalışmada gerçekleştirilen süneklik düzeyi sınırlı dikdörtgen betonarme kirişlerin hesabı için Türkiye’de halen yürürlükte olan geçerli olan iki yönetmelik esas alınmıştır. Bu yönetmeliklerden biri, “Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500-2000)” ve diğeri “Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)” dir [13,14]. Türk bina deprem yönetmeliğinde kesme kuvveti hesabı ve tasarımı süneklik düzeyi sınırlı ve süneklik düzeyi yüksek olan kirişler için ayrı ayrı verilmektedir. Bu çalışma, süneklik düzeyi sınırlı kirişler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kesme donatısı bulunan bir kirişte, dış yüklerden oluşan kesme etkisinin genel olarak, Şekil 1 de gösterildiği gibi kiriş kesitinin içinde oluşan dört farklı kuvvet ile taşındığı kabul edilir[15].



Şekil 1. Kesme donatısı ile donatılmış bir kirişte kesme kuvvetinin taşınması [15].

Şekil 1 de görülen  $V_{cc}$ , kiriş kesitinin çatlamamış basınç bölgesindeki beton tarafından taşınan kesme kuvvetidir. Bu şekilde, kiriş kesitinde kesme etkisi ile oluşan çatlakların yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetinin düşey bileşeni  $V_{ci}$ , kirişin çekme bölgesindeki boyuna donatı tarafından taşınan kesme kuvveti  $V_{cd}$  ve kesme donatısı tarafından taşınan kuvvet  $V_w = \sum F_{sw}$  ile gösterilmektedir. Bu durumda bu kirişin taşıyabileceği kesme kuvveti 1 numaralı denklemde verilen bağıntı ile hesaplanabilir.

$$V_r = V_{cc} + V_{ci} + V_{cd} + V_w \quad (1)$$

Genel olarak betonarme hesapları kolaylaştırmak ve ek emniyet sağlamak açısından için kesit içindeki çatlaklarda oluşan sürtünme kuvvetinin düşey bileşeni ( $V_{ci}$ ) ile kesitin çekme bölgesindeki boyuna donatının etkisi ( $V_{cd}$ ) ihmal edilerek 2 numaralı denklemdeki gibi sadeleştirilen bağıntı betonarme hesaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$V_r = V_c + V_w \quad (2)$$

Denklem 2 de betonun kesiti tarafından taşınan kesme kuvveti  $V_c$  simgesi ile gösterilmiştir ve aşağıda verilen 3, 4, 5 ve 6 numaralı denklemler yardımı ile hesaplanır.

$$V_c = 0.8 \times V_{cr} \quad (3)$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad (4)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} \quad (5)$$

$$f_{ctk} = 0.35 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (6)$$

4 numaralı denklemde verilen bağıntı; TS500-2000 yönetmeliğinde üzerindeki aksel kuvvet değeri yaklaşık sıfır olan kesme etkisi altındaki bir beton kiriş kesitin çatlama dayanımının belirlenmesi için önerilen bağıntıdır. Denklem 5 de hesaplanan  $f_{ctd}$  betonun çekmede hesap dayanımıdır ve karakteristik beton çekme dayanımının malzeme katsayısına bölünmesi ile hesaplanır. Burada beton için malzeme katsayısı  $\gamma_{mc} = 1.5$  alınmıştır. Betonun karakteristik çekme dayanımı  $f_{ctk}$  ise TS500-2000 de beton karakteristik basınç dayanımı  $f_{ck}$  kullanılarak Denklem 6 ile hesaplanması önerilmektedir. Yukarıda verilen bağıntılara ilaveten TS500-2000 de, yüksek asal basınç gerilmeleri nedeniyle gövde betonunun ezilmesini önlemek amacıyla kirişe etkiyen kesme kuvveti için Denklem 7 de gösterilen koşul getirilmektedir. Eğer bu koşul sağlanamaz ise kesit boyutlarının artırılması gerekir.



$$V \leq 0.85 \times b_w \times d \times \sqrt{f_{ck}} \quad (7)$$

7 numaralı denklemde de  $d$  simgesi ile gösterilen parametre kiriş etkin yüksekliğidir ve kesit yüksekliğinden beton örtü kalınlığının çıkarılması ile elde edilir Kesme kuvvetinin kesme donatısı tarafından taşınan kısmı  $V_w$  ise Denklem 8 de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$V_w = \frac{A_{sw} \times f_{ywd} \times d}{s} \quad (8)$$

Bu denklemdeki  $A_{sw}$ , kesme donatısı alanıdır. Kesme donatısı alanı etriyelerin kol sayısına bağlı olarak değiştiğinden, hesaplamalarda etriye kol sayısı dikkate alınmalıdır. Buna göre  $n$  adet kol sayısı bulunan  $\phi_w$  kesit alanına sahip bir etriyenin kesme hesaplarında kullanılacağı alanı Denklem 9 ile hesaplanabilir. Denklem 8 deki  $s$  etriyeler arasındaki mesafe ve  $f_{ywd}$  ise kesme donatısının hesap dayanımıdır ve karakteristik akma dayanımının kesme donatısının malzeme katsayısına ( $\gamma_{ms} = 1.15$ ) bölünmesi ile hesaplanır.

$$A_{sw} = n \times \frac{\pi \times \phi_w^2}{4} \quad (9)$$

### 3. KESME DAYANIMI HESABI İÇİN BULANIK MANTIK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

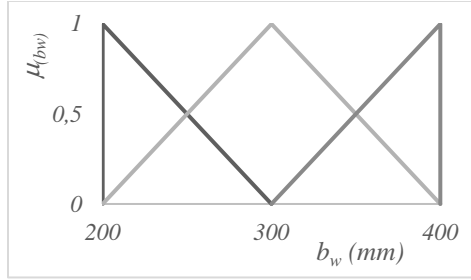
Kesme donatılı sınırlı sünekliğe sahip betonarme kirişlerin kesme dayanımını belirlemek için TS500-2000 ve TBDY-2018 yönetmeliklerinde verilen koşullara uygun olarak, etriye çapı 8 mm ve donatı sınıfı B420 C sabit alınarak 600 farklı betonarme kiriş kesitinin kesme dayanımı hesapları yapılmıştır. Hesaplamalarda etriye kol sayısının  $n=2$  ve kirişteki eksenel kuvvetin yaklaşık sıfır olduğu kabul edilmiştir. 600 adet betonarme çözümdeki değişken parametreler, kiriş genişliği ( $b_w$ ), kiriş yüksekliği ( $h$ ), beton örtü kalınlığı ( $c_c$ ), karakteristik beton basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) ve etriye aralığı ( $s$ ) dir. Bu parametrelere ait bulanık kümeler, ve bu kümelerin üyeliği 1 e tekabül eden değerleri Tablo 1 de verildiği gibi seçilmiştir. Tablo 1 de verilen bulanık kümelerin tüm kombinasyonları kullanılarak bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Başka bir deyişle bulanık mantık modelinde  $3 \times 4 \times 2 \times 5 \times 5 = 600$  farklı kural oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin tek çıktısı olarak kiriş kesme dayanımı ( $V_r$ ) tanımlanmıştır. 600 adet farklı betonarme çözümünün sonunda 523 adet farklı  $V_r$  elde edilmiştir.

Tablo 1. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan bulanık kümeler

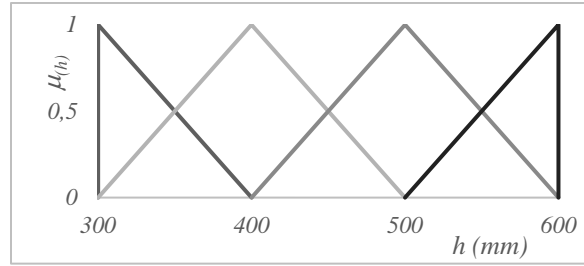
<b>Değişkenler</b>	<b>Bulanık kümeler</b>
$b_w$ (mm)	200, 300, 400
$h$ (mm)	300, 400, 500, 600
$c_c$ (mm)	20, 25
$f_{ck}$ (MPa)	10, 20, 30, 40, 50
$s$ (mm)	50, 100, 150, 200, 250

Geliştirilen bulanık mantık modelindeki değişkenleri ve problem çıktısı üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanıklaştırılarak bulanık kümeler elde edilmiştir. Tablo 1 den de anlaşılacağı gibi kiriş genişliği ( $b_w$ ) için 3, kiriş yüksekliği ( $h$ ) için 4, beton örtü kalınlığı ( $c_c$ ) için 2, karakteristik beton basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) için 4, etriye aralığı ( $s$ ) için 5 ve problem çıktısı olan kesme dayanımı ( $V_r$ ) için 523 adet bulanık küme oluşturulmuştur. Problem değişkenlerine ait bulanık kümeler Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil

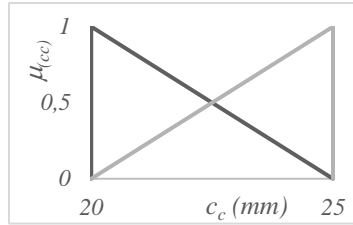
5 ve Şekil 6 da verilmektedir. Problem çıktısı ( $V_r$ ) ye ait bulanık kümelerin sayısı çok olduğundan burada şekil olarak vermek mümkün olmamıştır.



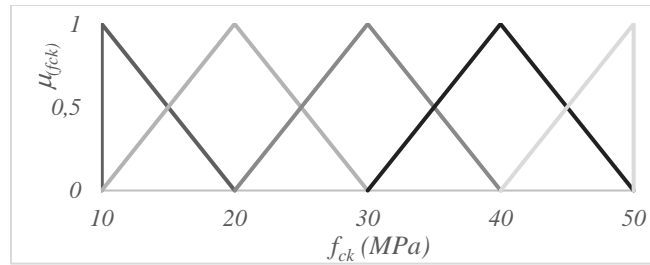
Şekil 2. Kiriş genişliğine ( $b_w$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



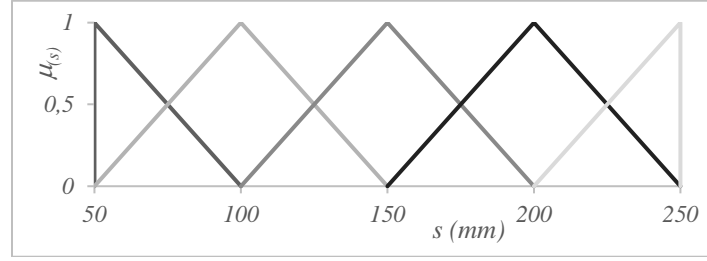
Şekil 3. Kiriş genişliğine ( $h$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 4. Beton örtüsü kalınlığına ( $c_c$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 5. Karakteristik beton basınç dayanımına ( $f_{ck}$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 6. Etriye aralığına( $s$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi

#### 4. BULANIK MANTIK MODELİNİN DOĞRULANMASI

Geliştirilen bulanık mantık modelinin doğrulanmasında Tablo 2 'de de görüldüğü gibi bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan değerlerden farklı olmak üzere, kiriş genişliği ( $b_w$ ) için 2, kiriş yüksekliği ( $h$ ) için 2, ve karakteristik beton basınç dayanımı( $f_{ck}$ ) için 3 değer kullanılmıştır. Beton örtü kalınlığı ( $c_c$ ) ve etriye aralığı( $s$ ) için oluşturulan model datasındaki aynı değerler kullanılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2 den anlaşılabilirceği üzere modelin doğrulanmasında değişkenler için kullanılan değerler bulanık mantık modeli oluşturulurken kullanılan verilerin en küçük ve en büyük değerleri arasında kalacak şekilde seçilmiştir. Kısaca belirtme gerekirse, Tablo 2 de verilen değişken değerlerinin tüm kombinasyonları sonucu oluşan  $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 5 = 120$  adet farklı betonarme problem çözümü, süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımının bulanık mantık yöntemiyle hesaplanabilmesi için geliştirilen bulanık mantık modelinin doğrulanmasında kullanılmıştır.

Tablo 2. Bulanık mantık modelinin doğrulanmasında kullanılan bulanık kümeler

<i>Değişkenler</i>	<i>Bulanık kümeler</i>
$b_w$ (mm)	250, 350
$h$ (mm)	450, 550
$c$ (mm)	20, 25
$f_{ck}$ (MPa)	25, 35, 45
$s$ (mm)	50, 100, 150, 200, 250

Teknik literatürde geliştirilen bir modelin veya yöntemin doğrulanması için genellikle, söz konusu yöntemin veya modelin geliştirilmesinde kullanılan veri sayısının en az % 10 kadar farklı veri ile test edilmesi gerektiği kanısı hâkimdir. Bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık yönteminin doğrulanması için modelin geliştirilmesinde kullanılan verinin % 20 si oranında farklı veri kullanılmıştır.

Çalışmada bulanık mantık yöntemi için Visual Basic görsel programlama dilinde yazar tarafından kodlanan bulanık mantık programı kullanılmıştır. Bulanık mantık çözümlerinde durulaştırıcı olarak “*Weight of Average Method*” yöntemi kullanılmıştır

“*Weight of Average Method*” yöntemi ile durulaştırılarak gerçek değerlere dönüştürülen bulanık mantık modelinin sonuçlarının doğruluğunu ortaya koymak için Denklem 10 da verilen eşitlik ile 120 adet betonarme çözüm ile bulanık mantık çıktıları arasında hata hesaplamaları gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar Tablo 3 de sunulmuştur. Tablo 3 'de verilen yüzde hatalar ile bu hataların ortalaması, mutlak değerce ortalaması ve mutlak değerce en büyük değeri belirlenmiştir. Betonarme çözümler ile bulanık

mantık çıktıları arasındaki uyumu ifade eden ilişim(korelasyon) katsayısı da bu çalışmada hesaplanmış ve hata değerleri ile birlikte Tablo 3'ün en alt kısmında verilmiştir.

$$\% Hata = \frac{V_r^{Bulanık\ Mantık} - V_r^{betonarme}}{V_r^{betonarme}} \times 100 \quad (10)$$

Tablo 3. Bulanık Mantık Modelinin Test edilmesinde kullanılan örnekler ile test sonuçları ve hata miktarları

<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>cc</i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V<sub>r</sub><sup>B.arme</sup></i> kN	<i>V<sub>r</sub><sup>B-Mantık</sup></i> kN	% Hata	<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>c<sub>c</sub></i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V<sub>r</sub><sup>B.arme</sup></i> kN	<i>V<sub>r</sub><sup>B-</sup></i> Mantık kN	% Hata
250	450	20	25	50	380.97	371.97	2.36	350	550	25	45	100	342.32	342.14	0.05
350	450	20	25	50	407.06	406.88	0.04	250	450	20	25	150	170.47	170.21	0.15
250	550	20	25	50	469.57	458.52	2.35	350	450	20	25	150	196.55	196.24	0.16
350	550	20	25	50	501.72	502.14	-0.08	250	550	20	25	150	210.11	209.82	0.14
250	450	25	25	50	376.54	367.39	2.43	350	550	20	25	150	242.27	241.59	0.28
350	450	25	25	50	402.32	401.89	0.11	250	450	25	25	150	168.49	168.09	0.23
250	550	25	25	50	465.14	453.41	2.52	350	450	25	25	150	194.27	193.83	0.23
350	550	25	25	50	496.99	495.85	0.23	250	550	25	25	150	208.13	207.69	0.21
250	450	20	35	50	392.92	392.45	0.12	350	550	25	25	150	239.98	239.41	0.24
350	450	20	35	50	423.79	423.87	-0.02	250	450	20	35	150	182.42	182.21	0.12
250	550	20	35	50	484.3	484.28	0	350	450	20	35	150	213.28	213.05	0.11
350	550	20	35	50	522.34	523.87	-0.29	250	550	20	35	150	224.84	224.6	0.11
250	450	25	35	50	388.35	388.25	0.03	350	550	20	35	150	262.88	262.26	0.24
350	450	25	35	50	418.86	418.09	0.18	250	450	25	35	150	180.3	180.07	0.12
250	550	25	35	50	479.73	478.92	0.17	350	450	25	35	150	210.8	210.55	0.12
350	550	25	35	50	517.41	515.58	0.36	250	550	25	35	150	222.72	222.42	0.13
250	450	20	45	50	403.25	403.05	0.05	350	550	25	35	150	260.4	259.93	0.18
350	450	20	45	50	438.25	438.47	-0.05	250	450	20	45	150	192.75	192.49	0.13
250	550	20	45	50	497.03	497.47	-0.09	350	450	20	45	150	227.75	227.51	0.11
350	550	20	45	50	540.17	540.84	-0.12	250	550	20	45	150	237.57	237.33	0.1
250	450	25	45	50	398.56	398.32	0.06	350	550	20	45	150	280.71	280.39	0.11
350	450	25	45	50	433.15	432.38	0.18	250	450	25	45	150	190.51	190.33	0.09
250	550	25	45	50	492.34	491.84	0.1	350	450	25	45	150	225.1	224.91	0.08
350	550	25	45	50	535.07	533.28	0.34	250	550	25	45	150	235.33	235.04	0.13
250	450	20	25	100	223.09	222.62	0.21	350	550	25	45	150	278.06	277.6	0.17
350	450	20	25	100	249.18	248.63	0.22	250	450	20	25	200	144.16	143.76	0.28
250	550	20	25	100	274.98	274.53	0.16	350	450	20	25	200	170.24	169.86	0.23
350	550	20	25	100	307.13	306.71	0.14	250	550	20	25	200	177.68	177.33	0.2
250	450	25	25	100	220.5	220.23	0.12	350	550	20	25	200	209.83	209.33	0.24
350	450	25	25	100	246.28	245.83	0.18	250	450	25	25	200	142.48	142.12	0.25
250	550	25	25	100	272.38	272.21	0.06	350	450	25	25	200	168.26	167.87	0.23
350	550	25	25	100	304.23	303.63	0.2	250	550	25	25	200	176	175.69	0.18
250	450	20	35	100	235.04	234.66	0.16	350	550	25	25	200	207.85	207.31	0.26
350	450	20	35	100	265.91	265.45	0.17	250	450	20	35	200	156.1	155.86	0.16
250	550	20	35	100	289.7	289.38	0.11	350	450	20	35	200	186.97	186.74	0.13
350	550	20	35	100	327.75	327.66	0.03	250	550	20	35	200	192.41	192.21	0.1
250	450	25	35	100	232.31	232.05	0.11	350	550	20	35	200	230.45	230.14	0.13
350	450	25	35	100	262.82	262.66	0.06	250	450	25	35	200	154.29	154.08	0.14
250	550	25	35	100	286.97	286.64	0.12	350	450	25	35	200	184.8	184.7	0.05
350	550	25	35	100	324.66	324.51	0.04	250	550	25	35	200	190.59	190.34	0.13
250	450	20	45	100	245.37	245.28	0.04	350	550	25	35	200	228.28	228.03	0.11
350	450	20	45	100	280.37	280.2	0.06	250	450	20	45	200	166.44	166.39	0.03
250	550	20	45	100	302.44	302.71	-0.09	350	450	20	45	200	201.43	201.28	0.07
350	550	20	45	100	345.58	345.96	-0.11	250	550	20	45	200	205.14	204.96	0.09
250	450	25	45	100	242.52	242.46	0.03	350	550	20	45	200	248.28	248.05	0.09
350	450	25	45	100	277.11	277.14	-0.01	250	450	25	45	200	164.5	164.41	0.06
250	550	25	45	100	299.59	299.38	0.07	350	450	25	45	200	199.09	199.02	0.03

**Tablo 3.** Devam

<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>cc</i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V<sub>r</sub><sup>B.arme</sup></i> kN	<i>V<sub>r</sub><sup>B-Mantık</sup></i> kN	% Hata	<i>bw</i> mm	<i>h</i> mm	<i>c<sub>c</sub></i> mm	<i>fck</i> MPa	<i>s</i> mm	<i>V<sub>r</sub><sup>B.arme</sup></i> kN	<i>V<sub>r</sub><sup>B-Mantık</sup></i> kN	% Hata
250	550	25	45	200	203.21	202.94	0.13	350	550	20	35	250	210.99	210.61	0.18
350	550	25	45	200	245.94	245.8	0.05	250	450	25	35	250	138.68	138.38	0.22
250	450	20	25	250	128.37	128.07	0.23	350	450	25	35	250	169.19	168.85	0.2
350	450	20	25	250	154.45	153.98	0.31	250	550	25	35	250	171.32	171.01	0.18
250	550	20	25	250	158.22	157.84	0.24	350	550	25	35	250	209	208.58	0.2
350	550	20	25	250	190.37	189.82	0.29	250	450	20	45	250	150.65	150.6	0.03
250	450	25	25	250	126.87	126.58	0.23	350	450	20	45	250	185.65	185.44	0.11
350	450	25	25	250	152.66	152.17	0.32	250	550	20	45	250	185.68	185.6	0.04
250	550	25	25	250	156.73	156.3	0.28	350	550	20	45	250	228.82	228.64	0.08
350	550	25	25	250	188.58	187.96	0.33	250	450	25	45	250	148.9	148.69	0.14
250	450	20	35	250	140.32	140.12	0.14	350	450	25	45	250	183.49	183.21	0.15
350	450	20	35	250	171.18	170.87	0.18	250	550	25	45	250	183.93	183.6	0.18
250	550	20	35	250	172.95	172.67	0.16	350	550	25	45	250	226.66	226.28	0.17

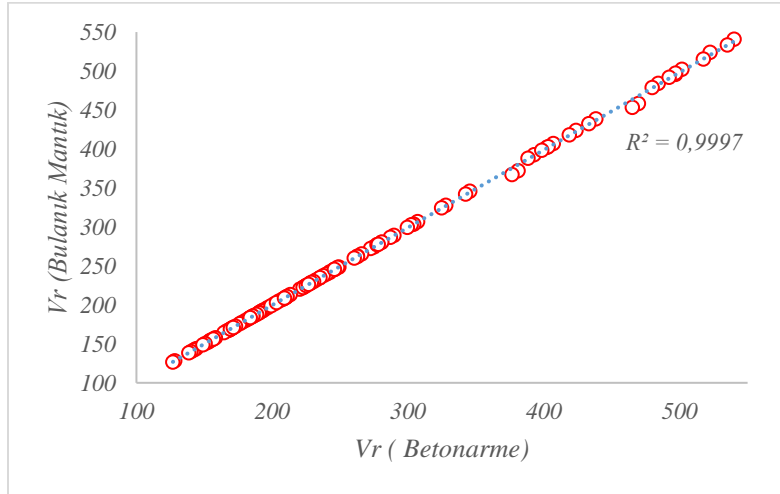
Ortalama % Hata =0.21

Ortalama mutlak % Hata = 0.22

En büyük mutlak % Hata = 2.52

Korelasyon Katsayısı  $R^2 = 0.9997$ 

Tablo 3' ün son satırlarından da anlaşılacağı gibi, betonarme hesap sonuçları ile bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli ile elde edilen çıktılar arasında, ortalama % hata değeri 0.21 olarak, ortalama mutlak % hata değeri 0.22 olarak, en büyük mutlak % hata değeri 2.52 olarak ve korelasyon katsayısı  $R^2 = 0.9997$  olarak hesaplanmıştır. Bu sayısal sonuçlar, bulanık mantık çıktılarının betonarme hesap sonuçlarına oldukça yakın ve onlarla uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Bu uyum ve ilişim(korelasyon) Şekil 7 den de rahatlıkla anlaşılabilir.



Şekil 7. Bulanık mantık çıktıları ile betonarme çözümler arasındaki uyum ve korelasyon

Elde edilen hata ve korelasyon değerlerin için, betonarme hesaplardaki belirsizlikler ve yapılan kabuller dikkate alındığında gerçekten çok iyi sonuçlar olduğu kanısına varılabilir. Başka bir deyişle, elde edilen bu sonuçlar, geliştirilen bulanık mantık modelinin, problem değişkenleri için bu çalışmada kullanılan değer aralıkları içinde kalmak kaydıyla, doğru ve hassas bir biçimde süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımının hesabında kullanılabileceğini göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımını hesaplamak için bir bulanık mantık modeli başarıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen bulanık mantık modeli, modelin tasarlama aşamasında kullanılan hesap verisinin % 20 si ne tekabül eden sayıda ve bu verilerden farklı örnekler üzerinde gerçekleştirilen klasik betonarme hesap sonuçları ile test edilmiştir. Test sonuçlarında,  $R^2=0.9997$ , ortalama % hata 0.21, ortalama mutlak % hata 0.22, en büyük mutlak % hata 2.52 elde edilmiştir. Bu sonuçlar geliştirilen bulanık mantık yönteminin, çalışmadaki değişken değer sınırları da dikkate alınarak, B420 C sınıfı 8 mm çapa sahip tek kollu etriye kullanılan süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımı hesaplamalarında rahatlıkla kullanılabilceğini ortaya koymaktadır. Çalışma ile kullanılabilceği kanıtlanan bulanık mantık modeli, farklı etriye çapı, farklı etriye donatı sınıfı, değişken parametrelere ait daha geniş değer aralıkları ve süneklik düzeyi yüksek betonarme kesitler için geliştirilerek rahatlıkla betonarme paket programlara entegre edilerek kullanılabilir.

## 6. REFERANSLAR

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. Fuzzy sets, 8(3), 338-353.
- [2] Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, (1), 28-44.
- [3] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. Information sciences, 9(1), 43-80.
- [4] Mamdani, E. H., and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International journal of man-machine studies, 7(1), 1-13.
- [5] Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. International Journal of Man-Machine Studies, 8(6), 669-678.
- [6] Pakdamar, F., and Guler, K. (2008, October). Fuzzy logic approach in the performance evaluation of reinforced concrete structures (flexible performance). In The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, October (pp. 12-17).
- [7] Jaafer, A. A. (2013). Prediction of ultimate shear capacity of reinforced normal and high strength concrete beams without stirrups using fuzzy logic. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 1(4), 75-81.
- [8] Nasrollahzadeh, K., and Basiri, M. M. (2014). Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams using fuzzy inference system. Expert Systems with Applications, 41(4), 1006-1020.
- [9] Öztekin, E., ve Filiz, K. (2015). Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi, Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu, Bayburt.
- [10] Baykan, u. n. , Erdal, m., & Ugur, l. o. , (2017). Fuzzy logic model for prediction of compressive strength of concrete by use of non-destructive test results. revista romana de materiale-romanian journal of materials , vol.47, no.1, 54-59.
- [11] Pörge, B. (2019). Investigation of reliabilities of the triaxial concrete compressive strength models by fuzzy logic approach, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- [12] Nagarkar, V., Kulkarni, P., and Londhe, S. (2020). Prediction of Concrete Compressive Strength Using Fuzzy Logic and Model Tree. In Advances in Structural Engineering (pp. 231-240). Springer, Singapore.

- [13] Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2018). Türk Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY-2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi, Ankara, Türkiye.
- [14] Türk Standardı, (2000). Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500-2000), Ankara, Türkiye, Türk Standartları
- [15] Doğangün, A., (2019). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, (16. Baskı) Ankara, Türkiye, Birsen Yayınevi.

## Tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin bulanık mantık metodu ile belirlenmesi

Ertekin Öztekin<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Müh.ve Doğa Bil. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Gümüşhane, Türkiye  
\*ertekinoztekin@hotmail.com

### Özet

Bu çalışmada, yapay zekâ yöntemlerinden birisi olan bulanık mantık yöntemi kullanılarak tek donatılı dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki taşıma gücü momentinin hesaplanması için geliştirilen bir model sunulmaktadır. Bu amaç için, karakteristik beton dayanımı, kiriş kesit genişliği, kiriş kesit yüksekliği ve donatı oranı değişken girdi parametreleri olarak, kesit taşıma gücü momenti ise çıktı parametresi olarak alınarak bir bulanık mantık model oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan 240 adet örnek çözümün haricinde, 144 adet farklı çözüm modelin test aşamasında kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda oluşturulan modelin geçerliliği; test aşamasında elde edilen ortalama % 1.31 hata, ortalama % 2.31 mutlak hata, en büyük % 6.45 mutlak hata ve  $R^2 = 0.9981$  korelasyon ile ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme kiriş, Bulanık mantık, Eğilme, Taşıma gücü momenti

## Determination of bearing moment capacities of singly reinforced concrete beams by fuzzy logic method

### Abstract

In this study, using the fuzzy logic method, which is one of the artificial intelligence methods, a model developed for the computation of the moment capacity under bending effect of singly reinforced rectangular reinforced concrete beams is presented. In the study, a fuzzy logic model has been constituted by taking concrete characteristic strength, beam section width, beam section height and reinforcement ratio as input parameters, and moment capacity of beam cross-section as output parameter. Apart from the 240 sample solutions used in the constitution of the fuzzy logic model, 144 different solutions were used in the testing phase of the model. At the end of the study, the validity of the developed model was tried to be revealed by computing the correlation coefficient and percent errors.

**Keywords:** Reinforced concrete beam, Fuzzy logic, Bending, Moment capacity



## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak birçok bilgisayar yazılımında ve birçok cihazda klasik çözüm ve hesaplama teknikleri yerini yapay zekâ uygulamalarına bırakmaktadır. Yapay zekânın birçok alanda yaygın şekilde kullanılan yöntemlerinden birisi de bulanık mantık yöntemidir. Bulanık küme kavramına dayanan bu yöntem ilk defa Zadeh[1-3] tarafından ortaya atılmış, daha sonra birçok araştırmacı tarafından kullanılarak ve geliştirilerek günümüzdeki halini almıştır[4,5]. Bulanık mantık yöntemi, insanoğlunun yeterince tecrübe ettiği durumlara benzer durumlar karşısında çıkarım yapma ve tahminde bulunma yeteneğinin yapay zekâdaki karşılığıdır.

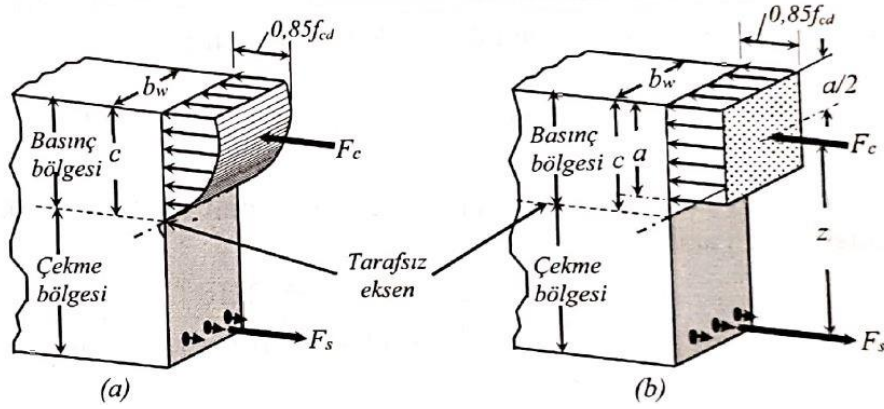
Birçok farklı bilim disiplinde kullanım alanı bulan bulanık mantık yöntemi, inşaat mühendisliği alanında da birçok farklı araştırmada başarıyla kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Güler ve diğerleri [6] tarafından bulanık mantık yaklaşımı ile yüksek dayanımı betonların gerilme şekildeğiştirme modellemesi, Akkurt ve diğerleri [7] tarafından çimento basınç dayanımının tahmini için bulanık mantık modeli, Chao, ve Cheng [8] tarafından betonarme yapılarıdaki çatlakları teşhis etmek için bulanık örüntü tanıma modeli, Nasrollahzadeh ve Basiri [9] tarafından bulanık çıkarım sistemi kullanılarak FRP ile donatılmış betonarme kirişlerin kesme dayanımının tahmini, Karbhari ve Stein [10] tarafından kolonların FRP ile güçlendirilmesine yönelik bulanık mantık tabanlı yaklaşım, Doran ve diğerleri [11] tarafından CFRP ile sarılmış RC kolonları için yanal sargılama katsayısının tahmininde bulanık mantık yaklaşımının uygulanması, Öztekin ve Kumaş[12] tarafından beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi, Pörge[13] tarafından üç eksenli beton basınç dayanımı modellerinin güvenilirliklerinin bulanık mantık yaklaşımı ile incelenmesi olarak verilebilir. Teknik literatürde bulanık mantığın inşaat mühendisliği problemlerine uygulandığı daha birçok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli tek donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisinde taşıyabileceği en büyük eğilme momentinin başka bir deyişle taşıma gücü momentinin belirlenmesi için bir bulanık mantık modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

## 2. TEK DONATILI DİKDÖRTGEN KESİTLİ KİRİŞLERİN TAŞIMA GÜCÜ MOMENTİNİN HESABI

Eğilme etkisi altındaki kesitlerin taşıma gücü momenti, kesitte kullanılan betonun ve donatının mekanik özellikleri ile kesitin geometrisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Betonun gerilme şekildeğiştirme eğrisi söz konusu kesitin basınç bölgesine yerleştirilir. Kesitin basınç etkisinde kalan bölgesi ile çekme gerilmeleri etkisinde kalan bölgesini ayıran tarafsız eksenin yeri, betonun basınç altındaki birim ezilme kısalması ile donatının akma birim uzaması kullanılarak Bernoulli Navier hipotezi (düzlem kesitler şekildeğiştirmeden sonra düzlem kalır) yardımıyla belirlenir. Daha sonra kesin basınç etkisinde kalan bölgesine yerleştirilen gerilme şekildeğiştirme diyagramı ile bu bölgede oluşan ve beton tarafından taşınan toplam basınç kuvveti ( $F_c$ ) hesaplanır(Şekil 1-a). Hesaplamalarda kolaylık için kesitin basınç bölgesinde oluşan gerçek gerilme şekildeğiştirme bloğu yerine, genellikle aynı bileşke kuvvetine ve etkime noktasına sahip eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu kullanılır (Şekil 1-b).

Kesit yüksekliği  $h$ , etkin kesit yüksekliği (faydalı yükseklik)  $d$ , çekme bölgesindeki Asal çekme donatısı alanı  $A_s$ , tarafsız eksen derinliği  $c$  olan bir kesitin taşıma gücü momenti denklem 1 ile hesaplanabilmektedir. denklem 2 ile betonarme kiriş kesitindeki mevcut donatı oranı hesaplanırken, denklem 3 ve denklem 4 ile minimum ve maksimum donatı oranlarının yönetmeliklerdeki sınırları belirlenir. Bu ilk dört denklemin içerisindeki diğer parametreler Denklem 6, 7, 8, 9 ve 10 ile eşitliklerle belirlenebilmektedir[14].



Şekil 1. Tek donatılı kirişlerin taşıma gücü momentinin hesabı için (a) gerçek gerilme şekil değiştirme bloğu ile (b) Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu [14]

$$M_r = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (1)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (2)$$

$$\rho_{min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (3)$$

$$\rho_{max} \leq \begin{cases} 0.85\rho_b & (TS 500 - 2000) \\ 0.02 & (TBDY - 2018) \end{cases} \quad (4)$$

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max} \quad (5)$$

$$f_{ctd} = \frac{0.35\sqrt{f_{ck}}}{1.5} \quad (6)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} \quad (7)$$

$$\rho_b = 0.85k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{600}{600+f_{yd}}\right) \quad (8)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} \quad (9)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_w} \quad (10)$$

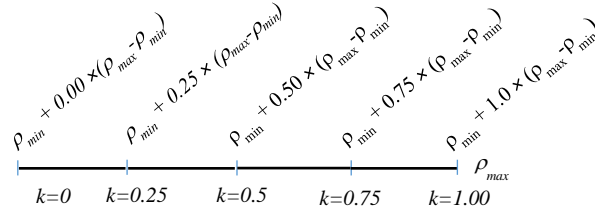
Hesaplamalarda betonun ezilme şekildeğiştirilmesi  $\varepsilon_{cu} = 0.003$ , donatının elasto-plastik davranış gösterdiği varsayımı ile ve elastisite modülü  $E_s = 2.10^5 \text{ MPa}$  olarak alınır. Denklem 1 de yer alan ve Denklem 10 ile hesaplanan "a" parametresi eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliğidir.  $k_1$  parametresi eşdeğer gerilme bloğunu tanımlayan parametrelerden biridir ve  $k_1 = a/c$  eşitliği ile hesaplanır. Kesit etkin yüksekliği veya faydalı yükseklik olarak tanımlanan  $d$  parametresi ise kesit yüksekliğinden beton örtü kalınlığının çıkarılması ile elde edilir. Bu hesaplamalarla ilgili çok daha detaylı bilgiler birçok betonarme kitabında daha açık bir şekilde verilmektedir[14, 15].

### 3. BULANIK MANTIK MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentini bulanık mantık yardımıyla belirleyebilmek amacıyla Denklem 1-10 ile verilen bağıntılar kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümlerinde, donatı sınıfı olarak piyasada günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan B420 C sınıfı donatı çeliği, 25 mm 'lik beton örtü kalınlığı ve eşdeğer gerilme bloğunu tanımlayan  $k_1$  parametresinin değeri  $k_1 = 0.8$  olarak sabit alınmışlardır.

Geliştirilmeye çalışılan bulanık mantık modelinin sayısal verisinin oluşturulmasında kiriş genişliği ( $b_w$ ) kiriş yüksekliği ( $h$ ), karakteristik basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) ve donatı oranının Denklem 11 de ve Şekil 2'deki gibi maksimum ile minimum donatı oranı arasında dikkate alınabilmesini sağlayan ve değeri 0 ile 1 arasında değer alan bir  $k$  katsayısı değişken parametreler olarak dikkate alınmışlardır.

$$\rho = \rho_{min} + k \times (\rho_{max} - \rho_{min}) \quad (11)$$



Şekil 2. Donatı oranına ait bulanık kümelerin belirlenmesi

Donatı oranı bu çalışmada doğrudan değişken olarak alınmamıştır. Bunun sebebi taşıma gücü hesaplamalarında donatının kesitteki miktarının alt ve üst sınırlarını tanımlayan minimum ve maksimum donatı oranı değerlerinin problemin diğer parametrelerinin ( $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$ ,  $k_1$ ) değerlerine bağlı olarak farklı değerler almasıdır. Diğer bir ifade ile, farklı dayanıma sahip beton ve donatı sınıfı kullanılması durumunda minimum ve maksimum donatı oranı değerleri farklı olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle geliştirilen modelde tüm kesitlerde kullanılacak donatı oranı için belirli bir minimum ve maksimum donatı oranı sınırlarından bahsetmek mümkün olmamaktadır. Donatı oranı parametresi için oluşturulacak bulanık kümelerin belirli ortak değerler ile oluşturulması problem çözümlerinin ya çok kısıtlı bir değer aralığı için gerçekleştirilmesine ya da yönetmeliklerin [16, 17] şart koştuğu minimum ve maksimum donatı oranı sınırlarının dışında çözümler yapılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle geliştirilen bulanık mantık modelinin daha genel çözümlere hitap edebilmesi ve bu çalışmadaki tüm kiriş kesit geometrilerinde yönetmeliklerin şart koştuğu minimum ve maksimum sınırları aşmayan donatı oranlarına ilişkin ortak bulanık kümelerin tanımlanması gerekmektedir. Bu gerekliliği karşılamak için 11 numaralı denklemde kullanılan  $k$  katsayısı değişken olarak tanımlanmıştır. Bu parametre ile herhangi bir kiriş kesitinde

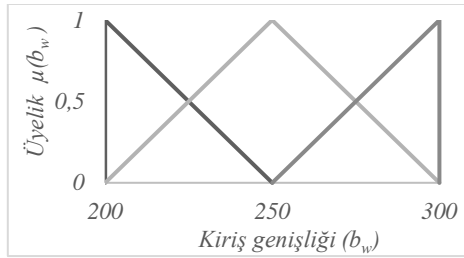
kullanılabilecek farklı minimum ve maksimum donatı oranı değerlerinin oluşturduğu değer aralığında belirli aralıklarla donatı oranı değerleri tanımlanabilmektedir.

Bulanık mantık algoritmasının problemi tecrübe etmesi için yukarıda bahsedilen dört değişken parametreye ait bulanık kümeler Tablo 1 deki gibi oluşturulmuştur.

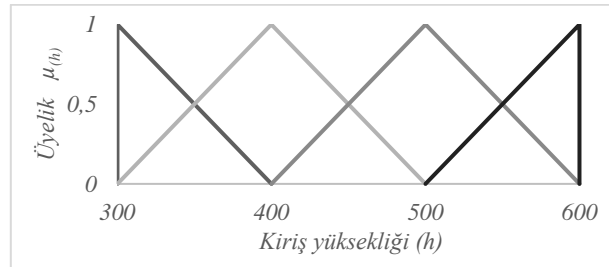
Tablo 1. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan bulanık kümeler

<i>Değişkenler</i>	<i>Bulanık kümeler</i>
$b_w$ (mm)	200, 250, 300
$h$ (mm)	300, 400, 500, 600
$f_{ck}$ (MPa)	20, 30, 40, 50
$k$ ( $0 \leq k \leq 1$ )	0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00

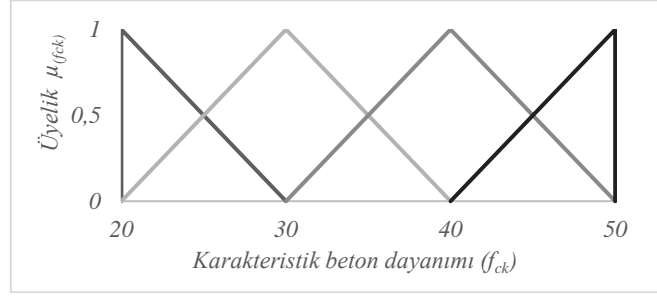
Tablo 1 'den anlaşılacağı üzere kiriş genişliği için 3 adet, kiriş yüksekliği için 4 adet, beton basınç dayanımı için 4 adet ve donatı oranının belirlenmesinde kullanılan  $k$  katsayısı için 5 adet bulanık küme tanımlanmıştır. Bu dört değişken parametrenin bulanık kümeleri üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



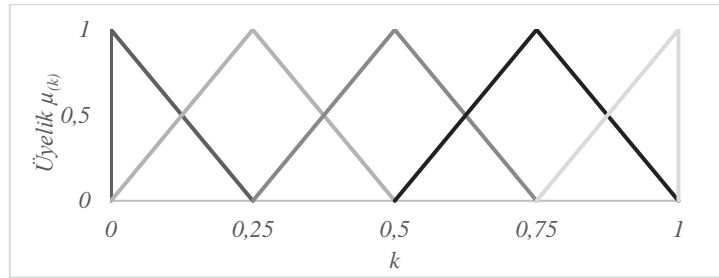
Şekil 3. Kiriş genişliğine ( $b_w$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 4. Kiriş yüksekliğine ( $h$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 5. Karakteristik beton dayanımına ( $f_{ck}$ ) ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi



Şekil 6. Donatı oranını tanımlayan ( $k$ ) parametresine ait bulanık kümelerin üçgen üyelik fonksiyonları ile gösterimi

Bulanık model; tek çıktısı kiriş taşıma gücü momenti  $M_r$  olacak şekilde tasarlanmıştır.  $M_r$  çıktısı için 234 adet bulanık küme üçgen üyelik fonksiyonları ile oluşturulmuştur. Bu bulanık kümelerin oluşturulması için değişken parametrelerin bulanık kümelerinin üyelikleri 1'e karşılık gelen değerlerinin yani Tablo 1 de verilen değerlerin tüm kombinasyonları için  $3 \times 4 \times 4 \times 5 = 240$  adet klasik betonarme hesapları gerçekleştirilmiştir. 240 adet farklı kiriş çözümü sonunda 234 adet farklı çıktı elde edilmiştir. Bu nedenle  $M_r$  çıktısı için 234 adet bulanık küme oluşturulmuştur.  $M_r$  çıktısına ait bulanık küme sayısı çok fazla olduğunda burada grafik olarak verilememiştir. Bulanık modelin kural tablosu için tüm farklı çözümler için yani farklı 240 çözüm için 240 adet kural oluşturulmuştur.

#### 4. BULANIK MANTIK MODELİNİN TEST EDİLMESİ

Geliştirilen bulanık mantık modeli  $b$ ,  $h$ ,  $f_{ck}$  ve  $k$  değişkenlerinin bulanık kümelerinin üyelikleri 1'e karşılık gelen değerlerinin dışında ve en küçük ve en büyük bulanık küme değerleri arasında kalacak şekilde değerler kullanılarak test edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Bulanık mantık modelinin test edilmesinde kullanılan değerler

Değişkenler	Değerler
$b_w$ (mm)	220, 240, 260, 280
$h$ (mm)	350, 450, 550
$f_{ck}$ (MPa)	25, 35, 45
$k$	0.15, 0.40, 0.65, 0.90

Tablo 2 ‘den de görülebileceği gibi,  $b_w$  parametresi için 4,  $h$  parametresi için 3,  $f_{ck}$  parametresi için 3 ve  $k$  parametresi için 4 farklı değer kombine edilerek 144 adet farklı test çözümü oluşturulmuştur. Bulanık mantık modelinin çözüm üretme yeteneğini iyi bir şekilde ortaya koymak için, genellikle modelin oluşturulmasında kullanılan data sayısının % 10’unun makul olarak kabul edildiği test sayısı, bu çalışmada model oluşturma dasetinin %60 ‘ına tekabül eden yüksek bir sayıda tutulmuştur.

Bulanık mantık hesaplamaları için yazar tarafında Visual Basic programlama dilinde yazılmış bir bilgisayar kodu kullanılmıştır. Bulanık mantık çözümlenmeleri kapsamında “*Weighth of Avarage Method*” olarak anılan yöntem bu çalışmada durulaştırma yöntemi olarak kullanılmıştır.

Geliştirilen bulanık mantık modelin çıktılarının doğru olup olmadığını ortaya koymak için bu çıktılar, aynı örnekler için gerçekleştirilen klasik betonarme hesap sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda 144 adet test örneği için % hata değerleri Denklem 12 de verilen eşitlik ile hesaplanarak Tablo 3 teki gibi belirlenmiştir. Daha sonra hataların ortalama değerleri, mutlak değerce hataların ortalama değerleri, mutlak değerce en büyük hata değerleri belirlenmiş ve son olarak istatistiksel olarak bulanık mantık çıktıları ile betonarme hesap sonuçları arasındaki ilişimi ifade eden ilişim(korelasyon) katsayısı ( $R^2$ ) hesaplanarak Tablo 3 ün sonunda verilmiştir.

$$\% Hata = \frac{M_r^{Bulanık Mantık} - M_r^{betonarme}}{M_r^{betonarme}} \times 100 \quad (12)$$

Tablo 3. Bulanık Mantık modelinin test edilmesinde kullanılan test örnekleri ile sonuçlar ve % hata miktarları

$b_w$ mm	$h$ mm	$f_{ck}$ MPa	$k$	$M_r^{B.arme}$ kNm	$M_r^{B-Mantık}$ kNm	% Hata	$b_w$ mm	$h$ mm	$f_{ck}$ MPa	$k$	$M_r^{B.arme}$ kNm	$M_r^{B-Mantık}$ kNm	% Hata
220	350	25	0.15	40.99	40.31	1.66	280	450	45	0.15	140.46	132.39	5.74
240	350	25	0.15	44.72	42.67	4.58	220	550	45	0.15	168.41	161.69	3.99
260	350	25	0.15	48.44	48.20	0.51	240	550	45	0.15	183.72	171.88	6.45
280	350	25	0.15	52.17	50.15	3.88	260	550	45	0.15	199.03	193.61	2.72
220	450	25	0.15	70.10	68.25	2.63	280	550	45	0.15	214.34	200.78	6.33
240	450	25	0.15	76.47	72.32	5.43	220	350	25	0.40	64.08	64.45	-0.59
260	450	25	0.15	82.84	81.76	1.31	240	350	25	0.40	69.90	67.99	2.73
280	450	25	0.15	89.22	85.03	4.69	260	350	25	0.40	75.73	76.81	-1.42
220	550	25	0.15	106.97	103.82	2.94	280	350	25	0.40	81.56	79.90	2.02
240	550	25	0.15	116.69	110.05	5.69	220	450	25	0.40	109.58	109.36	0.20
260	550	25	0.15	126.41	124.20	1.76	240	450	25	0.40	119.54	115.31	3.54
280	550	25	0.15	136.14	129.01	5.24	260	450	25	0.40	129.50	130.29	-0.60
220	350	35	0.15	53.03	51.63	2.64	280	450	25	0.40	139.46	135.60	2.77
240	350	35	0.15	57.85	54.81	5.26	220	550	25	0.40	167.21	165.92	0.77
260	350	35	0.15	62.67	61.94	1.17	240	550	25	0.40	182.41	174.82	4.16
280	350	35	0.15	67.50	64.35	4.66	260	550	25	0.40	197.62	197.48	0.07
220	450	35	0.15	90.69	88.02	2.94	280	550	25	0.40	212.82	205.66	3.36
240	450	35	0.15	98.93	93.53	5.46	220	350	35	0.40	86.94	87.50	-0.64
260	450	35	0.15	107.18	105.44	1.62	240	350	35	0.40	94.85	92.40	2.58
280	450	35	0.15	115.42	109.31	5.29	260	350	35	0.40	102.75	104.29	-1.49
220	550	35	0.15	138.39	133.44	3.57	280	350	35	0.40	110.65	108.39	2.04
240	550	35	0.15	150.97	141.68	6.15	220	450	35	0.40	148.68	148.39	0.19
260	550	35	0.15	163.55	159.65	2.38	240	450	35	0.40	162.19	156.65	3.42
280	550	35	0.15	176.13	165.63	5.96	260	450	35	0.40	175.71	176.60	-0.51
220	350	45	0.15	64.54	62.92	2.50	280	450	35	0.40	189.22	183.51	3.02
240	350	45	0.15	70.40	66.87	5.02	220	550	35	0.40	226.87	224.81	0.91
260	350	45	0.15	76.27	75.20	1.41	240	550	35	0.40	247.50	237.13	4.19
280	350	45	0.15	82.14	77.92	5.13	260	550	35	0.40	268.12	267.63	0.18
220	450	45	0.15	110.36	106.66	3.35	280	550	35	0.40	288.75	278.46	3.56

240	450	45	0.15	120.4	113.49	5.74		220	550	45	0.40	109.47	110.19	-0.65
260	450	45	0.15	130.43	127.8	2.02		240	350	45	0.40	119.42	116.37	2.55
									350					

Tablo 3. 'ün devamı

<i>bw</i>	<i>h</i>	<i>f<sub>ck</sub></i>	<i>k</i>	<i>M<sub>r</sub><sup>B.arme</sup></i>	<i>M<sub>r</sub><sup>B-Mantık</sup></i>	%	<i>bw</i>	<i>h</i>	<i>f<sub>ck</sub></i>	<i>k</i>	<i>M<sub>r</sub><sup>B.arme</sup></i>	<i>M<sub>r</sub><sup>B-Mantık</sup></i>	%
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>		<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Hata</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>		<i>kNm</i>	<i>kNm</i>	<i>Hata</i>
260	350	45	0.40	129.37	131.23	-1.44	280	450	45	0.65	325.52	319.48	1.85
280	350	45	0.40	139.32	136.38	2.11	220	550	45	0.65	390.28	393.58	-0.84
220	450	45	0.40	187.20	186.54	0.35	240	550	45	0.65	425.76	416.12	2.27
240	450	45	0.40	204.22	197.00	3.53	260	550	45	0.65	461.24	468.45	-1.56
260	450	45	0.40	221.24	222.33	-0.5	280	550	45	0.65	496.72	485.02	2.36
280	450	45	0.40	238.25	231.14	2.99	220	350	25	0.90	103.10	105.18	-2.01
220	550	45	0.40	285.66	282.86	0.98	240	350	25	0.90	112.47	110.44	1.81
240	550	45	0.40	311.63	298.62	4.18	260	350	25	0.90	121.85	124.67	-2.32
260	550	45	0.40	337.59	337.16	0.13	280	350	25	0.90	131.22	129.91	1.00
280	550	45	0.40	363.56	350.7	3.54	220	450	25	0.90	176.31	178.38	-1.18
220	350	25	0.65	84.78	86.34	-1.84	240	450	25	0.90	192.34	187.54	2.49
240	350	25	0.65	92.49	90.89	1.73	260	450	25	0.90	208.37	211.82	-1.66
260	350	25	0.65	100.20	102.67	-2.47	280	450	25	0.90	224.39	220.57	1.70
280	350	25	0.65	107.91	106.91	0.93	220	550	25	0.90	269.04	270.52	-0.55
220	450	25	0.65	144.98	146.28	-0.89	240	550	25	0.90	293.50	284.46	3.08
240	450	25	0.65	158.16	153.98	2.64	260	550	25	0.9	317.96	321.82	-1.22
260	450	25	0.65	171.34	173.94	-1.51	280	550	25	0.9	342.41	335.39	2.05
280	450	25	0.65	184.52	181.09	1.86	220	350	35	0.9	143.98	147.36	-2.35
220	550	25	0.65	221.24	221.67	-0.19	240	350	35	0.9	157.07	154.96	1.35
240	550	25	0.65	241.35	233.25	3.35	260	350	35	0.9	170.16	174.88	-2.77
260	550	25	0.65	261.46	263.63	-0.83	280	350	35	0.9	183.25	182.00	0.68
280	550	25	0.65	281.57	274.65	2.46	220	450	35	0.9	246.22	250.8	-1.86
220	350	35	0.65	117.26	119.77	-2.14	240	450	35	0.9	268.6	263.890	1.76
240	350	35	0.65	127.92	126.36	1.22	260	450	35	0.9	290.98	297.22	-2.14
260	350	35	0.65	138.58	142.66	-2.94	280	450	35	0.9	313.37	308.90	1.43
280	350	35	0.65	149.24	148.22	0.68	220	550	35	0.9	375.72	380.28	-1.22
220	450	35	0.65	200.52	203.08	-1.28	240	550	35	0.9	409.87	400.17	2.37
240	450	35	0.65	218.75	214.03	2.16	260	550	35	0.9	444.03	449.78	-1.30
260	450	35	0.65	236.98	241.10	-1.74	280	550	35	0.9	478.18	466.91	2.36
280	450	35	0.65	255.21	250.42	1.88	220	350	45	0.9	184.82	189.67	-2.62
220	550	35	0.65	305.98	307.26	-0.42	240	350	45	0.9	201.62	199.82	0.9
240	550	35	0.65	333.80	323.6	3.05	260	350	45	0.9	218.42	225.72	-3.34
260	550	35	0.65	361.62	364.66	-0.84	280	350	45	0.9	235.23	234.7	0.22
280	550	35	0.65	389.43	379.01	2.68	220	450	45	0.9	316.06	323.18	-2.25
220	350	45	0.65	149.56	152.67	-2.08	240	450	45	0.9	344.79	340.64	1.2
240	350	45	0.65	163.16	161.12	1.25	260	450	45	0.9	373.52	383.52	-2.68
260	350	45	0.65	176.76	181.9	-2.91	280	450	45	0.9	402.25	397.9	1.08
280	350	45	0.65	190.35	188.94	0.74	220	550	45	0.9	482.28	495.62	-2.76
220	450	45	0.65	255.76	258.61	-1.11	240	550	45	0.9	526.13	524.31	0.35
240	450	45	0.65	279.01	272.94	2.18	260	550	45	0.9	569.97	584.71	-2.59
260	450	45	0.65	302.27	307.79	-1.83	280	550	45	0.9	613.82	601.5	2.01

Ortalama % Hata = 1.31

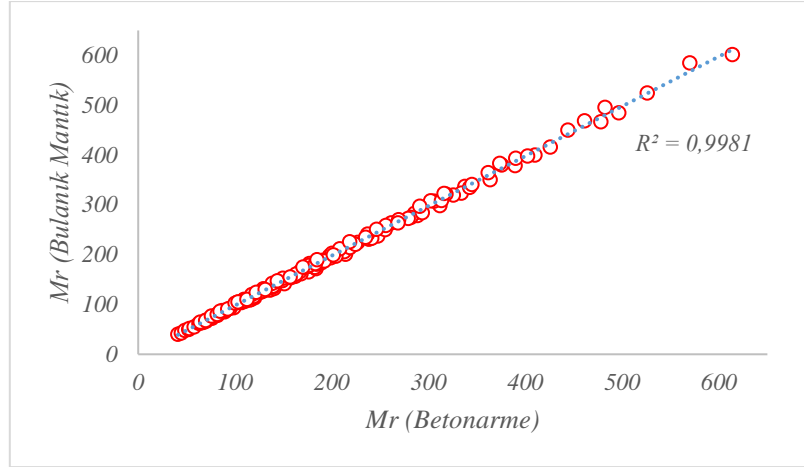
Ortalama mutlak % Hata = 2.31

En büyük mutlak % Hata = 6.45

Korelasyon Katsayısı  $R^2 = 0.9981$

Tablo 3 ün alt satırlarında verildiği gibi bu çalışmada geliştirilen bulanık mantık modeli 144 farklı tek donatılı dikdörtgen kiriş için, ortalama 1.31 yüzde hata ile, ortalama 2.31 mutlak yüzde hata ile, en büyük 6.45 mutlak değerce hata ile ve  $R^2 = 0.9981$  korelasyon ile sonuç üretmiştir. Bu sonuçların betonarme hesaplarla oldukça uyumlu olduğu Şekil 7 den kolayca anlaşılabilir. Yaklaşık 6.5 olarak hesaplanan en büyük mutlak % hata değerinin, betonarme hesaplamalarda yapılan birçok kabul ve belirsizlikler dikkate alındığında, oldukça makul ve kabul edilebilir bir hata miktarı olduğu söylenebilir.





Şekil 7. Bulanık çıktılar ile betonarme çözümler arasındaki uyum ve ilişki

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, eğilme momenti etkisindeki tek donatılı dikdörtgen kirişlerin taşıma gücü momentleri yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık yaklaşımı ile başarıyla hesaplanabilmiştir. Oluşturulan bulanık mantık modeli, TS500 ve Türk Bina Deprem Yönetmeliklerindeki maksimum ve minimum donatı oranları arasındaki donatı oranları için geliştirilmiştir. Bu donatı oranları dışındaki donatı kullanımında model, doğru sonuç üretmeyeceği için kullanılamaz. Benzer şekilde bu çalışmada geliştirilen modelin, Tablo 1 de gösterilen değişken parametrelere ait en küçük ve en büyük değerlerinin dışındaki değerler için kullanılamayacağı bu yöntemin doğası gereğidir. Daha yaygın kullanım için Tablo 1 de verilen değişken değer aralıklarının büyütülerek yeni bir modelin oluşturulması gerekmektedir. Son olarak, bu çalışmada bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak geliştirilen modelin, yapısal analiz ve tasarım yazılımlarındaki tek donatılı kirişlerin taşıma gücü momentlerinin belirlenmesinde, çalışmanın içeriğinde belirtilen problem parametrelerine ait değer aralıkları içinde kalmak kaydıyla ve kabul edilebilir bir hata miktarı ile kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

## 6. REFERANSLAR

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. Fuzzy sets, 8(3), 338-353.
- [2] Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, (1), 28-44.
- [3] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. Information sciences, 9(1), 43-80.
- [4] Mamdani, E. H., and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International journal of man-machine studies, 7(1), 1-13.
- [5] Mamdani, E. H. (1976). Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. International Journal of Man-Machine Studies, 8(6), 669-678.



- [6] Güler, K., Demir, F., and Pakdamar, F. (2012). Stress–strain modelling of high strength concrete by fuzzy logic approach. *Construction and Building Materials*, 37, 680-684.
- [7] Akkurt, S., Tayfur, G., and Can, S. (2004). Fuzzy logic model for the prediction of cement compressive strength. *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1429-1433.
- [8] Chao, C. J., and Cheng, F. P. (1998). Fuzzy pattern recognition model for diagnosing cracks in RC structures. *Journal of computing in civil engineering*, 12(2), 111-119.
- [9] Nasrollahzadeh, K., and Basiri, M. M. (2014). Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams using fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1006-1020.
- [10] Karbhari, V. M., and Stein, M. (2007). Fuzzy logic based approach to FRP retrofit of columns. *Composites Part B: Engineering*, 38(5-6), 651-673.
- [11] Doran, B., Yetilmezsoy, K., and Murtazaoglu, S. (2015). Application of fuzzy logic approach in predicting the lateral confinement coefficient for RC columns wrapped with CFRP. *Engineering Structures*, 88, 74-91.
- [12] Öztekin, E., ve Kumaş, F. (2015). Beton gerilme şekildeğiştirme eğrilerinin bulanık mantık yaklaşımıyla elde edilmesi, *Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, Bayburt.
- [13] Pörge, B. (2019). Investigation of reliabilities of the triaxial concrete compressive strength models by fuzzy logic approach, *Yüksek Lisans Tezi*, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- [14] Doğangün, A., (2019). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, (16. Baskı) Ankara, Türkiye, Birsen Yayınevi.
- [15] Ersoy, U., Canbay, E. ve Özcebe, G. (2019), *Betonarme Cilt 2 - Özel Konular: TS 500-2000 ve TBDY-2019'a Uygun Olarak Geliştirilmiş Yeni Baskı* (9. Baskı), İstanbul, Türkiye, Evrim Yayınevi
- [16] Türk Standardı, (2000). *Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS 500-2000)*, Ankara, Türkiye, Türk Standartları
- [17] Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2018). *Türk Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY-2018)*, Afet ve Acil Durum Yönetimi, Ankara, Türkiye.

## Farklı Karışım Özelliklerine Sahip Betonların Sülfat Dirençlerinin Belirlenmesi

Osman Akçay<sup>1\*</sup>, Mustafa Çullu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Bakır Madencilik Sanayi A.Ş., Gümüşhane, Türkiye

<sup>2</sup> Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

\*osmanakcayins@gmail.com

### Özet

Betonun durabilitesi, kalitesine bağlı olup, performansta ise bileşen malzemeler, karışım oranları, üretim yöntemi, betonun bakım ve kuru gibi süreçler ile çevre koşulları da etkili olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı dayanım sınıflarında hazırlanan beton örneklerin, kontrollü olarak karışım suyundaki azalma ve artmanın betonun sülfat direncindeki değişimi belirlemektir. Bu amaçla C20/25, C30/37 ve C40/50 dayanım sınıflarında hazırlanan beton karışım tasarımlarındaki karışım suyu oranları kontrollü olarak %10, %20, %40, %70 ve %100 oranında artırılıp %10 ve %20 oranında azaltılmıştır. Beton örneklerin sülfat direncini belirlemek amacıyla, beton örnekler ıslanma kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır. 105°C' de 2 gün bekletildikten sonra Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> içeriği %5 olan solüsyon içerisinde 2 gün bekletilmiş ve çevrim tamamlanmıştır. ıslanma kuruma çevrimi tamamlandıktan sonra beton örneklerdeki kütle kayıpları belirlenmiştir. Sonuç olarak, dayanım sınıfı ve karışım hesabında belirlenen karışım su miktarının azaltılması veya artırılması betonun sülfat direncini önemli ölçüde etkilemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonun Durabilitesi, Karışım Suyu, S/Ç Oranı, Sülfat Direnci

## Determination of Sulphate Resistance of Concretes with Different Mixing

### Abstract

The durability of concrete depends on its quality, and on the performance, component materials, mixing ratios, production method, processes such as the maintenance and curing of the concrete and environmental conditions are also effective. The aim of this study is to determine the change in the sulfate resistance of concrete with the controlled decrease and increase in mixing water of concrete samples prepared in different strength classes. For this purpose, mixing water ratios in concrete mixture designs prepared in strength classes C20/25, C30/37 and C40/50 were increased by 10%, 20%, 40%, 70% and 100% in a controlled manner and decreased by 10% and 20%. In order to determine the sulfate resistance of the concrete samples, the concrete samples were exposed to the wetting-drying cycle. After being kept at 105°C for 2 days, it was kept in a solution with 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> content for 2 days and the cycle was completed. In this way, a wetting-drying cycle was performed. After the wetting-drying cycle was completed, the mass losses in the concrete samples were determined. As a result, reducing or increasing the amount of mixing water determined in the strength class and mixture calculation significantly affects the sulfate resistance of the concrete.

**Keywords:** Durability of Concrete, Mixing Water, W/C Ratio, Sulfate Resistance

## 1. GİRİŞ

Beton, çimento, su ve agrega maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Bir yapının ve o yapıyı oluşturan malzemelerin yapı hizmet süresi boyunca görevlerini bozulmadan yerine getirmesine durabilite denir. Bundan ötürü bir yapı hakkında sağlam ve güvenilir kelimelerinin kullanılabilmesi projelendirme ve imalat sırasında doğru malzeme seçimine bağlıdır. Malzemenin iyi kullanımı ve yapıya etki edebilecek çevresel faktörlerin önceden belirlenerek alınacak tedbirlerle birlikte yapının hizmet süresi boyunca minimum bakım gerektirecek şekilde kaliteli imal edilmesi istenmektedir. Eğer ki yapı bu şekilde inşa edilirse durabilitesi yüksek, istenildiği gibi hizmet süresi uzun, sağlam ve güvenilir bir yapı meydana getirilir.

Betonarme yapıların uzun süreli dayanıklılığını olumsuz etkileyen en önemli çevresel etkilerden biri sülfat etkisidir. Sülfat etkisi betonda genişlemeye, dayanımın zaman içinde giderek düşmesine ve kütle kaybına neden olmaktadır. Bu da temel, köprü ayağı, beton borular gibi mühendislik yapılarına zarar vermektedir [1]. Sülfatın betona etkisi, hidrate Portland çimentosu ile sülfat iyonları arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yoluyla olur [2, 3, 4].

Çimentodan kalsiyum alüminat hidrat ve kalsiyum hidroksit ile sülfat iyonları arasındaki tepkime sonucunda betonda genişleme yaratan ürünler meydana gelmesi olayına sülfat etkisi denir. Bu ürünler etrenjit ve jips olup, betonda genişleme, çatlak oluşumu yüzeyin pul pul dökülmesi şeklinde hasara dolayısıyla dayanım kaybına sebep olmaktadır. Genleşme oluşmasının dışında da sülfat etkisi betonda dayanım kaybına neden olmaktadır. Bu nedenlerden bir tanesi de sülfat etkisiyle hidrate portland çimentosunun başlıca fazlarından olan kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidratının bozulması da yapıdaki adezyon kuvvetlerinin zayıflamasına ve bunun sonucunda da dayanım kaybına neden olmaktadır. Çimentonun, sülfata karşı göstereceği performansı etkileyen en önemli bileşenler yapısında bulunan  $C_3A$  ve  $C_4AF$  bileşenleridir. Çünkü sülfat hücumu sonunda meydana gelen ve sertleşmiş çimento ve betonun yapısında genişlemelere sebep olan etrenjit ve monosülfoalüminatların oluşumunda bu ana bileşenler doğrudan rol oynamaktadır. Çimentonun yapısında bulunan  $C_3A$  miktarı, beton taze haldeyken meydana gelecek monosülfoalüminat miktarını belirlemekte, monosülfoalüminatlar ise sertleşmiş betonda zararlı genişlemelere sebep olan etrenjit oluşumuna sebep olmaktadır.

Yapılan araştırmalar çimento kimyasalının betonda sülfat hücumunu önleyici tek faktör olmadığını göstermektedir. Çimentoda bulunan düşük miktardaki  $C_3A$  bileşeninin yanı sıra üretilen betonun geçirimsizliğinin düşük olması, sülfat hücumunu engelleyici ve azaltıcı faktörler arasında sayılmaktadır. Bilindiği gibi toprakta ve yeraltı sularındaki sülfatlar, betonun içerisine sızan sularla birlikte girebilmektedir. Bu nedenle betonun geçirimsizliğinin az olması betona girecek sülfat miktarının azalmasını sağlayacaktır. Sülfat hücumu sonucu oluşabilecek hasarları önleme yollarından bir diğeri ise beton üretiminde mineral katkıların kullanılmasıdır. Mineral katkılar, özelliklerine göre betonu sülfat hücumuna karşı daha dayanıklı hale getirebilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda mineral katkı kullanımının çimentonun sülfata karşı direncini arttırmada etkili olduğu bildirilmektedir [5].

Sülfat iyonlarının kalsiyum hidroksit ile reaksiyonlarından sonra oluşan alçıtaşının yanı sıra katyon tipine bağlı olarak  $Mg(OH)_2$ ,  $NaOH$  gibi hidroksitler oluşmaktadır. Bunların ortamda bulunması etrenjit oluşumunu ve sülfatın etki mekanizmasını ciddi şekilde etkiler. Örneğin, çok düşük çözünürlük değerine sahip olan magnezyum hidroksit ortamın pH değerini 10.5 mertebelerine düşürebilmektedir ve C-S-H jeli ile etrenjitin stabilitesini bozabilmektedir [2; 6].

$Ca(OH)_2$  ile tepkimeye giren zararlı kimyasallar su içerisinde çözünen tuzlar oluşturmaktadırlar. Bu tuzların betondan yıkanması geçirimsizliği artırarak zararlı kimyasalların beton içerisine girişine hız kazandırmaktadır. Sülfatlarda bu tip tepkimelere girdiğinde betonda genişlemelere ve çatlaklara sebep olan etrenjit üretmektedirler [7].

Freeman ve Carrasquillo, uçucu külü betona döküm esnasında karıştırmak yerine uçucu küllü çimento kullanımının sülfat direnci açısından daha faydalı olduğunu belirtmişlerdir [8].

Sülfatın betonda oluşturduğu hasarlar ve bunları en asgari düzeye indirme konusu uzun yıllardan beri araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır [9]. Özellikle, silis dumani, uçucu kül, cüruf gibi mineral katkı maddeleri ve çeşitli kimyasal katkıları kullanılarak betonun sülfat direncinin artırılması yönündeki çalışmalar yaygındır [10; 11; 12; 13; 14; 15].

Betonda yüksek miktarda kalsiyum oksit (CaO) ve amorf kalsiyum alüminat içeren uçucu küllerin kullanılması durumunda betonun sülfat direncinin azaldığı, düşük miktarda kalsiyum içeren uçucu küllerin kullanımının ise betonun sülfat dayanımını arttırdığı yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır [16].

Bu çalışmanın amacı, farklı dayanım sınıflarında hazırlanan beton örneklerin, beton üretimi esnasında kontrollü olarak karışım suyundaki azalma ve artmanın betonun sülfat direncindeki değişimi belirlemektir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada beton üretiminde kireçtaşı agregası, çimento ve Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Agregası

Yapılan çalışmada (0-4 mm, 4-11.2 mm, 11.2-32 mm) agrega gruplarından, beton santrallerinde normal ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan Gümüşhane yöresine ait kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Kireçtaşı agregası

#### 2.1.2. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane’de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Tablo 1’de çimentoya ait analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO <sub>2</sub>	18.10	İncelik (45 µ elek üstü %)	7.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.48	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.09	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3698
CaO	63.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saat-31dk
MgO	2.58	Priz Sonu (saat-dk)	3saat-11dk
SO <sub>3</sub>	2.84	Hacim Genişlemesi (mm)	1.0
Kızdırma Kaybı	3.90	Su İhtiyacı (%)	29.5

Na <sub>2</sub> O	0.21		
K <sub>2</sub> O	0.62		
CI	0.015	Basınç Dayanımı (MPa)	
Ölçülemeyen	0.52	2.Gün	27.9
Toplam	100	28.Gün	58.0

### 2.1.3. Karışım Suyu

Çalışmada Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Beton Örneklerin Üretimi

Bu çalışmada 10x20 cm ebadında silindir numuneler için uygun plastik kalıp kullanılmıştır. Kalıpların iç yüzeyleri beton dökülmeden önce iyice temizlenmiş ve betonun kalıba yapışmadan kolayca sökülmesi için hafifçe yağlanmıştır.

Beton yapımında kullanılan agrega uygun olarak ağırlık hesabına göre hazırlanmıştır. Hazırlanan agrega karışımının üzerine daha önceden tartılarak hazırlanmış olan çimento ilave edilerek, mikserde önce beş dakika kuru karılmıştır, daha sonra her bir test serisi için hazırlanan tasarım suyu ve bu tasarım suyunun belli oranlarda değiştirilmiş miktarları karışımlara ilave edilmiş ve betonda çözülme oluşmaması için 20 dakika daha karılmıştır. Karışım sonucu tasarım betonu ve agrega, çimento miktarları sabit tutularak su miktarının optimum su miktarına göre %10, %20, %40, %70, %100 artırıldığı ve %10, %20 azaltıldığı beton karışımları elde edilmiştir. Beton örneklerinin kodları karışım suyu artırılmasında sırasıyla S+10, S+20, S+40, S+70, S+100 ve karışım suyu azaltılmasında S-10, S-20'dir. Beton önceden hazırlanan silindir kalıplara yerleştirilmiştir. Her kalıba yerleştirildiğinde beton içerisinde hava kabarcığı kalmayınca kadar vibratör ile sıkıştırılmıştır. Kalıpların üzeri mala ile sıyrılmış ve numaralandırılmıştır. Bu şekilde hazırlanan numuneler 24 saat laboratuvar da üzerleri camla kapatılarak bırakılmış ve 24 saat sonunda kalıplardan çıkartılarak su sıcaklığı  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de sabit olan kür havuzuna yerleştirilmiştir. Numuneler deney yapılacakları günden bir gün öncesine kadar su içinde bekletilmişlerdir.

Çökme değeri TS 802 den 8-10 cm aralığı ve S/Ç=0.6 seçilmiştir. Tablo 2'de beton karışım tasarımı verilmiştir.

Tablo 2. Beton karışım tasarımı

Malzeme	C20/25		C30/37		C40/50		
	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	
Çimento	105	316	134	404	172	519	
Su	218	218	218	218	218	218	
Hava	20	-	20		20	0	
Agrega	0-4 (%49)	322	847	308	809	289	760
	4-11.2 (%30)	197	511	188	488	177	458
	11.2-32 (%21)	138	356	132	340	124	319
Su/Çimento	0.69		0.54		0.42		
Toplam	1000	2247	1000	2259	1000	2274	

### 2.2.2. Sülfat Dayanıklılığı Tayini

Beton örneklerin sülfat direncini belirlemek amacıyla, beton örnekler ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır.  $105^{\circ}\text{C}$ 'de 2 gün bekletildikten sonra  $\text{Na}^2\text{SO}^4$  içeriği %5 olan solüsyon içerisinde 2 gün bekletilmiş ve çevrim tamamlanmıştır. Her çevrimden sonra beton örneklerin ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Sonuçlar grafikler üzerinden yorumlanmıştır. Sülfat deneyi uygulaması Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sülfat ıslanma döngüsü

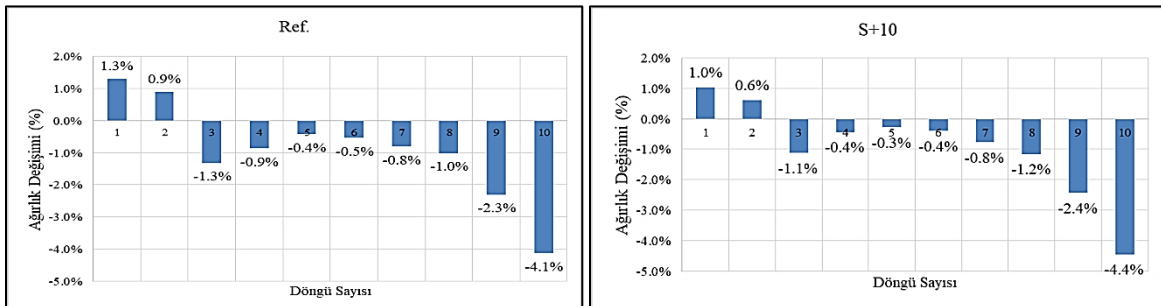


Şekil 3. Sülfat kuruma döngüsü

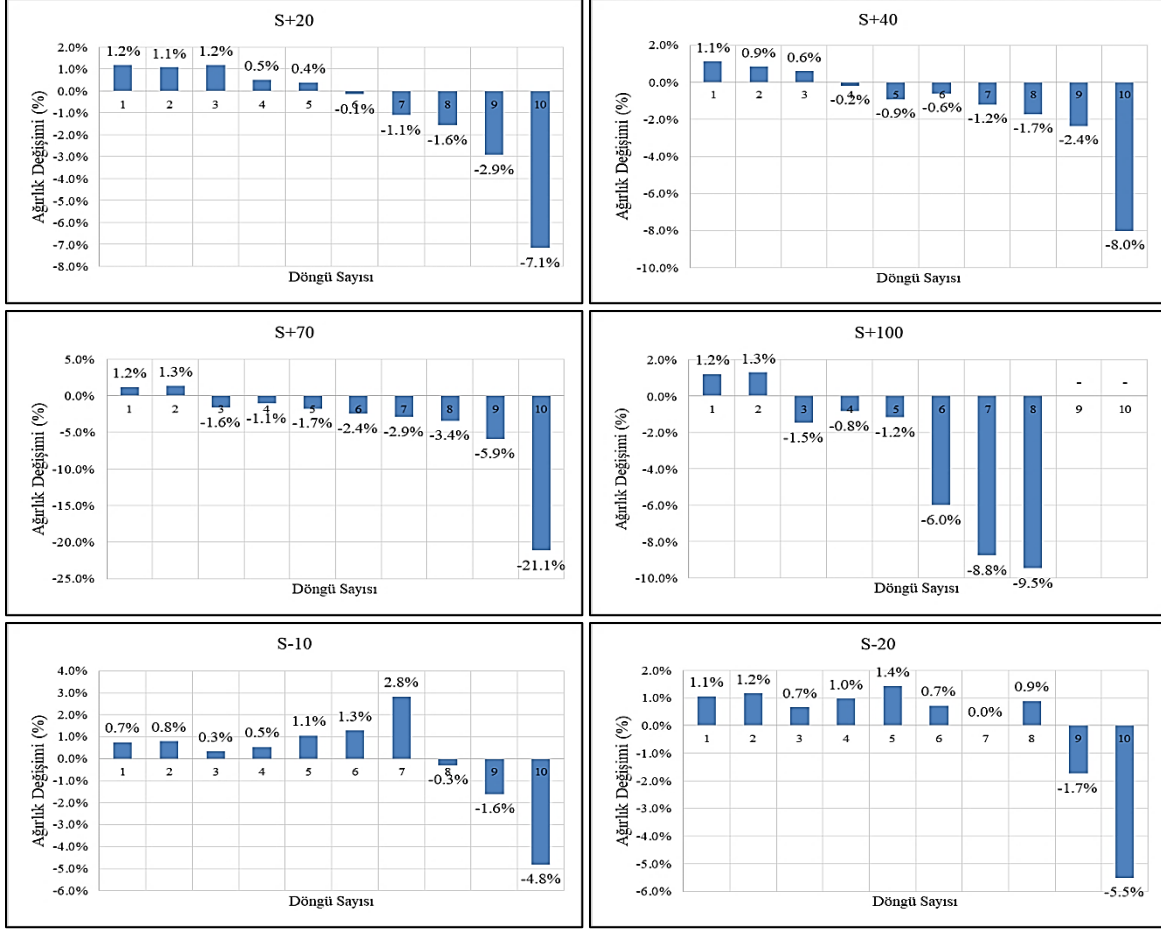
### 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Sülfat Etkisi ile Ağırlık Değişimi

C20/25, C30/37 ve C40/50 dayanım sınıflarında hazırlanan kontrollü su artış ve azaltma miktarlarına bağlı olarak sülfat etkisine maruz bırakılan beton örneklerinde zamana bağlı olarak ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir. Beton dayanım sınıfına göre sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimlerini gösterir grafikler Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de görülmektedir.







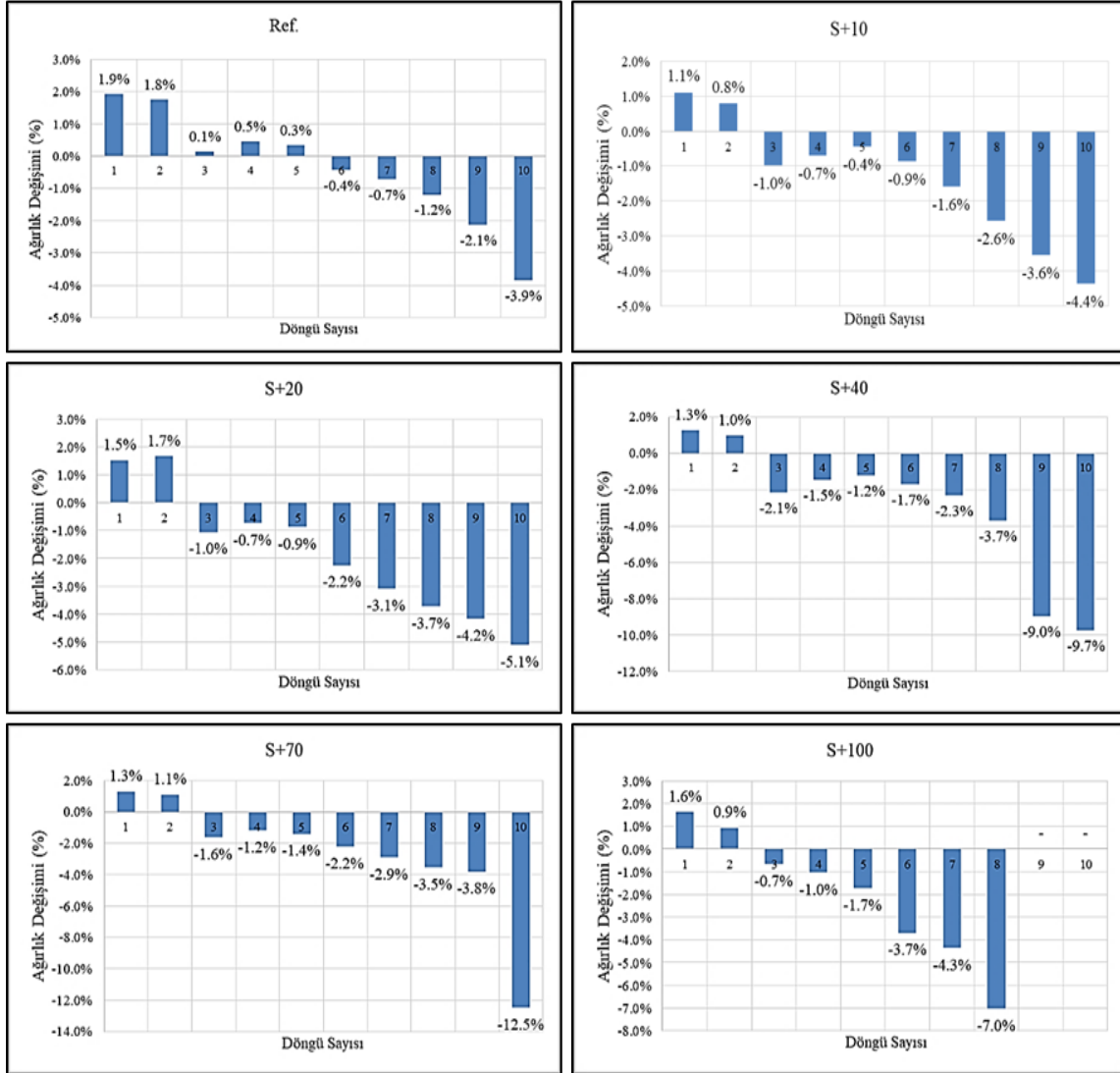
Şekil 4. C20/25 dayanım sınıfındaki betonların sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimleri

C20/25 dayanım sınıfındaki beton örneklerin sülfat etkisinde ıslanma kuruma döngüsü değerlendirmesinde;

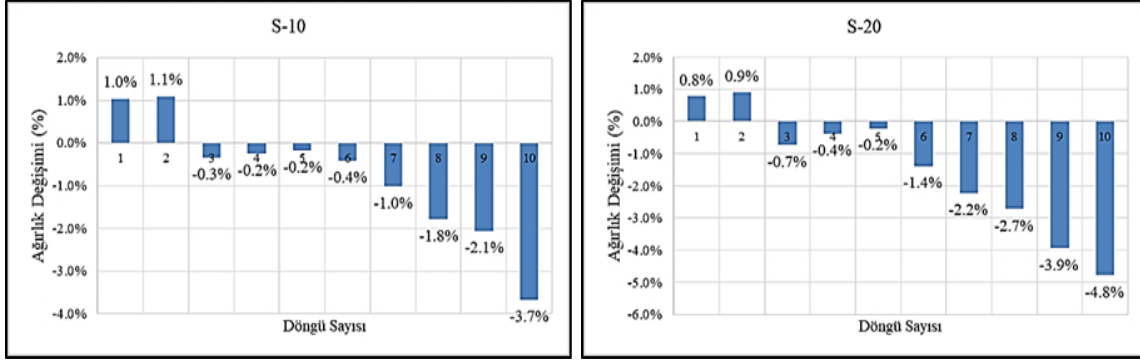
- Referans beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.3 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. Döngü sonunda, %4.1'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+10 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.0 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.4'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+20 beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.2, %1.1, %1.2, %0.5 ve %0.4 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %7.1'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+40 beton örneklerinde 1., 2. ve 3. döngülerde sırasıyla %1.1, %0.9 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 4. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %8.0'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+70 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.2 ve %1.3 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda ağırlıklarda %21.1 azalma gözlenmiştir.
- S+100 beton örneklerin 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.0 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 8. döngü sonunda, %9.5'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.

- S-10 beton örneklerin 1., 2., 3., 4., 5., 6. ve 7. döngülerde sırasıyla %0.7, %0.8, %0.3, %0.5, %1.1, %1.3 ve %2.8 ağırlık artışı olurken, 8. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-20 beton örneklerin 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7. ve 8. döngülerde sırasıyla %1.1, %1.2, %0.7, %1.0, %1.4, %0.7, %0.0 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 9. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.5'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.

C30/37 dayanım sınıfında kontrollü su artış ve azaltma miktarlarına bağlı olarak sülfat etkisine maruz bırakılan beton örneklerinde zamana bağlı ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir.



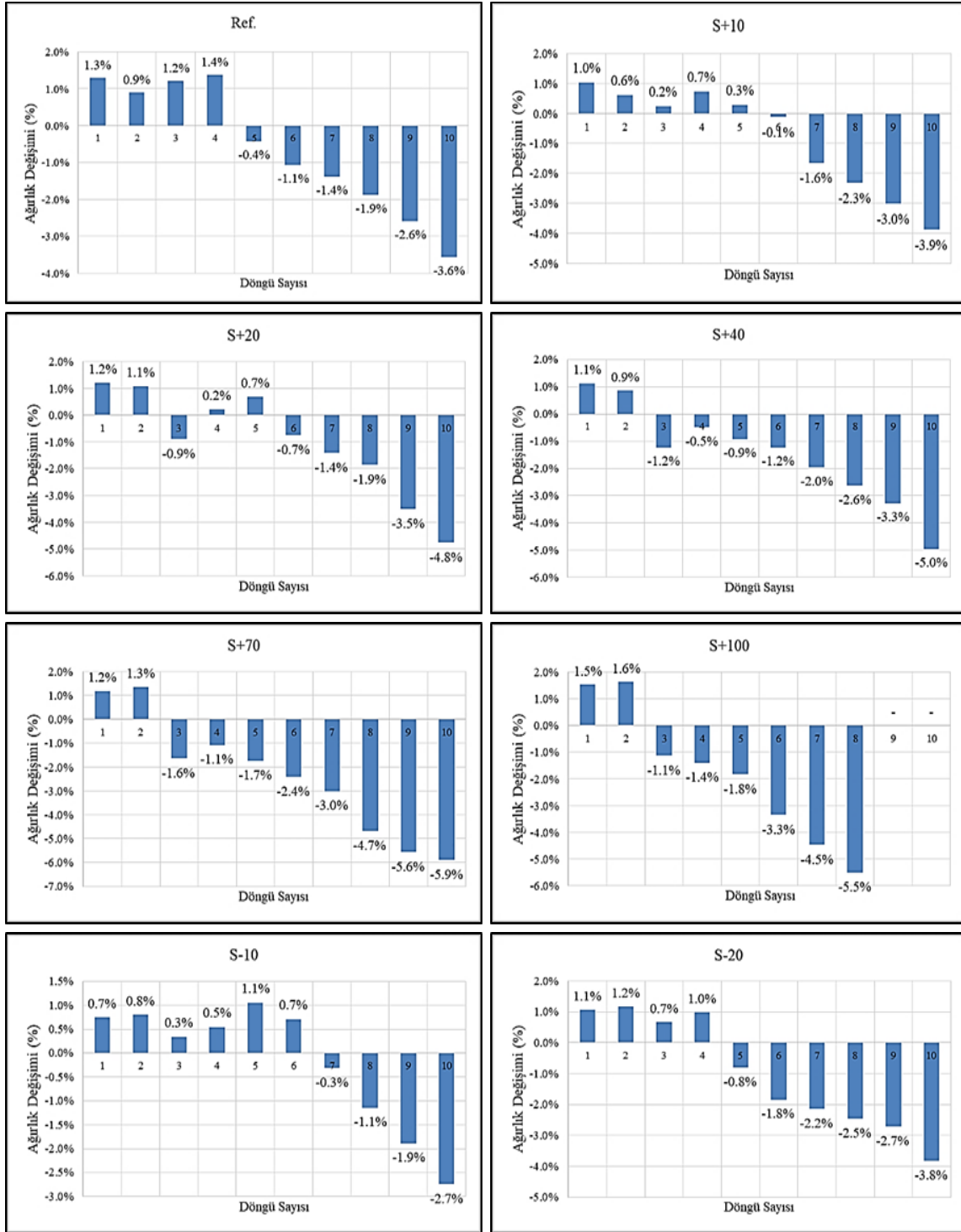




Şekil 5. C30/37 dayanım sınıfındaki betonların sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimleri  
C30/37 dayanım sınıfındaki beton örneklerin sülfat etkisinde ıslanma kuruma döngüsü değerlendirilmesinde;

- Referans beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.9, %1.8, %0.1, %0.5 ve %0.3 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.9'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+10 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.1 ve %0.8 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.4'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+20 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.5 ve %1.7 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.1'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+40 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.3 ve %1.0 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %9.7'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+70 beton örneklerinde 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.3 ve %1.1 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %12.5'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+100 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.0 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 8. döngü sonunda, %7.0'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-10 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.0 ve %1.1 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.7'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-20 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %0.8 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.

C 40/50 dayanım sınıfında kontrollü su artış ve azaltma miktarlarına bağlı olarak sülfat etkisine maruz bırakılan beton örneklerinde zamana bağlı ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir.



Şekil 6. C40/50 dayanım sınıfındaki betonların sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimleri  
C40/50 dayanım sınıfındaki beton örneklerin sülfat etkisinde ıslanma kuruma döngüsü değerlendirmesinde;

- Referans beton örneklerinde 1., 2., 3. ve 4. döngülerde sırasıyla %1.3, %0.9, %1.2 ve %1.4 ağırlık artışı olurken, 5. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.6'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir.

- S+10 beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.0, %0.6, %0.2, %0.7 ve %0.3 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.9'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+20 beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.2, %1.1, %0.3, %0.2 ve %0.7 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+40 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.1 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.0'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+70 beton örneklerinde 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.2 ve %1.3 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.9'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+100 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.5 ve %1.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 8. döngü sonunda, %5.5'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-10 beton örneklerin 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. döngülerde sırasıyla %0.7, %0.8, %0.3, %0.5, %1.1 ve %0.7 ağırlık artışı olurken, 7. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %2.7'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-20 beton örneklerin 1., 2., 3. ve 4. döngülerde sırasıyla %1.1, %1.2, %0.7 ve %1.0 ağırlık artışı olurken, 5. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.

#### 4.SONUÇLAR (CONCLUSION)

Sülfat etkisi beton ve betonarme elemanların hizmet süreleri göz önüne alındığında çok kısa sürelerde betonda deformasyona neden olan kimyasal bir olaydır. Betonun sülfattan etkilenmesi geçirimsizliği ile doğrudan ilgilidir. Yapılan çalışmada beton karışım suyuna ilave edilen fazla su beton bünyesinde boşlukların artmasına ve betonun daha geçirimli olmasına neden olmuştur. Boşluk miktarı fazla ve geçirimli olan betonların sülfattan etkilenme hızları da artmaktadır. %5 sülfat konsantrasyonu ile daha kısa sürelerde betonda oluşacak yıkımı görmek amacıyla yapılan bu çalışmada gerçekleştirilen on çevrim ıslanma-kuruma döngüsü sonucunda C20/25 dayanım sınıfında referans örneklerde %4 civarında ağırlık kaybı olurken su miktarının artmasıyla birlikte ağırlık kayıp miktarı da artmaktadır. Beton örneklerin ıslanma-kuruma çevriminde ortalama 3-4. çevrimden sonra ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir. Karışım suyunun % 100 arttırılması durumunda 9. ve 10. çevrimde beton örnekler tamamen deforme olmuştur. Beton dayanım sınıfının artışı ile birlikte sülfatın betonlar üzerindeki etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Beton üretimi yapılırken karışım hesabında belirlenen optimum su miktarı üzerinde su ilave edilmesi veya eksiltilmesi durumunda beton basınç dayanımının yanı sıra diğer mekanik özelliklerin de olumsuz etkilendiği görülmüştür. Ayrıca su miktarındaki değişimin sülfat etkisine karşı direnci azalttığı da gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı beton üretimi yapılırken veya yapıldıktan sonra döküm esnasında karışım hesabında belirlenen su miktarının arttırılmaması ve eksiltilmemesi önerilmektedir.

İleride su miktarının arttırılması veya azaltılması ile alakalı çalışma yapacak araştırmacılara, karışım suyu miktarının arttırılmasıyla betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı diğer korozif etkilere karşı durabilite özelliklerinin araştırılması önerilmektedir.

**REFERANSLAR**

- [1] Al-Akhras N.M. (2006). Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, 36, 1727–1734.
- [2] Al-Amoudi O.S.B. (1997). Sufate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Building and Environment*, 33, 53- 61.
- [3] Neville A. (2004). The confused world of sulfate attack on concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 1275–1296.
- [4] Nehdi M. and M. Hayek (2005). Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity. *Cement and Concrete Research*, 35, 731–742.
- [5] Ilıca, T., 2008, Farklı Çimentolarla Üretilen Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirimsizliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- [6] Kılınç K., Uyan M. (2003) Beton karışım suyundaki sülfat tuzlarının çimento harcı özelliklerine etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 393-402.
- [7] Postacıoğlu, B.,1986, Bağlayıcı Maddeler Cilt-1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- [8] Özturan, T., 1993, Uluslararası IV. CANMET-ACI Betonda Uçucu Kül, Silis Dumanı, Cüruf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, Türkiye, pp. 57-78.
- [9] Lee S.T., Moon H.Y., Hooton R.D. and J.P. Kim (2005). Effect of solution concentrations and replacement levels of metakaolin on the resistance of mortars exposed to MgSO<sub>4</sub> solutions. *Cement and Concrete Research*, 35, 1314–1323.
- [10] Irrasar F. and O. Batic (1989) Effect of low calcium fly ash on sulfate resistance of OPC cement. *Cement and Concrete Research*, 19, 194-202.
- [11] Lawrance C.D. (1992) The influence of binder type on sulfate resistance. *Cement and Concrete Research*, 22, 1047-1058.
- [12] Bonen D. (1993) A microstructural study of the effect produced by magnesium sulphate on plain and silica fume bearing portland cement mortars. *Cement an Concrete Research*, 23, 541-553.
- [13] Türker F., Aköz F.,Koral S. and N. Yüzer (1997) Effects of magnesium sulfate concentration on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume. *Cement and Concrete Research*, 27, 205-214.
- [14] Biricik H., Aköz F., Türker F. and Berktaş İ. (2000) Resistance to magnesium sulfate and sodium sulfate attack of mortars containing wheat straw ash. *Cement and Concrete Research*, 30, 1189-1197.
- [15] Bekem Kara, İ. ve Kara, C., Farklı Kimyasal Katkılar ile Üretilen Betonlar Üzerinde Magnezyum Sülfat ve Sodyum Klorür Etkisinin Araştırılması, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, vol. 6, no. 4, pp. 117–125, Dec. 2016.
- [16] Tikalsky, P. J. ve Carrasquillo, R. L.. 1992, Influence of FlyAsh on the Sulfate Resistance of Concrete, *ACI Materials Journal*, 89, pp. 69-75.

## Krank Kasnağında Kullanılan Kauçuk Bileşenin Hızlandırılmış Test Yaklaşımı İle Yorulma Ömrünün Tahmin Edilmesi

Cihangir Kaplan<sup>1\*</sup> , Ömer Faruk Ünal<sup>1</sup> , Cem Güleç<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kentpar Otomotiv, Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye.

\*cihangir.kaplan@kentpar.com.tr

### Özet

Kauçuk, otomotiv endüstrisinin başta olmak üzere birçok mühendislik uygulamasında titreşim sönümleyicisi olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda burulma titreşimini sönümlemek için kullanılan krank kasnağının en önemli bileşeni kauçuktur. Bu kauçuk bileşenin yardımıyla krank kasnakları ayarlandığı burulma frekansında burulma titreşim genliğini düşürmektedir. Böylece krank mili ömür dayanımı arttırmaktadır. Krank kasnağının görevini uzun ömürlü bir şekilde gerçekleştirmesi için kauçuk dayanım ömrü oldukça önemlidir. Otomotiv endüstrisinde oluşturulan regülasyonlara göre krank kasnağı dinamik dayanım ömrü yaklaşık 10-20 milyon çevrimdir. Bu çalışmada krank kasnağında kullanılan kauçuk bileşenin dinamik dayanım ömrü hızlandırılmış test yaklaşımıyla burulma doğal frekansına bağlı olarak belirlenmiştir. Seçilen bir krank kasnağının birinci atalet kütesinin kauçuk formu referans alınıp özgün bir kauçuk numunesi üretilmiştir. Bu kauçuk numunesi, krank kasnağında oluşan burulma titreşimini simüle edebilmek için kendi doğal frekansında ve belirlenmiş genliklerde kaymaya maruz bırakılmıştır. Bunun için özel bir krank biyel test sistemi tasarlanmıştır. Kauçuk kayma numuneler test sistemi üzerinde 1, 1.5, 2, ve 2.5 mm genliklerde testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları genlik ve frekansa bağlı ömür tahminleri deneysel verilerden yararlanarak oluşturulmuştur. Tahmin modelinden elde edilen veriler ile çevrim sayısının genliğin bir fonksiyonu olacak şekilde logaritmik/üstsel bir eğri bulunmuştur. Eğrinin fonksiyonu  $9.0103e^{(-0,352x)}$  bu şekilde elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Krank Kasnağı, Kauçuk, Hızlandırılmış Test, Kauçuk Ömür Tahmini

## Estimation of Durability Life of Rubber Component Used in The Torsional Vibration Damper with Accelerated Testing Approach

### Abstract

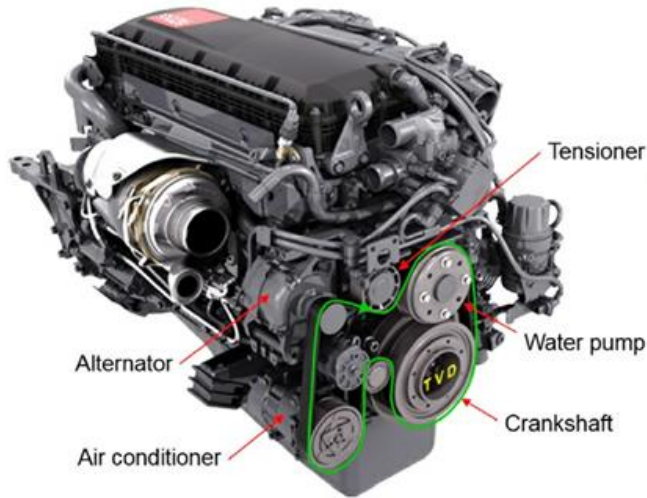
Rubber is used as a vibration damper in many engineering applications, especially in the automotive industry. The most important component of the torsional vibration damper used to absorb torsional vibration in internal combustion engines is rubber. With the help of this rubber component, the torsional vibration dampers reduce the torsional vibration amplitude at the torsional resonancel frequency at which it is adjusted. Thus, the crankshaft life increases the endurance. The durability of the rubber is very important for the torsional vibration damper to perform its task in a long-lasting manner. According to the regulations created in the automotive industry, the dynamic endurance life of the torsional vibration damper is approximately 10-20 million cycles. In this study, the dynamic endurance life of the rubber component used

in the torsional vibration damper was determined with the accelerated test approach depending on the torsional resonance frequency. A unique rubber sample was produced by taking the rubber form of the first inertial mass of a selected the torsional vibration damper as reference. This rubber sample has been subjected to shifting at its natural frequency and specified amplitudes in order to simulate the torsional vibration occurring in the torsional vibration damper. For this, a special crank connecting rod test system was designed and tests were carried out on this system. Finally, amplitude and frequency dependent life estimates were created by using experimental data. The working performance of the created prediction model is discussed.

**Keywords:** Crankshaft Pulley, Rubber, Accelerated Test, Durability Life of Rubber

## 1. GİRİŞ

Krank kasnakları, krank millerinde düzensiz piston patlamalarından meydana gelen burulma titreşimlerini azaltan ve aynı zamanda aktarma organı olarak görev yapan bir motor elemanıdır. İçten yanmalı motorlarda, krank milinde birden çok tipte titreşimler oluşmaktadır. Bu titreşimler arasında en kritik olanı burulma titreşimidir. İçten yanmalı motorlarda burulma titreşimi kaynaklı oluşan bu problemlerin önüne geçilebilmesi için krank kasnağı kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile krank kasnaklarının sönüm kabiliyetleri artmış ve farklı tiplerde sönüm elemanı kullanılan krank kasnakları ortaya çıkmıştır [1]. Bu farklı tiplerine rağmen krank kasnağının ana amacı burulma titreşim genliğini kabul edilebilir seviyelere indirmektir. Burulma titreşim damperi poly-V kayış ile klima, kompresör, su pompası ve alternatör gibi motor ön düzeneklerinde bulunan kasnaklara aktarılır [2].



Şekil 1. Motor ön düzeneginin gösterimi [2]

Krank kasnaklarının çalışma ömürleri otomotiv endüstrisinde belirlenen regülasyonlara göre belirlenmektedir. Bu regülasyonlara göre krank kasnaklarından beklenen ömür dayanımı 10 ile 20 milyon arasında değişmektedir. Krank kasnaklarının ömür dayanımı aynı zamanda kauçuk elemanın ömür dayanımıdır. Kauçuk, titreşim sönümlenme özelliğinden otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kauçuk ömür tahminleri için bazı deneysel modeller önerilmiştir [3]. Krank kasnaklarının ömür dayanımındaki en önemli parametre rezonans frekansıdır. Kauçuğun belli çevrimlerde çalıştıktan sonra rezonans frekansının değişmesi krank kasnağı çalışma performansını doğrudan etkilemektedir. Krank kasnağı rezonans dayanım testi yüksek çevrim sayılarından dolayı oldukça uzun sürmektedir. Bu uzun sürelerin önüne geçmek için hızlandırılmış test yaklaşımları kullanılarak ömür tahmini yapılabilmektedir. Bu hızlandırılmış test metotları krank kasnağına özgün bir şekilde



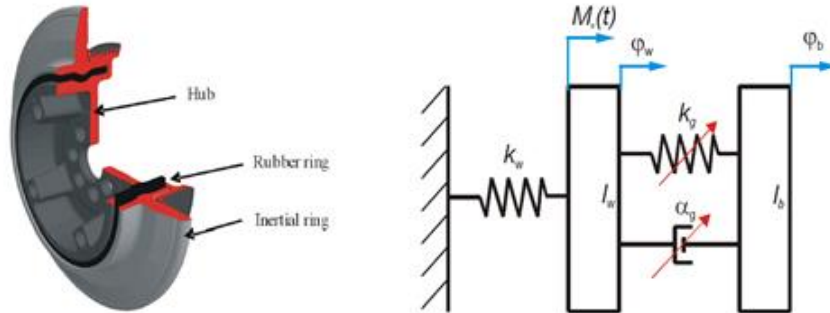
hazırlanabilmektedir. Bu çalışmanın ana amacı da krank kasnağına özgün bir hızlandırılmış test yaklaşımı sunmaktır.

Bu çalışmada krank kasnağında kullanılan kauçuk bileşeni dinamik dayanım ömrü hızlandırılmış test yaklaşımıyla burulma doğal frekansına bağlı olarak belirlenmiştir. Seçilen bir krank kasnağının birinci atalet kütesinin kauçuk formu referans alınıp özgün bir kauçuk numunesi üretilmiştir. Bu kauçuk numunesi, krank kasnağında oluşan burulma titreşimini modellemek için kendi doğal frekansında ve belirlenmiş genliklerde kaymaya maruz bırakılmıştır. Bunun için özel bir krank biyel test sistemi tasarlanmış ve testler bu sistemde gerçekleştirilmiştir. Son olarak genlik ve frekansa bağlı ömür tahminleri deneysel verilerden yararlanarak oluşturulmuştur. Oluşturulan tahmin modelin çalışma performansı tartışılmıştır.

## 2. KRANK KASNAĞI DİNAMİĞİ

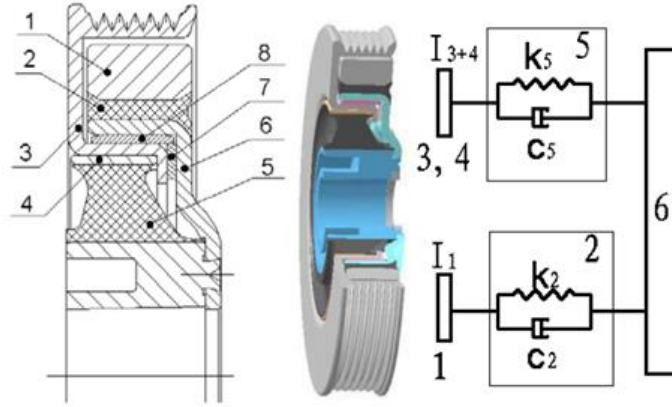
### 2.1 Krank Kasnağı

Krank kasnakları, krank mili burulma titreşimlerini azaltmak için kullanılmaktadır. Krank milinin dönme sırasında oluşan burulma titreşimleri sisteme zara vermekte ve yorulmalara sebep olmaktadır [2]. İçten yanmalı motorlarda kullanılan krank kasnaklarında dinamik eleman olarak genelde elastomer malzeme kullanılmaktadır. Elastomer malzemeli krank kasnakları kompakt bir yapı içinde bir veya birden çok frekans hedef alacak şekilde tasarlanabilir ve bu tasarıma göre tek modlu, iki modlu çok modlu gibi isimlendirirler. Tek modlu krankları krank mili ucuna monte edilmiş bir göbek, orta kısmında elastomer ring ve hareketin iletilmesi için kanallı bir yapıya sahip olan dış halkadan oluşmaktadır.



Şekil 2. Tek modlu krank kasnağının şematik gösterimi [4]

Şekil 3’de iki modlu kauçuklu bir krank kasnağı görülmektedir. İki modlu kasnak aynı zamanda iki tek modlunun paralel bağlanmasından oluşur. 6 numaralı parça bir göbektir ve göbek krank miline bağlıdır. Parça 3 (kanallı) ve parça 4 birbirine sıkı geçmiştir ve birinci atalet kütesini oluşturur. Parça 5 ve atalet kütesi (3,4) tek modlu sönümleyicisi oluşturur. Parça 7 ve Parça 8 PPS (Polifenilen Sülfid), teflonlu veya metal malzemelerden oluşan parçalardır. Göbeğe (6) temas eden bu iki parçanın (7,8) temas yüzeyleri göreceli hareket edebilir. İkinci atalet kütesi (flaş), (1) ve parça 2 (elastomer) ikinci tek modlu sönümleyiciyi oluşturur [5].

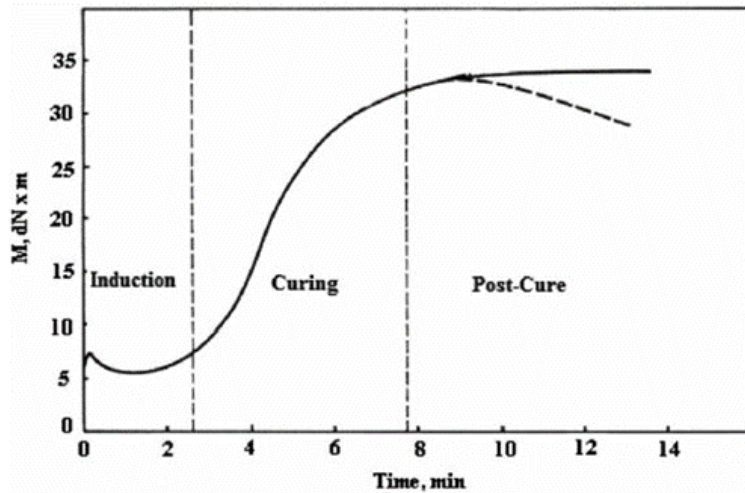


Şekil 3. İki modlu krank kasnağının şematik gösterimi [5]

## 2.2 Krank Kasnağında Kauçuk

Tek ve çok modlu krank kasnaklarının doğru çalışması; krank mili burulma rezonans frekansına göre ayarlanması için dinamik karakteristiğinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Dinamik karakteristiği belirleyen en önemli bileşen ise kauçuk elemandır. Kauçuk, uzay ve havacılık, makine, otomotiv ve savunma sanayiinde yaygın olarak titreşim çözümlerinde kullanılan bir malzemedir. Krank kasnaklarında birden fazla kauçuk türü kullanılmaktadır. Doğal kauçuk (NR), etilen propilen dien kauçuk (EPDM), nitril kauçuk (NBR) ve stiren bütadien kauçuk (SBR) gibi kauçuk türleri kullanım yerlerine göre değişmektedir [6]. Krank kasnakların rezonans frekansı sönümlenmesinde kullanılan kauçukta sürekli çalışma sıcaklığı, düşük deformasyon, yağa dayanımı ve mekanik (kopma mukavemeti, kopmada uzama, elastikiyet, yırtılma direnci, sürtünmeye dayanım) gibi özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

Krank kasnaklarında dinamik karakteristiğinin belirlenmesinde kauçuk elemanın ana etken olmasından dolayı, kürlenme karakteristiğinin dinamik özelliklerin belirlenmesinde doğrudan belirleyici bir rolü vardır. Kauçuk malzemelerde kürlenme, optimum süre ve sıcaklıklarda kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak (çapraz bağlanma reaksiyonu) kauçuğun istenilen elastik özellikleri kazanmasıdır. Kauçuk kürlenme karakteristiğinin belirlenmesinde kürlenme eğrisinden faydalanılmaktadır. Standartlara uygun şekilde hazırlanan kauçuk numunenin, belirlenen sıcaklıktaki iki plaka arasında basınç ile sıkıştırılarak sinüzoidal bir salınımla zorlanması ve kayma gerilmesine maruz kalmasıyla zamana karşı tork değeri elde edilir. Şekil 4’de kauçuk numunesine yapılmış tipik bir kürlenme eğrisi görülmektedir.



Şekil 4. Kauçuk kürlenme eğrisi [7]



Kürlenme eğrisinde bazı önemli parametreler hem kauçuk kalıplama prosesinde hem de kauçuk dinamik özelliklerinin öngörülmesinde belirleyici olmaktadır. Bu parametreler sırayla ML, MH, t90, ts1'dir. ML ve MH sırasıyla minimum ve maksimum torktur. MH aynı zamanda kauçuktaki katılığı temsil eder. Nihai üründe, özellikle krank kasnağı gibi dinamik karakteristiğın kalıplama süresi ile etkilendiğı ürünlerde kürlenme süresinin belirlenmesi oldukça kritiktir [8].

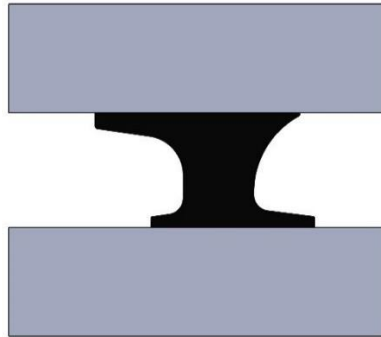
### 3. KRANK KASNAKLARINDA ÖMÜR TESTİ

Krank kasnağı krank miline doğrudan bağı olarak çalışan dinamik bir parçadır. Krank milinde düzensiz patlamalarla meydana gelen burulma titreşimleri krank kasnağı ile absorbe edilir. Krank milinin kritik hızına (kritik burulma frekansı) göre tasarlanan ve o frekansta sönüm gerçekleştiren krank kasnaklarının ömür dayanımlarından en önemli parametre rezonans frekansıdır. Krank kasnaklarının çalışma koşullarında rezonans frekansının  $\pm$  %5 oranından daha fazla değışmemesi beklenir. Bunun için krank kasnağı çalışma koşulları test sisteminde uygulanır. Krank kasnağı rezonans frekansında belirli burulma genliklerinde 10-20 milyon çevrim arasında çalıştırılır. Yüksek çevrimlerde test süreleri çok uzun olduğundan dolayı endüstriyel uygulamalarda hızlandırılmış test yaklaşımıyla test süreleri düşürülmelidir. Bunun için, krank kasnağında kullanılan kauçuk kesitine uygun numuneler üretilerek bu numunelere doğal frekanslarında kayma gerilmesi uygulanır. Bu kayma gerilmesi krank kasnağından kauçuk elemanının burulmasına eşdeğerdır. Böylece numune üzerinden elde edilen çevrime bağı ömür eğrisi, çevrime bağı krank kasnağı ömür eğrisi tahminlerinde kullanılabilir.

#### 3.1 Kauçuk Numunelerin Hazırlanması

Yapılan literatür araştırmaları ışığında, kauçuk ömür tahminlerinde birçok metot kullanılmaktadır. Bu metotlarla birlikte nümerik yaklaşımlar kullanılarak sonlu elemanlar analiziyle ömür tahminleri yapıldığı gibi ömür parametresi belirlenerek parametrik yaklaşımlarla kurulan ömür tahmin modelleri de kullanılmaktadır. Bu kapsamda çevrim sayısı, bir parametrenin fonksiyonu olarak belirlenmekte ve bu parametrenin kauçuk ömrünü etkileyen diğere bir parametreye karşı (genlik, sıcaklık, frekans vb.) değışimi ile ilişkilendirilmektedir. Parametrik yaklaşımlar ile kurulan modellerde, deney sonuçlarına göre elde edilen katsayılarla, kauçuk ömür tahmini belirlenen parametreye göre (örn. genlik) tespit edilebilmektedir. Hızlandırılmış test prosedürü, oluşturulan bu ömür modeli ile test kısıtlarıyla beraber belirlenen ömür parametresine bağı toplam enerji kaybının eşit tutulması ilkesine göre oluşturulmaktadır.

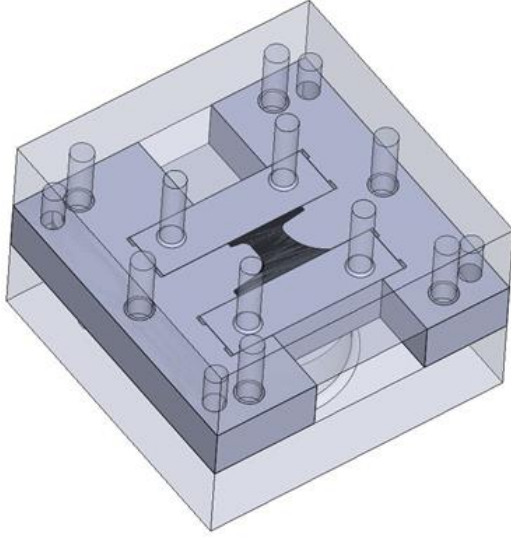
Numune tasarımı, iki metal parça arasında hedef ürün krank kasnağının birinci atalet kütlelerinde kullanılan kauçuk kesit tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de kauçuk kesit tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 5. Kauçuk-Metal numune tasarım görünümü

Numuneler, birinci atalet kütlelerinde içerisinde bulunan NR 55 Shore A kauçuk malzeme ile seçilmiştir. Kauçuk için yukarıda bahsedilen kürlenme grafiğı elde edilmesi için reometre testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre kürlenmenin tam gerçekleşmesi hedeflenmektedir. Böylece gereğinden fazla

kürlenme sonucunda mekanik özellik artışı veya azalışı önlenmiş olmakta, kauçuk beklenen dinamik özelliklere ulaşmaktadır. Kürlenme eğrisinden elde edilen parametreler, kauçuk kalıplama ve kauçuk dinamik özellikleri için belirleyici öneme sahiptir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak kompresyon kalıbı ile kauçuk-metal numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 6 ve 7’de gösterilmektedir.



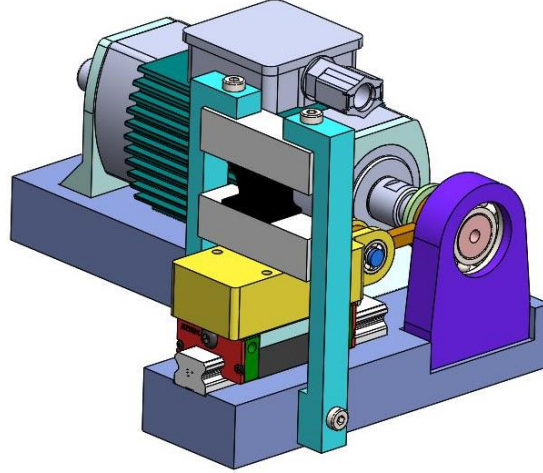
Şekil 6. Numune kompresyon kalıp tasarımı



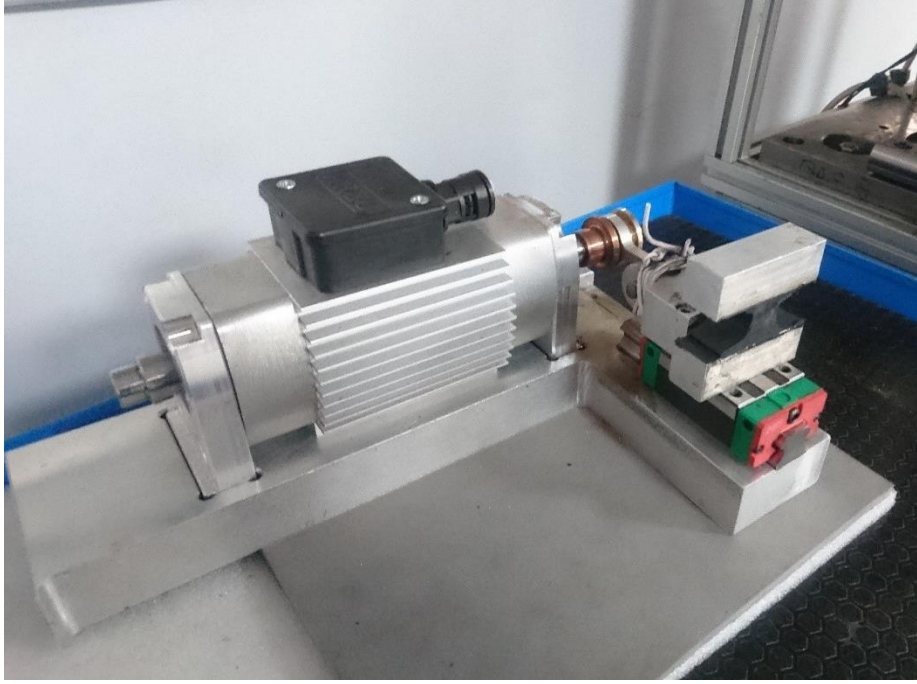
Şekil 7. Üretimi gerçekleştirilen numuneler

### 3.2 Hızlandırılmış Test Düzenine Hazırlanması

Kauçuk numuneler için hazırlanan test düzeneği Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu test düzeneğine göre krank biyel mekanizması maksimum 50 Hz’e kadar tahrik edilebilmektedir. Bu tahrik Spindle motor ile gerçekleştirilmektedir. Düzeneğin üstüne montajlanan numunenin kayma gerilmesine maruz bırakılması için üst tarafından da sabitlenmiştir. Böylece numune kaymaya maruz bırakılır. Numune doğal frekanslarının ölçümü tek eksenli ivme (model) ve modal çekiç (model) kullanılarak ölçülmüştür. Tek eksenli ivme ölçer ağırlığı ihmal edilebilir seviyededir. Ayrıca genliğin etkisinin incelenmesi için 1, 1.5, 2 ve 2.5 mm deplasmanlarında kayma zorlaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Hızlandırılmış Test Düzenegi



Şekil 9. Numune Test Görünümü

Numunelere ömür testi aşağıdaki prosedür izlenerek uygulanmıştır:

- Numune doğal frekansı darbe çekiç testiyle ölçülür.
- Motor numune doğal frekansında sürülür.
- Her 1 milyon çevrimde bir doğal frekans ölçülmüştür.
- 5 milyon çevrimde test sonlandırılmıştır.
- Yukarıdaki işlemler her bir genlik için tekrar uygulanmıştır.

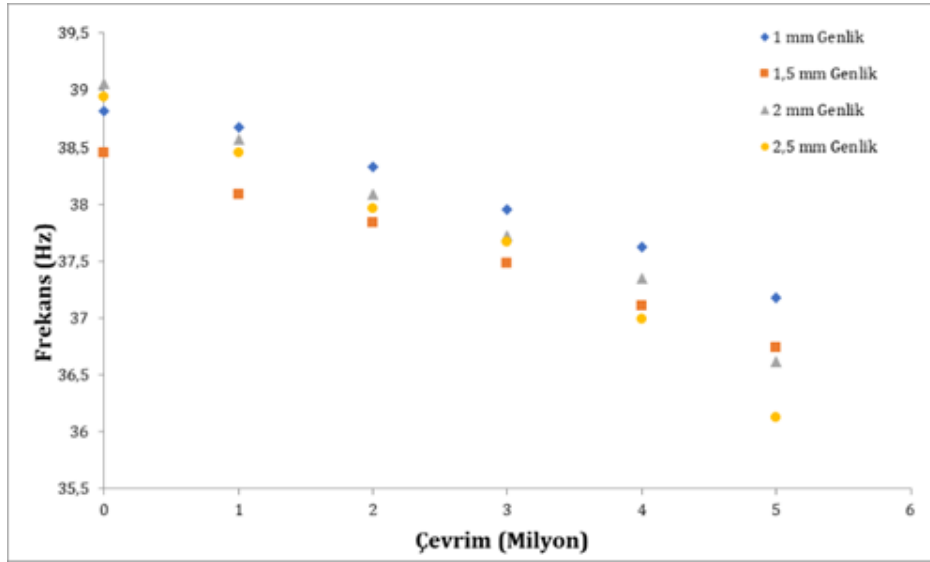
Yapılan doğal frekans ölçümlerinde frekansın değişim oranı deplasmana göre çevrime bağlı olarak incelenmiştir.

### 3. HIZLANDIRILMIŞ TEST PROSEDÜRÜNE GÖRE KAUCUK ÖMÜR TAHMİNİ

Kauçuk ömür tahmini için geliştirilen deney düzeneği ve hazırlanan numuneler ile sistemik bir çalışma yapılarak parametrik bir yorulma fonksiyonu ve buna bağlı olarak hızlandırılmış dayanım test prosedürü oluşturulmuştur. Bu oluşturulan prosedür ile seri testler gerçekleştirilmiştir. Testler için 4 adet numune kullanılmıştır. Numunelerin ilk doğal frekansları ve genliğe göre her bir 1 milyondaki doğal frekansları Tablo 1 de verilmiştir. Ayrıca genliğe bağlı frekans değişimi grafiği Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 1. Frekans-çevrim ilişkisi

	1 mm	1.5 mm	2 mm	2.5 mm
İlk Frekans	38.82	38.45	39.06	38.94
1 milyon	38.67	38.09	38.57	38.45
2 milyon	38.33	37.84	38.09	37.96
3 milyon	37.95	37.48	37.72	37.67
4 milyon	37.62	37.11	37.35	36.99
5 milyon	37.17	36.74	36.62	36.13

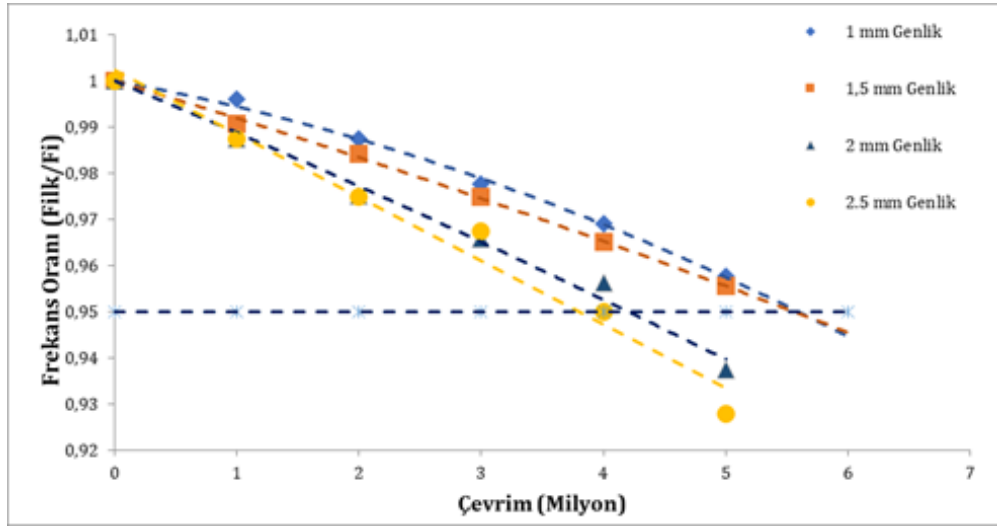


Şekil 10. Frekans-çevrim grafiği

Krank kasnaklarında dayanım, kauçuk malzemenin karakteristiğinin değişimine bağlı olarak doğal frekansın değişimiyle ifade edilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada da çevrim sayısı ile frekansın değişimi incelenmiştir. Numune üzerinde yapılan testler sonucunda frekansın çevrim sayısı ile değişimi aşağıdaki şekil 11 ve tablo 2'de gösterilmektedir. Grafikten de görüleceği üzere çevrim sayısı ile birlikte doğal frekansın düşme eğiliminde olduğu, zorlama genliğinin artmasıyla birlikte düşme eğiliminin daha fazla olduğu net olarak görülebilmektedir.

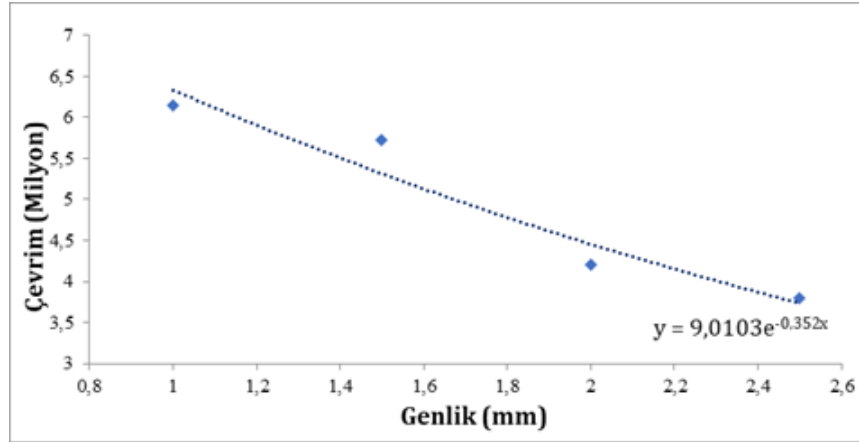
Tablo 2. Frekans oranı-çevrim ilişkisi

İlk Frekans	1	1	1	1
1 milyon	0.9961	0.9906	0.9875	0.9874
2 milyon	0.9874	0.9841	0.9752	0.9748
3 milyon	0.9776	0.9748	0.9657	0.9674
4 milyon	0.9691	0.9651	0.9562	0.9499
5 milyon	0.9578	0.9555	0.9375	0.9278



Şekil 11. Frekans oranı-çevrim grafiği

Kauçuk malzemenin hızlandırılmış yorulma dayanımı karakteristiğini elde etmek için yukarıdaki grafik kullanılarak parametrik bir fonksiyon elde edilmiştir. Frekans değeri (frekanstaki düşme) dayanımın bir ölçüsü olarak verildiği için bu grafikte yatay olarak çizilen eğri eşdeğer yorulma dayanımını ifade etmektedir. Görüldüğü gibi bu yatay eğri farklı genliklerde yapılan testleri farklı noktalarda, diğer bir deyişle farklı çevrim sayılarında kesmektedir. Bu kesişim noktalarındaki sayısal değerler alınarak aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere zorlama genliği ile eşdeğer zorlama çevrim sayısı arasındaki ilişkiyi gösterilen grafik çizilmiştir.



Şekil 12. Çevrim-genlik grafiği

Grafikten görüldüğü üzere, genliğin artışı ile yorulma dayanımı arasında doğrusal olmayan bir ilişki gözlenmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar da göz önüne alınarak, elde edilen veriler üzerinden çevrim sayısının genliğin bir fonksiyonu olarak ifade edecek şekilde logaritmik/üstsel bir eğri uydurulmuş ve bu eğrinin fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$N = f(A) = 9.0103e^{(-0,352x)} \quad (1)$$



Bu fonksiyon kullanılarak numuneler için gerçekleştirilmesi düşünülen hızlandırılmış testler planlanabilir. Örneğin, testlerin hedeflenen yorulma dayanımı için  $\pm 1$  mm genlikte gerçekleştirilmesi planlanıyor ise numunenin 6.336.764 çevrim zorlanması gerekmektedir. Bunun yerine aynı numune  $\pm 2$  mm genlikte zorlandığında gerekli çevrim sayısı 4.456.520 olmaktadır. Diğer bir ifadeyle, planlanan bu %29,67 kadar hızlandırılabilir.

#### 4. SONUÇ

Krank kasnaklarında rezonans dayanım testleri 10-20 milyon çevrim sürelerinden dolayı oldukça uzun sürmektedir ve endüstriyel uygulamalarda bu uzun test sürelerinin azaltılması test maliyetleri ve enerji kullanımı açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, krank kasnağı hızlandırılmış dayanım test prosedürü oluşturulmuştur. Bu test prosedürü oluşturulurken krank kasnağı kauçuk kesiti referans alınmış ve buna uygun numuneler üretilmiştir. Bu numuneler krank biyel sistemiyle çalışan bir test düzeneğinde doğal frekansında kayma zorlamasına bırakılmıştır. Kayma zorlaması krank kasnağında kauçuk elemanın burulmasına eşdeğerdir. Oluşturulan test prosedürüne göre numunelerin farklı genliklerde (1, 1.5, 2 ve 2.5 mm) test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar için önce çevrime bağlı farklı genlikler için frekans oranı-çevrim ilişkisi kurulmuştur. Bu ilişkide, oluşturulan eğrilerin kabul edilebilir frekans oranına ( $\pm$  %5) çekilen sınır doğrusuyla kesişim noktalarındaki çevrim sayıları belirlenmiştir. Belirlenen çevrim sayılarına göre, genliğe bağlı yorulma çevrim sayısı ilişkisi kurulmuş ve uydurulan eğri üstsel bir fonksiyonlar ifade edilmiştir. Bu fonksiyona göre değişkene girilen genlik miktarı, krank kasnağı burulma frekansının  $\pm$  %5 değiştiği çevrim sayısını verecektir. Çevrim sayısı eğer regülasyonda belirtilen dayanım limitini aşmıyorsa ömür dayanımı kriterinin sağlandığı söylenebilir. Bu modelin çalışma performansının iyileştirilmesi için birçok farklı krank kasnağı kauçuk elemanları test edilmesi ve deney verileri arttırılmalıdır. Buna göre model üzerinde uygun katsayı değişimleri yapılabilir.

#### REFERANSLAR

- [1] Homik, W. (2011). Damping of torsional vibrations of ship engine crankshafts-general selection methods of viscous vibration damper. *Polish Maritime Research*, 18(3), 43-47.
- [2] Silva, C. A. F., Manin, L., Rinaldi, R. G., Besnier, E., & Remond, D. (2019). Dynamics of Torsional Vibration Damper (TVD) pulley, implementation of a rubber elastomeric behavior, simulations and experiments. *Mechanism and Machine Theory*, 142, 103583.
- [3] Zhang, J., Xue, F., Wang, Y., Zhang, X., and Han, S. (2018). Strain energy-based rubber fatigue life prediction under the influence of temperature. *Royal Society Open Science*, 5(10), 180951.
- [4] Homik, W., & Grzybowski, P. (2015). The simulation model of small-dimension rubbery torsional vibration damper. *Vibroengineering PROCEDIA*, 6, 78-82.
- [5] Shanguan, W. B. and Pan, X. Y. (2008). Multi-mode and rubber-damped torsional vibration absorbers for engine crankshaft systems. *International Journal of Vehicle Design*, 47(1-4), 176-188.
- [6] Nagar, A., Chokkalingam, V., Umashankar, N., and Shankar, S. R. (2013). Improvement in crank train torsional vibration (TV) performance of multi-cylinder diesel engine. *SAE Technical Paper*, (No. 2013-01-2777).
- [7] Khimi, S. R., & Pickering, K. L. (2014). A new method to predict optimum cure time of rubber compound using dynamic mechanical analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(6).
- [8] Sommer, J. G. (2009). *Engineered Rubber Products: Introduction to Design, Manufacturing and Testing*. Chapter, 2, 14-24.

## Investigation of Cutting and Ironing Performance of DC04 EN10130 Experimentally and Numerically

Cihangir Kaplan<sup>1\*</sup>, Cem Güleç<sup>1</sup>, Mesut Arıkoğlu<sup>1</sup>, Murat Yalçınkaya<sup>1</sup>, Serkan Toros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kentpar Otomotiv, Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye.

<sup>2</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Niğde, Türkiye.

\*cihangir.kaplan@kentpar.com.tr

### Abstract

Fine blanking is a method used for the manufacture of sheet metal parts with narrow dimensional tolerances and where the cutting surface quality is desired to be much superior compared to conventional cutting methods. Sheet material properties and the design of the cutting die, ironing clearance and machining parameters are important factors in fine blanking of metals. In this study, the fine blanking and ironing process for the crank felt made of DC04 EN10130 cold rolled steel quality sheet metal with high impact resistance and strength, which is used in the production of automotive spare parts, was investigated by the finite element method. In the study, the simulation results with a cutting gap of 1, 3, 6 percent and a spinning ratio of 0.5, 7.5%, among the die geometries designed for the target geometry, and the experimental results were in good agreement with each other.

**Keywords:** Sheet Metal Forming, Burr Forming, Clearance, Geometric Tolerance, Ironing

## DC04 EN10130 Kesme ve Ütüleme Performansının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi

### Özet

Hassas kesme işlemi, dar boyutsal toleranslara sahip ve kesme yüzey kalitesinin, geleneksel kesme yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok daha üstün olmasının istendiği sac parçaların imalatı için başvurulan bir yöntemdir. Sac malzeme özellikleri ile kesme kalıbının tasarımı, kesme boşlukları ve işleme parametreleri metallerin hassas kesilmesinde önemli bir faktördür. Bu çalışmada otomotiv yedek parça üretiminde kullanılan, yüksek darbe dayanımına ve mukavemetine sahip DC04 EN10130 kalitesindeki sac mamulden krank keçesi için hassas kesme ve sıvama prosesi sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada hedef geometri için tasarlanmış kalıp geometrilerinden kesme boşluğu %1, 3, 6 ve sıvama oranını da %0, 5, 7.5 olan simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar birbirleri ile büyük oranda uyum göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sac Metal Şekillendirme, Çapak Oluşumu, Boşluk, Geometrik Tolerans, Ütüleme

## 1. INTRODUCTION

Cutting operation in sheet metal forming is widely used in the automotive, aerospace and white goods sectors. Can be performed using hydraulic or eccentric (mechanical) presses for sheet metal materials. Depending on the characteristics of the dies used press, high precision and smooth products can be obtained. Burrs are formed on the surfaces of the products produced with the traditional cutting method. On the cutting surfaces, the rolling zone cutting zone and tearing zones are formed and the characteristics of these areas affect the product quality. In a cutting operation, sheet metal is fixed between the cutting die and the blank holder, and sheet metal is cut with the help of a stapler. Considering a traditional sheet metal cutting method, the stapler pushes the sheet into the die clearance and plastic deformation occurs until the beginning of a crack on the cutting surface. Part is deformed by plastic, by applying force from stapler and the cutting operation is completed with the progression of this crack [1, 2].

Clearance between dies, friction, thickness of materials and staple/die sizes are the main parameters affecting burr formation in trimming/cutting processes [3, 4]. After the cutting die is contacted with the material, the forces affect the size of the sheet metal material burr.

Since the part is separated from the main body by cutting in the first stage of the cutting process, the cutting surface is bright and the surface roughness values are low. In the continuation of the cutting process, the matte is observed in the surface and rough in the ruptured part, since the workpiece is separated from the main material. On the cutting surface, the first crack gives direction. Sheet metal materials produced by traditional cutting method usually have cracks on their surfaces. For this reason, the quality of the cut surface affects the product and the cut surface cannot exceed a certain level [5, 7, 10]. The geometric dimensions in the manufactured part cannot enter narrow tolerance ranges. Therefore, burrs are taken from cut surfaces and it can cause additional costs.

Fine blanking method is a sheet shaping method using high-tech presses and die that allows materials to be cut along their thickness without the need for a second main operation, without allowing any tearing and rupture. Due to these advantages, fine blanking is more preferred in sheet metal processing operations today than other methods [6]. The precision in the geometric dimensions of the products to be produced with fine blanking and the minimum amount of burrs in the cut corners show the advantage of fine blanking.

In the fine blanking method, the sheet is compressed with a high-pressure force between the cutting die (perimeter cutter) and the printing die. The part to be cut is pushed into the die clearance by the stapler and the cutting process is carried out. In fine blanking, the clearance must be less than 1% of the material thickness. Due to the characteristics of fine blanking, it is possible to cut 100% of the material thickness completely and obtain flat and non-plus free surfaces. In the classical cutting method, it is cut with only 30% material thickness. In other parts, rupture occurs [6].

In the fine blanking process, die elements must be of sensitive sizes and rigid structures. The part of sheet metal whose surfaces are compressed under high pressure, forced into plastic flow along a very narrow cutting clearance, exhibits an extrusion-like behavior by being exposed to a high hydrostatic pressure. In this way, the main sheet can be cut along the desired line. Due to plastic deformation caused by slip strain, the cutting surface is bright; surface roughness values are very low. Burrs are often not observe in sheet metal parts manufactured by fine blanking process. In this way, production time and operational costs are greatly reduced.

The size of the cutting clearance depends on the type and thickness of the cut material. As the cutting clearance shrinks, the cut surface becomes smoother. However, when the very small cutting range is left, the power required for cutting is excessive due to increased friction and accumulation. This can cause early blunting of cutting edges or cutting circles, or even breakages in the cutting edges. In the case of large cutting clearance, it causes burrs and high stresses in the sheet metal material to be cut [8]. The clearance of die is the radial distance between the die and punch, the edge is usually characterized by four divisions as shown in Figure 1.



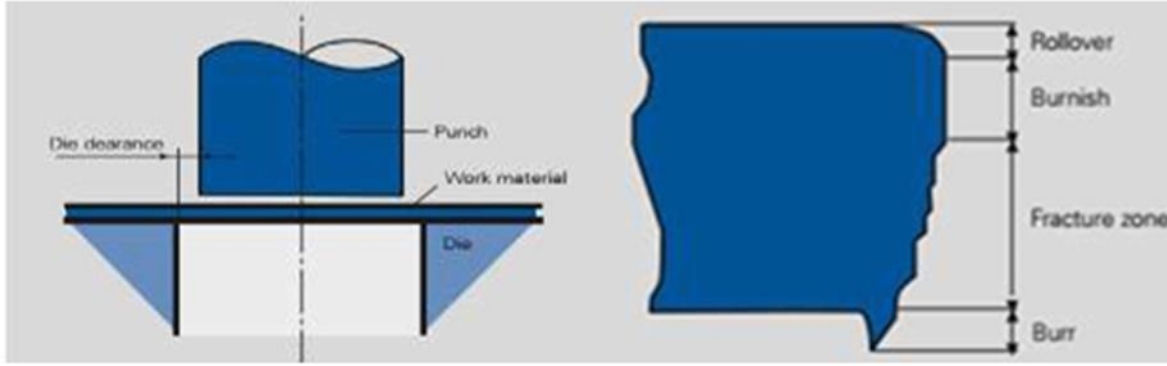


Figure 1. Die Clearance Definition and Appearance of a Cut Edge [9]

Within the scope of this study, the cutting clearance, which is the most important of the fine blanking process parameters of DC04 EN10130 sheet metal widely used in the manufacturing industry, was examined experimentally and numerically. The dimensional tolerances formed in the corner parts of the part were examined.

## 2. MATERIALS AND METHODS

DC04 EN10130 sheet metal material, which is in high demand in the manufacturing sector, is a cold rolling product and is frequently used in the white goods sector in the automotive sector. Chemical components of DC04 EN10130 material shaped in designed dies for the study are given in table 1. It has significant advantages in the forming tribality of the material, which is the basic alloying element C.

Table 1. Chemical Composition of DC07 EN10130 Cold Rolled Steel

<b>C (wt%)</b>	0.063
<b>Si (wt%)</b>	0.009
<b>Mn (wt%)</b>	0.249
<b>P (wt%)</b>	0.011
<b>S (wt%)</b>	0.009
<b>Cr (wt%)</b>	0.037
<b>Ni (wt%)</b>	0.03
<b>Cu (wt%)</b>	0.073
<b>V (wt%)</b>	0.001

Figure 2 displays the flow curve obtained at a tensile speed of 25 mm/s of sheet metal with a thickness of 0.8 mm and other mechanical properties of the material are given in table 2.

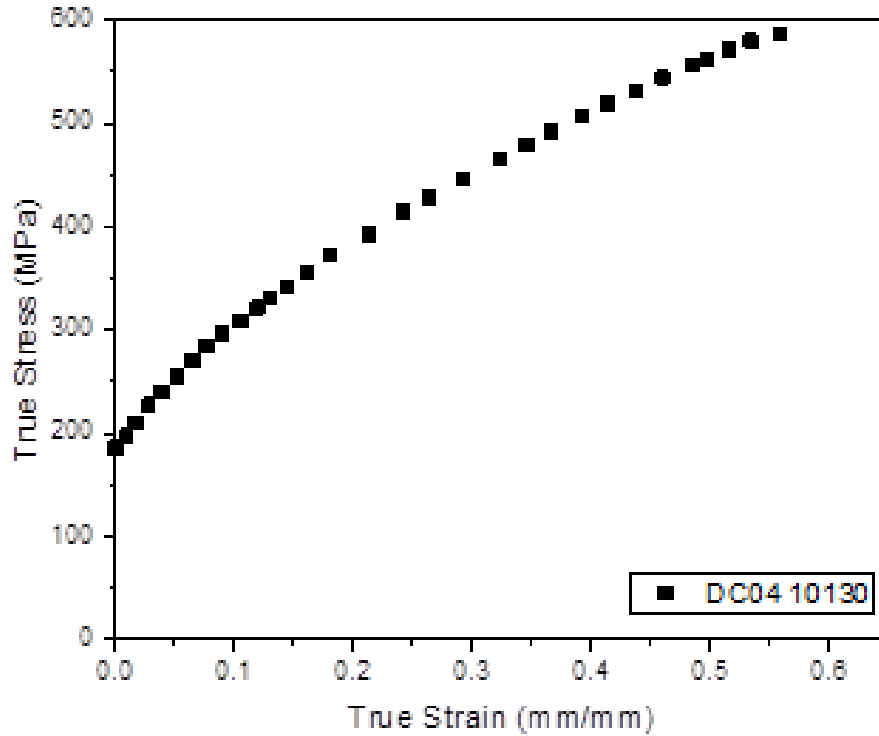


Figure 2. Flow Curve of DC04 EN 10130

Table 2. Mechanical Properties of DC04 EN 10130 Cold Rolled Steel

Material	DC04 EN10130
<b>E (MPa)</b>	185000
<b><math>\sigma_{0.2}</math> (MPa)</b>	186
<b><math>\sigma_{UTS}</math> (MPa)</b>	332.7
<b>K (MPa)</b>	657
<b>n</b>	0.31
<b>R<sub>0</sub></b>	1.85
<b>R<sub>45</sub></b>	1.25
<b>R<sub>90</sub></b>	2.25

Within the scope of the study, a die system containing different cutting clearance and ironing rates for 0.8 mm DC04 EN 10130 sheet material is shown in figure 4. According to the parameters determined here, deviation rates are determined numerically according to the geometric tolerances of the workpiece after the forming process. In forming simulations, the cut clearances are selected as 1, 3, 6% and the ironing rates are selected as 0, 5, 7.5%.

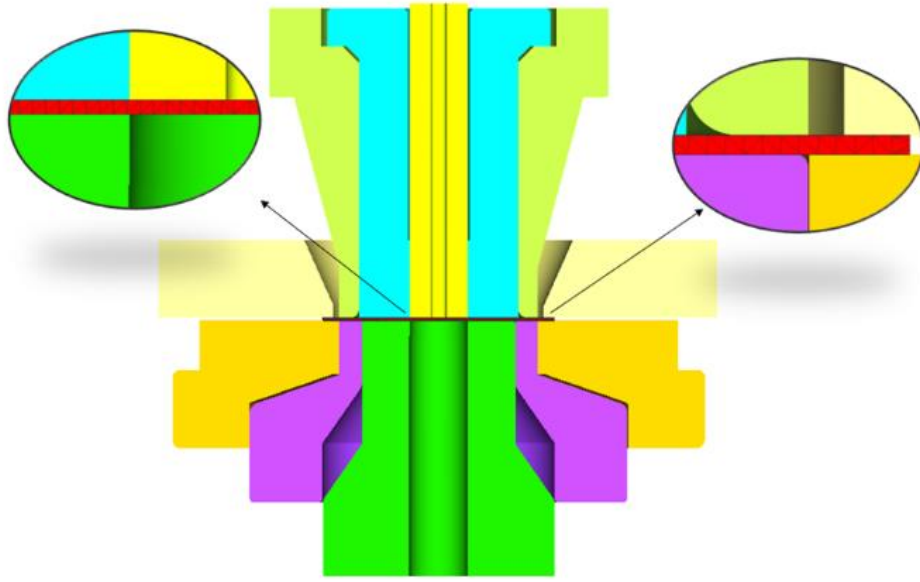


Figure 3. Cutting and Ironing Die System View

Simulations of cutting and ironing operations were carried out using the Sheet Metal Forming module of commercially available Simufact (MSC Software) program. Die elements in the system are considered rigid. Surface interactions between die elements and sheet metal material are modeled according to the Coulomb Law. According to this law, the friction coefficient 0.1 was used in the analysis. In the finite element's analysis model, the temperatures of the media, sheet/workpiece and die parts are taken at 20 °C. Adiabatic warm-ups caused by plastic deformation and temperature increases caused by friction and its effects on the mechanical behavior of sheet metal material were ignored. Damage model used in the FE analysis was carried out using the normalized Cockroft-Latham perch material refractive mechanics model and the relevant model is given in equation 1 [11].

$$\int_0^{\varepsilon_f} \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{eff}} \cdot \varepsilon_{eff}^{pl} dt \geq C \quad (1)$$

In simulations, one of the important tool that is used to calculate the stress state of the materials is the yield function. In the study, quadratic Hill 48 anisotropic yield function is used, and the related formulation in the three-dimensional stress state is given in equation 2.

$$2f(\sigma_{ij}) \equiv F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2M\tau_{zx}^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1 \quad (2)$$

Here  $f$  is the flow function, and  $F, G, H, L, M, N$  are the anisotropic parameters which can be calculated via Lankford parameters. In the case where the prime axes of the tensor coincide with the anisotropic axes ( $\varepsilon_x = \varepsilon_1, \varepsilon_y = \varepsilon_2, \tau_{xy} = 0$ ), the Hill-48 flow criterion is given in equation 2, which is given due to principal stresses.

In the simulations, as hardening curve, Hockett-Sherby mathematical model is defined due to the performance on the prediction of the stresses. The related parameters of the model and fitted curve is

depicted in Fig. 4. Hockett sherby equation equation 3 is shown. The data to be used in the analyzes are given in Table 3.

$$\sigma_f = b - (b - a).e^{-m.\varphi^n} \tag{3}$$

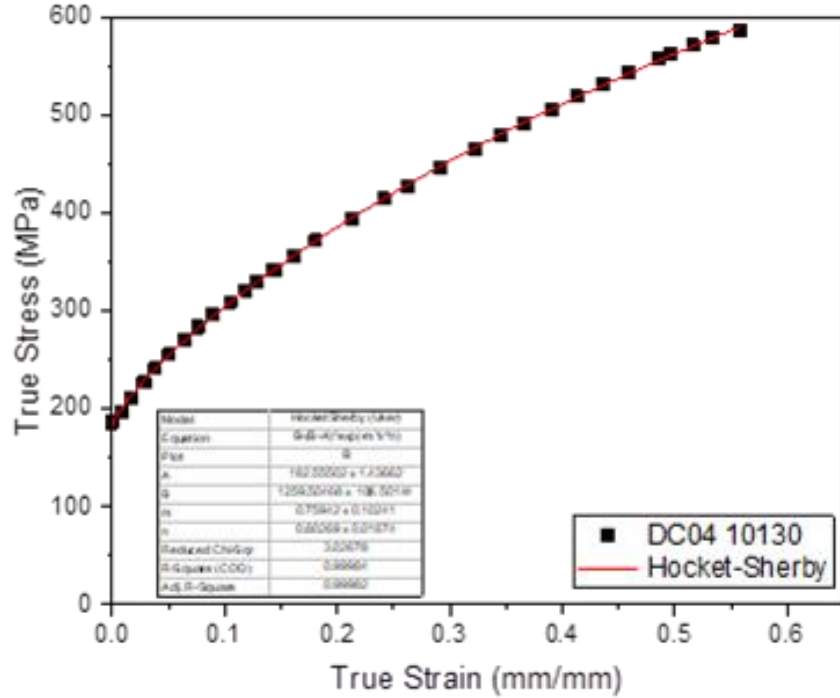


Figure 4. Hockett-Sherby Flow Curve Model

Table 3. Hockett-Sherby Constants

<b>a (MPa)</b>	186
<b>b (MPa)</b>	1358.89
<b>m</b>	0.92761
<b>n</b>	0.78547
<b>φ</b>	2

Figure 5 shows the mesh structure of the workpiece to be produced in the cutting and ironing die system. The mesh type of the workpiece quadtree was determined and the element type quads (10) was used. In this way, the workpiece had 16082 elements. Refinement boxes mesh has been added to the surfaces where the cutting will be made. Thus, mesh structure was provided more dense in that area due to the visualize the burr formation.

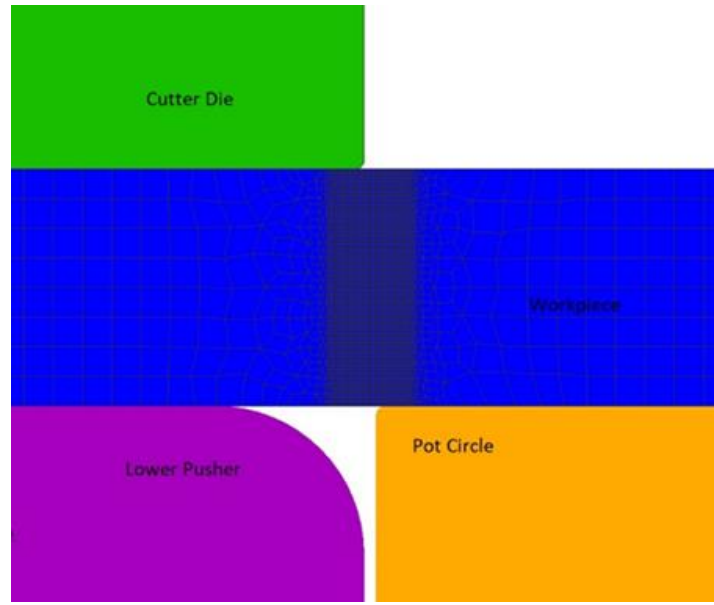


Figure 5. Workpiece Mesh Structure View

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, numerical analyses were performed using Simufact Forming finite element program for the cutting and spinning operations of DC04 EN 10130 material. The parameters of the damage mechanism required for the simulation of the cutting process were determined. For sheet material, which is an automotive spare part product, the cutting clearance and ironing ratio of the die were decided. The technical drawing of the sheet metal part to be produced is shown in figure 6.

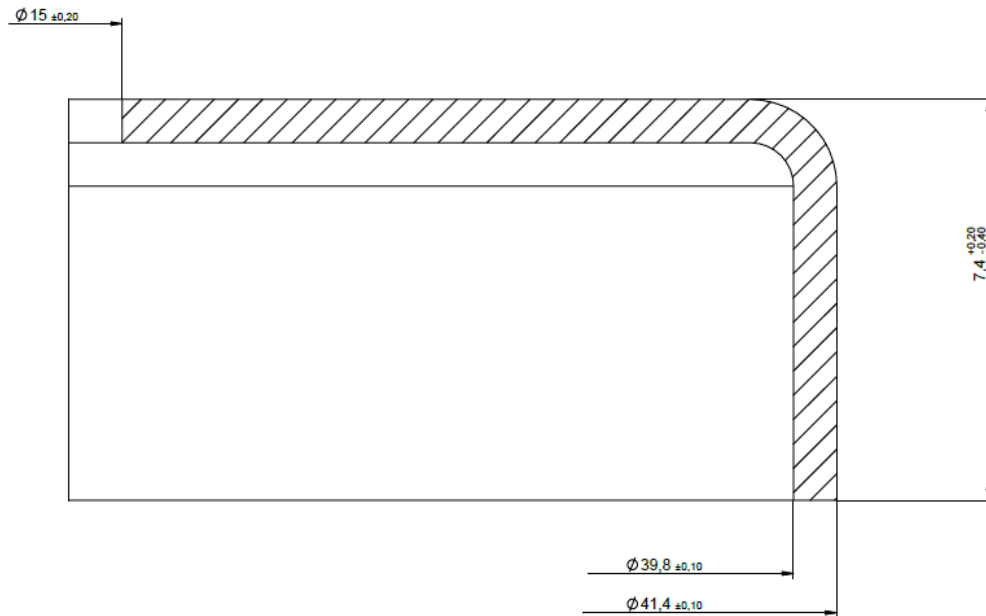


Figure 6. Technical Drawing

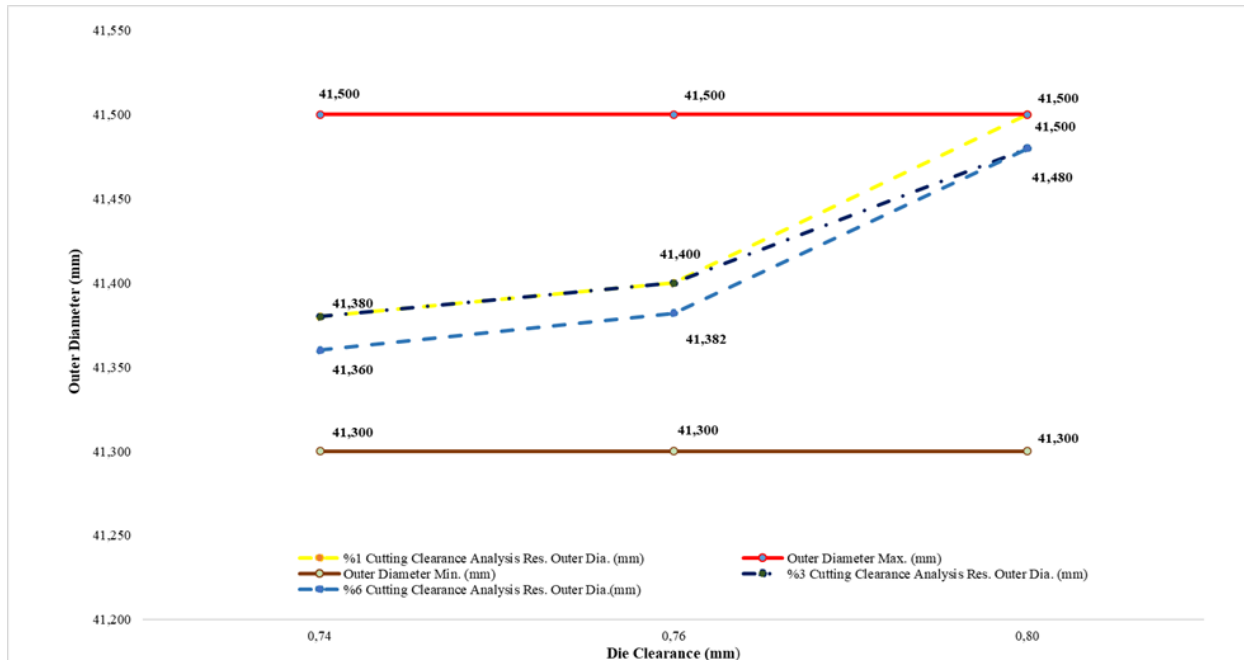


Figure 7. Outer Diameter Dimensions According to Cutting and Die Clearance

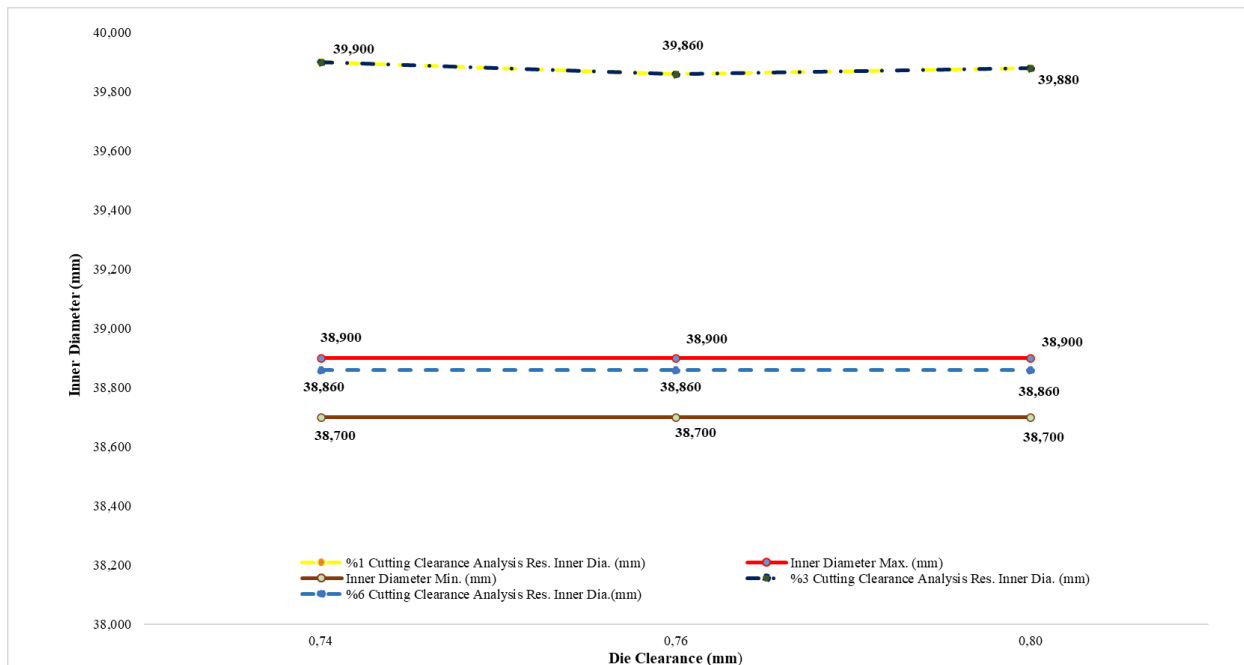


Figure 8. Inner Diameter Dimensions According to Cutting and Die Clearance

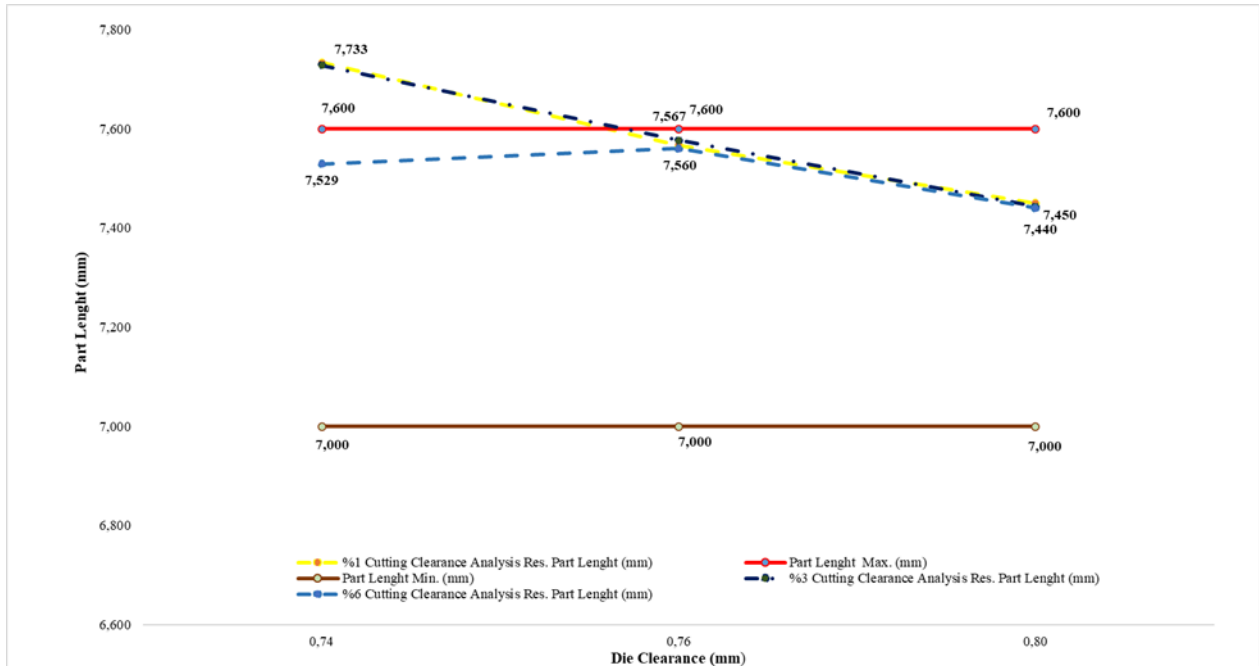


Figure 9. Part Length According to Cutting and Die Clearance

According to the obtained results from the finite element simulations, the critical regions of the formed part are measured and compared with the technical drawing measurements. As can be seen from the fig.7, the predicted outer diameter of the formed part is compatible with the dimensional tolerances of the technical drawing. However, for the inner diameter and the part length predictions, among the studied cases, 7.5% ironing rate and 6% cutting clearance is only satisfactory with desired geometry.

Besides the geometrical compatibility of the simulation, burr formation and cutting surface features on the cutting region are also investigated in this study. Most of the original part manufacturers aims to have limited burrs on their parts and these expectations enforce the part and die designers. In Fig 10. the cutting surface structure are depicted for the 7.5% ironing rate and 6% cutting clearance. In addition, the related features for other conditions are also tabulated in Table 3.

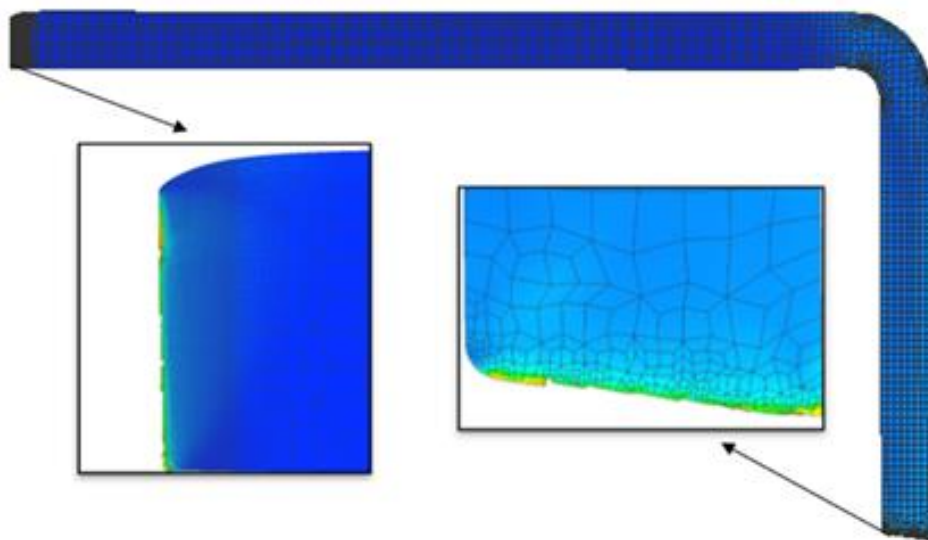


Figure 10. Cutting Surface

Table 3. Cutting Surface Angles

Cutting Clearance	Die Clearance		
	%7.5 Die Clearance	%3 Die Clearance	%0 Die Clearance
%1 Cutting Clearance	5.530°	7.860°	9.389°
%3 Cutting Clearance	5.180°	7.250°	9.178°
%6 Cutting Clearance	4.632°	6.894°	8.996°

As can be seen from the table, the angle on the cutting surface increases with Die Clearance which is related with the ironing effect, and decreases with the Cutting clearance. For all ironing conditions, the angle of the cutting surface has the minimum value for the 6% cutting clearance. The manufactured dies according to the aforementioned dimensions of the tools give good results with the simulations. The experimentally manufactured parts' cutting surfaces for %7.5 Die clearance and 6% Cutting clearance has 4.42° wall angle. The simulation results show well agreement with the experimental results.

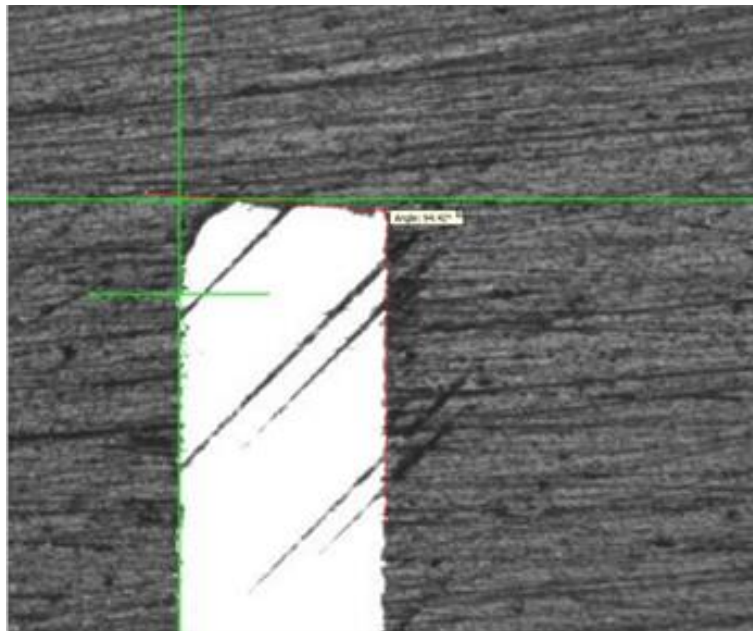


Figure 11. Wall Angle



### 3. CONCLUSIONS

In this study, DC04 EN10130 cold rolled steel material, which has a very important place for the automotive industry, was used. In the studies, 3 different cutting and spinning operations of DC EN10130 cold rolled steel material were carried out and its geometrical measurements were examined. The simulation of the cutting and spinning operations of the sheet material was analyzed using the Sheet Metal Forming module of the MSC Simufact program. Consequently, the following results have been accomplished:

- The cutting angle of the produced sheet material was found to be  $4.42^\circ$ . When the analysis of the die system with 0.74 mm spinning and 6% cutting gap was examined, an angle value of  $4.63^\circ$  was obtained. In this way, 95.2% accuracy was obtained with the analysis program.
- When the analysis of the die system, which has 7.5% spinning and 6% cutting clearance, is examined, it has remained within geometric tolerances in terms of inner diameter, outer diameter and length.
- It has been determined that as the cutting gap increases, the cutting surface angle decreases.
- It has been observed that the inner diameter values increase as the cutting clearance decreases.

### REFERENCES

- [1] Mucha J. (2010). An Experimental Analysis of Effects of Various Material Tool's Wear on Burr During Generator Sheets Blanking, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(5-8), 495-507.
- [2] Schmidt R. A., Birzer F., Höfel P., Reh B., Hellman M., Rademacher P., Hoffmann H. (2007). *Cold Forming and Fineblanking, A Handbook*, Buderus Edelstahl Bad GmbH, Feintool Technologies AG Lyss, Hoesch Hohenlimburg GmbH, Unternehmensgruppe CD Walzholz GmbH und Co. KG, Germany.
- [3] Aravind U., Gopalakrishnan C. K., Uday, C., Venugopal P. (2017). The Effect of Using Rubber For Applying Counter Force in Fine Blanking of AISI 304 Stainless Steel, *Procedia engineering*, 207, 1523-1527.
- [4] Zhuang X., Ma S., Zhao Z. (2017). A Microstructure-Based Macro-Micro Multi-Scale Fine-Blanking Simulation of Ferrite-Sementite Steels, *International Journal of Mechanical Sciences*, 128, 414-427.
- [5] Liu Y., Hua L., Mao H., Feng W. (2014). Finite Element Simulation of Effect of Part Shape on Forming Quality in Fine-Blanking Process, *Procedia Engineering*, 81, 1108-1113.
- [6] Sorgenfrei A. R. (1997). *Finite Element Modeling of Fine Blanking: Towards Supervisory Control of The Production Process*, Michigan Technological University.
- [7] Gu J., Kim H., Shih H. C., Dykeman J. (2018). Effects of Blanking Conditions to Edge Cracking in Stamping of Advanced-High Strength Steels (AHSS) (No. 2018-01-0626), *SAE Technical Paper*.
- [8] Rustamov F. (2009). Hassas kesmeyi etkileyen konstrüksiyon parametreleri.
- [9] Saier A. A. E. (2021). Theoretical and Experimental Investigation of Punching Process of DP800 Automotive Steel Sheet With Different Punch Tips.
- [10] Levy B. S., Van Tyne C. J. (2012). Review of The Shearing Process For Sheet Steels and Its Effect on Sheared-edge Stretching, *Journal of materials engineering and performance*, 21(7), 1205-1213.
- [11] Bao Y., Wierzbicki T. (2004). On Fracture Locus in The Equivalent Strain and Stress Triaxiality Space, *International Journal of Mechanical Sciences*, 46(1), 81-98.