

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL GERİLME ALTINDAKİ İZOTROPİK İKİLİ MALZEMENİN GERİLME
ŞİDDET KATSAYISI ANALİZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞEGÜL ALTUNTAŞ

HAZİRAN 2017

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL GERİLME ALTINDAKİ İZOTROPİK İKİLİ MALZEMENİN GERİLME
ŞİDDET KATSAYISI ANALİZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül ALTUNTAŞ

DANIŞMAN: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

ZONGULDAK

Haziran 2017

KABUL:

Ayşegül ALTUNTAŞ tarafından hazırlanan “Termal Gerilme Altındaki İzotropik İkili Malzemenin Gerilme Şiddet Katsayısı Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 29.06. / 2017

Danışman: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Yrd. Doç. Dr. Fatmagül KOLTUK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Senih GÜRSES

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

03.07/2017

Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."



Ayşegül ALTUNTAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMAL GERİLME ALTINDAKİ İZOTROPİK İKİLİ MALZEMENİN GERİLME ŞİDDET KATSAYISI ANALİZİ

Ayşegül ALTUNTAŞ

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet YETMEZ

Haziran 2017, 53 sayfa

Yapılan bu tez çalışması araldite ve çelikten oluşan on bir adet ikili malzeme numunesi üzerinde yapılmıştır. İlk olarak malzemeler üzerinde darbe testi yapılmış ve malzemenin dinamik parametreleri (ω , ξ , x) elde edilmiştir. İkinci olarak üç farklı sıcaklıkta (28°C, 35°C ve 50°C) malzeme üzerine yük uygulayarak oluşan gerinimler bulunmuştur. Daha sonra numuneler MARC nümerik analiz programında modellenmiş ve termal gerilmeler altında malzemenin ilk üç modunun frekans değerleri elde edilmiştir. Gerekli eşitlikler kullanılarak K_I ve K_{II} gerilme şiddeti faktörleri de bulunmuştur.

Sonuç olarak da statik ve dinamik deneylerden elde edilen sonuçlar ile nümerik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gerilme şiddet katsayısı (K), Dinamik parametreler, İkili malzemeler

Bilim Kodu: 625.03.01



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

STRESS INTENSITY COEFFICIENT ANALYSIS OF ISOTROPIC BINARY MATERIAL UNDER THERMAL STRESS

Ayşegül ALTUNTAŞ

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet YETMEZ

June 2017, 53 pages

This thesis study was carried out on eleven samples of binary material consisting of araldite and steel. Firstly, impact tests were performed on the materials and dynamic parameters (ω , ξ , x) of the material were obtained. Secondly, stresses were found by applying loads on the material at three different temperatures (28° C, 35° C and 50° C). Then the samples of the numerical analysis program MARC modeled and frequency values of the first three modes of the material under thermal stress were obtained. K_I and K_{II} stress intensity coefficient were also found using the necessary equations.

As a result, numerical analysis results were compared with results obtained from static and dynamic experiments.

Keywords: Stress intensity coefficient (K), Dynamic parameters, Binary materials

Science Code: 625.03.01



TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında ilgisi ve sabrıyla bana destek olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet YETMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlık aşamasından sonuçlanana kadar bana her türlü destekte bulunan Merve Nur ANILMIŞ ve Evren MİYANYEDİ'ye de teşekkür ederim.

Ayrıca hayatta her konuda en büyük destekçim olan sevgili annem Fatma ALTUNTAŞ'a ve sevgili babam Alaattin ALTUNTAŞ'a ve kardeşlerime de bana inandıkları için ayrıca minnet ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
1.1 İKİLİ MALZEME	1
1.1.1 Yüzey Ön İşleme.....	3
1.1.2 İkili Malzemeler İçin Birleştirme Metodları	3
1.1.2.1 Yapışkanlı Bağlama	4
1.1.2.2 Mekanik Birleştirme.....	5
1.1.2.3 Kaynak Bağlantısı	6
1.2 MODAL ANALİZ	7
1.2.1 Deneysel Modal Analiz.....	9
1.2.2 Operasyonel Modal Analiz	12
1.3 GERİNİM ÖLÇÜM TEKNİĞİ	13
1.3.1 Strain Gauge (Gerinim Ölçer) ile Ölçüm Yapmak	13
1.3.1.1 Strain-gage Parametreleri	14
1.3.1.2 Test Parametreleri	14
1.3.2 Wheatstone Köprüsü.....	14
1.4 SONLU ELEMANLAR METODU	16
1.4.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Avantajları	18
1.4.2 Gerilme Şiddet Katsayısının Sonlu Elemanlar Metodu ile Hesaplanması.....	18
1.5 ÇALIŞMANIN AMACI.....	20

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 2 MATERYAL VE METOD	21
2.1 KULLANILAN MALZEMELER.....	21
2.2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
2.2.1 Statik Analiz.....	23
2.2.2 Dinamik Analiz	24
2.3 SAYISAL ÇALIŞMALAR	25
BÖLÜM 3 SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMA	27
3.1 DENEYSEL SONUÇLAR.....	27
3.1.1 Statik Analiz Sonuçları	27
3.1.2 Dinamik Analiz Sonuçları.....	28
3.1.2.1 Zaman Boyutundaki Sonuçlar	28
3.1.2.2 Frekans Boyutundaki Sonuçlar	44
3.2 SAYISAL SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Darbe testinin şematik gösterimi	11
Şekil 1.2 Çeyrek Wheatstone köprü devresi.	15
Şekil 1.3 Yarım Wheatstone köprü devresi.....	16
Şekil 1.4 Tam Wheatstone köprü devresi.....	16
Şekil 1.5 Dairenin Çevresinin Sonlu Elemanlar Yaklaşımı ile Bulunması	17
Şekil 1.6 Kuvvet etkisinde oluşan kırılma modları	19
Şekil 2.1 İkili malzeme numunesinin ölçüleri.....	21
Şekil 2.2 Numunelere strain-gage uygulama noktaları	22
Şekil 2.3 Termokupl ve numunelere uygulama noktaları.	22
Şekil 2.4 ENDA ETC9420 Termostat.....	23
Şekil 2.5 Gerinim ölçüm cihazı ve numune bağlantısının gösterimi.	24
Şekil 2.6 9 düğüm noktalı düzlemsel gerinim elemanı.	25
Şekil 2.7 Marc sonlu elemanlar programı ile tasarlanan modelin genel görünümü.....	26
Şekil 3.1 Plastik bölgenin üç farklı yük durumu için sıcaklığa bağlı gerinim değerleri.	27
Şekil 3.2 1. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	28
Şekil 3.3 1. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	29
Şekil 3.4 1. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	29
Şekil 3.5 2. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	30
Şekil 3.6 2. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	30
Şekil 3.7 2. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	31
Şekil 3.8 3. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	31
Şekil 3.9 3. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	32
Şekil 3.10 3. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	32
Şekil 3.11 4. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	33
Şekil 3.12 4. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	33
Şekil 3.13 4. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	34
Şekil 3.14 5. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	34
Şekil 3.15 5. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 3.16 5. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	35
Şekil 3.17 6. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	36
Şekil 3.18 6. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	36
Şekil 3.19 6. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	37
Şekil 3.20 7. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	37
Şekil 3.21 7. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	38
Şekil 3.22 7. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	38
Şekil 3.23 8. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	39
Şekil 3.24 8. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	39
Şekil 3.25 8. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 3.26 9. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 3.27 9. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil 3.28 9. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	41
Şekil 3.29 10. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil 3.30 10. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	42
Şekil 3.31 10. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil 3.32 11. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil 3.33 11. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil 3.34 11. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil 3.35 İlk üç modun sıcaklıkla frekans değişimleri.	45
Şekil 3.36 İlk üç modun sıcaklıkla sönümlleme katsayısı değişimi.	46
Şekil 3.37 İlk üç modun sıcaklıkla x değişimi.	46
Şekil 3.38 Malzemenin üç modunun frekans değerlerinin deneysel ve sayısal karşılaştırması.....	47
Şekil 3.39 Termal gerilmeler altındaki K_I değerleri.	48
Şekil 3.40 Termal gerilmeler altındaki K_{II} değerleri.	48
Şekil 3.41 1. Modun maksimum gerilmesi.	49
Şekil 3.42 1. modun minimum gerilmesi.	49
Şekil 3.43 1. modun kayma gerilmesi.	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Mod I ve Mod II için çatlak ucunda oluşan şekil değiştirme alanı	20
Çizelge 2.1 Malzemelerin mekanik özellikleri.	24
Çizelge 3.1 Deneysel analizler ile ilk üç mod için elde edilen frekans değerleri.....	44





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

K	: Rijitlik matrisi
ω	: Frekans
M	: Kütle matrisi
x	: Frekans tepki fonksiyonu
F	: Frekans etki fonksiyonu
H	: Frekans davranış fonksiyonu
G	: Güç spektrum yoğunluğu
ϵ	: Gerinim
γ	: Kayma gerinimi
τ	: Kayma gerilmesi
E	: Elastisite modülü
ν	: Poisson oranı
σ	: Gerilme
Y	: Geometrik şekil faktörü
a	: Çatlak ucunluğu
μ	: Kayma modülü
Y	: Geometrik şekil faktörü
α	: Termal genleşme katsayısı
ρ	: Yoğunluk
T	: Sıcaklık
ξ	: Sönümleme katsayısı
K	: Gerilme şiddet katsayısı
K	: Gerilme yığılma katsayısı
g	: ivme
Hz	: Hertz

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

MPa	: Megapascal
GPa	: Gigapascal
$\mu\epsilon$	: Microstrain
N	: Gerilme yığılma katsayısı
cm^3	: Gerilme yığılma katsayısı
C	: Santigrat
°	: Derece
g	: Gram
s	: Saniye

KISALTMALAR

DMJ	: Farklı Materyal Katılma
EMA	: Deneysel Modal Analiz
FOA	: Frekans Ortamında Ayrışım
FRF	: Frekans Yanıt Fonksiyonu
GMAW	: Gaz Metal Ark Kaynağı
PAW	: Plazma Ark Kaynağı
SAB	: Stokastik Altalan Belirleme
SMAW	: Korumalı Metal Ark Kaynağı
TIG	: Gaz Tungsten Ark Kaynağı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mühendislik malzemelerinden meydana getirilmiş tasarımların analizinde statik ve dinamik yöntemler günümüzün en genel yaklaşım metodlarıdır. Bu metodlar içeriğinde deneysel, sayısal ve analitik çözümleri içermektedir. Bu tür tasarımlarda farklı iki malzemenin temas yüzeyleri mevcut ise, gerilme/gerinim konsantrasyonlarından dolayı çözüm yöntemleri zorlaşmaktadır. Gerilme/gerinim yığılması sebebiyle ortaya çıkan hesaplama zorluğu, genel olarak, sonlu elemanlar yöntemi tercih edilerek aşılmaktadır.

1.1 İKİLİ MALZEME

Tasarım mühendisleri, daha yaratıcı tasarımlara ihtiyaç duydukları için, farklı malzemeleri bir araya getirme ihtiyacı ile giderek daha fazla karşılaşmaktadırlar. Bazen bir parçanın bir bölgede çok yüksek sıcaklıklara direnç göstermesi gerekirken başka bir bölgede iyi korozyon direncine ihtiyacı vardır. Bu da mühendisleri farklı özelliklere sahip malzemeleri bir araya getirmeye yönlendirmektedir. Yapılar, bir bölgede sağlamlık veya aşınma direnci, başka bir yerde yüksek mukavemete ihtiyaç duyabilirler. Daha farklı özelliklere sahip malzemelerle katılma becerisinin geliştirilmesi hafif ağırlıklı otomotiv yapılarına yeni yaklaşımlar getirmekte, enerji üretimi için yöntemler geliştirmekte, yeni nesil tıbbi ürünler ve tüketici cihazları yaratmakta ve diğer pek çok imalat ve endüstriyel kullanıma olanak sağlamaktadır.

Farklı malzemeleri birleştirmek, bileşimde küçük farklılıklar olan aynı malzemeye veya alaşımlara katılmaktan çok daha zordur.

1970 yılından beri, farklı materyal katılma (DMJ) üzerine birçok makale yayınlanmıştır. Bu süre zarfında yapılan DMJ araştırmalarının çoğu, karbon ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelik, nikel, bakır ve alüminyum alaşımları gibi endüstride en yaygın olarak kullanılan metalik sistemler ile ilişkilendirilmiştir. 1980'li ve 1990'lı yıllardan başlayarak titanyum alaşımları,

seramikler, polimerler ve kompozit malzemeleri içeren farklı materyal katılma için yapılan araştırmalar giderek artmaktadır. Bu malzemelerin mühendislik uygulamaları için artan kullanımı, korozyon direnci, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, erozyon direnci veya yüksek sıcaklık mukavemeti için özel performans gereksinimleri nedeniyle artmaktadır.

Farklı iki malzemeyi bir araya getirirken aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

- Malzemelerin kalınlıkları,
- Malzemelerin ergime sıcaklıkları,
- Birleştirme ve kullanım sırasında termal genleşme,
- Gerilmelerin birleştirilmesinde sabitleme ve kısıtlama etkileri,
- Gevrek eklemelere yol açabilecek kırılğan inter-metalik bileşiklerin birleştirme sırasında oluşması,
- Isı ve girdilerin hassasiyetini kontrolünü etkileyebilecek eklem mikro-yapı üzerindeki ısınma ve soğuma hızı etkileri,
- Kaynak ve soğutma esnasındaki gerilmeleri en aza indirmek amacıyla malzemeye ön ve son ısıtma yapılması,
- Birleştirme esnasında kompozit geçiş malzemeleri veya özel dolgu malzemeleri için ihtiyaçlar.

Farklı malzemeler için birleştirme işlemleri aşağıdaki gibi gruplanabilir:

- Füzyon ark kaynağı yöntemleri: Korumalı metal ark kaynağı (SMAW), gaz tungsten ark kaynağı (GTAW veya TIG), gaz metal ark kaynağı (GMAW) ve plazma ark kaynağı (PAW)
- Diğer füzyon kaynak işlemleri: lazer kaynağı, direnç spot ve projeksiyon kaynağı, direnç dikiş kaplaması, flaş küt kaynak, plazma ark ve elektron ışıını kaynağı
- Katı hal birleştirme işlemleri: sürtünmeli karıştırma kaynağı, ultrasonik kaynak, sürtünme ve atalet kaynağı, difüzyon bağlama, patlayıcı bağlama ve rulo kaplama
- Lehimleme ve sert lehimleme
- Yapışkan yapıştırma [1].

1.1.1 Yüzey Ön İşleme

Yapışkan bir birleşimin oluşumundaki ilk aşama, iki tabaka arasında yakın bir ara yüzey temasını sağlamak ve daha sonra ara yüzeyleri boyunca kuvvetli ve kararlı içsel yapışma kuvvetleri kurmak ile ilgilidir. Bu şartları yerine getirmek için, substratlar (kaplama ana malzemesi) genellikle yapışkan uygulanmadan önce bir miktar yüzey işleme tabi tutulmalıdır. Tüm bu yönler yüzeylerin ve yüzey kimyasının yapıştırıcıların kullanımındaki önemini vurgulamaktadır [2].

Yüzey hazırlama, bir yapıştırma işleminin kalitesini yöneten en önemli işlem basamaklarından biridir. Birleşmelerin yapısal yapışkan bağlantısı, polimerin yapışkan yüzeyle mekanik olarak kenetlenmesi veya polimer moleküllerinin metal oksitle kimyasal olarak bağlanmasıyla sağlanır. Farklı yüzeyler arasındaki yapışma mukavemetini ve dayanıklı yapışkan birleşimini geliştirmek için yüzey hazırlığı, yapışkan bağlamadan önce gerekli ön işlemdir. Yapıştırmadan önceki yüzey işleminin doğası, bu etkinin kontrolünde büyük bir etkiye sahiptir. Yüzey ön işleme; yüzey gerilimini artırma, yüzey pürüzlülüğünü artırma, yüzey kimyasını değiştirme gibi çeşitli yollarla alt madde yüzeyini değiştirerek bağ kuvvetini artırır. Yüzey pürüzlülüğünün artırılmasıyla yüzey alanında bir artış meydana gelir ve yapışkan yüzeydeki düzensizliklerin içinde ve çevresinde dolaşarak mekanik bir bağ oluşturur. Yüzey kimyasının değiştirilmesi, örneğin polimer matris kompozitindeki polimer molekülleri ile diğer yapışkan tabaka üzerindeki metal oksit tabakası arasında bir kimyasal bağ oluşturulmasına neden olur.

Sonuç olarak, yüzeyin doğası aynı zamanda bağlamanın kararlılığını da etkiler. Öte yandan, bir polimerik yapışkan / metal bağlantısının dayanıklılığı istikrarlı değildir. 1960'lı yıllarda yapılan ilk çalışmalar, bu bağlantıların sıcak / ıslak koşullarda iyi performans göstermediğini, sık görülen kısa süreli interfaziyal bağ başarısızlığının meydana geldiğini ortaya koymuştur [3].

1.1.2 İkili Malzemeler İçin Birleştirme Metodları

Metal ve polimer malzemeler birleştirmek için; yapışkanlı tutturma, kaynaklama, mekanik tutturma gibi çeşitli bağlantı yöntemleri mevcuttur. Karışık yapılarda metal ve polimerler arasında başarılı ve dayanıklı bir birleştirme sağlamak için tek bir teknikle birleştirilebilir ya da ayrı olarak değerlendirilebilir. Her birleştirme tekniğinin avantaj ve dezavantajları vardır.

1.1.2.1 Yapışkanlı Bağlama

Yapışkanlı tutturma, iş parçaları ve polimerik yapıştırıcı arasındaki moleküller arası kuvvetlerin şekillendirilmesine dayanan katı hal birleştirilmesidir. Yapışkanlı tutturma, kimyasal ve fiziksel reaksiyona uğrayan polimerik kullanılmasını içermektedir. Son yıllarda, hem statik hem de değişen yüklere dayanabilen yüksek mukavemetli ve sağlam yapıştırıcıların gelişimi nedeniyle yapışkan- metal birleşimi önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte yapışkanlı bağlama hasar görebilir ve bu yöntemle yapılan birleştirme hasar görmeden sökülemez. Ayrıca birleştirme yerleri, nem, rutubet ve sıcaklık gibi faktörlerle çevreye zarar verme eğilimi gösterir. Bununla birlikte yapışkanlı birleştirmenin kullanımını sınırlayan en önemli faktör, bu tür birleştirmelerin uzun süreli dayanıklılığını ve güvenilir tahribatsız muayeneyi zorlukları belirlemedeki belirsizliktir. Bir başka kısıtlama ise yapıştırmalı birleştirmelerin mühendislik yapılarına uygulandıklarında anlık olarak başarısız olmasıdır. Yapışkan bağlamadaki iş parçasının yüzey özellikleri birleştirme işleminde önemli bir rol oynar. Yüzey ön işleme sırasında, iş parçalarının yüzey enerjisi artar ancak su teması azalır, yüzey gerilimi artar.

Alın birleştirmelerde tasarım sıkıntısından dolayı mekanik bağlantılar yerine çoğunlukla yapıştırma bağlantıları kullanılır. Bu bağlantı tiplerinde soyulma gerilmelerinden kaçınmak için alın birleştirme yerine daha çok açılı veya kademeli alın birleştirmeleri tercih edilmektedir [4].

Yapışkanlı birleştirmenin avantajları:

- Uygulanması kolay ve ucuz.
- Bağlanacak malzemede delik, çentik vb. olmadığı için gerilme yığılması olmaz.
- Isıl bir işlem içermediği için artık gerilmeler olmaz.
- Hemen hemen her malzemeye uygulanabilir.
- Çok ince veya kalın parçalara aynı kolaylıkla uygulanabilir.
- Gerilmeler her noktada yaklaşık aynı olduğundan, sürekli mukavemette yorulma hasarı riski düşüktür.
- Aynı zamanda sızdırmazlık sağlar.
- Boşluklar kolayca doldurulduğundan aralık ve galvanik korozyon riski yoktur.
- Yüzeyler arası yapıştırıcı dolacağı için hassas tolerans vermeye gerek kalmaz.
- İyi sönüm ve yalıtım özellikleri vardır.
- Mukavemet/ağırlık oranı son derece uygundur.

Yapışkanlı birleştirmenin dezavantajları:

- Çalışma sıcaklığı artarsa (80-120°C) mukavemet düşer. Yeni nesil yapıştırıcılarla sınır çalışma sıcaklığı değeri 450°C' ye kadar çıkmıştır.
- Yüzeyin temizlenmesi özen ve dikkat gerektirir.
- Çekme ve eğilme tipi zorlanmalara karşı mukavemeti iyi değildir.
- Bazı yapıştırıcılarda sertleşme (kür) süresi uzundur.
- Viskoelastik malzemeler olduklarından zaman içinde yaşlanma ve sürünme olayları gözlenebilir.
- Kritik uygulamalar için çok karmaşık gerilme analizleri yapmak gerekir.
- Tahribatsız muayene ile kontrolü kolay değildir.
- Bağlantının ömrü çevre şartlarından etkilenir.
- Bazı solventlere karşı dayanıksız [5].

1.1.2.2 Mekanik Birleştirme

Mekanik birleştirme bağlama yüzeylerini kaynaştırmadan ek sıkıştırma bileşenleri kullanımını içermektedir. Mekanik birleştirme için vidalar ve perçinler gibi sabitleme elemanlarının kullanımına dayanmaktadır.

Mekanik sabitleme özellikleri:

- Sıkıştırma için kullanılan perçinlerin sabitlemeden önce ısıtıldığı, böylece soğumanın ardından perçinlerin büzüştüğü ve bileşenin sıkı bir şekilde sıkıştırılmasına olanak sağladığı,
- Birleştirme işlemi öncesinde, deliklerin delinmesi, vida dişleri yapılması gibi yöntemin gerektirdiği özel mekanik işlemleri

içermektedir [6].

İşlemin basitliğinden dolayı farklı türde mekanik sabitleme bile parçaları birleştirmede en çok kullanılan yöntem olmaya devam etmektedir. Başlangıçta metal parçaları birleştirmek için kullanılan bu yöntem artık plastik-metal parçaların birleşiminde de kullanılmaktadır.

Bununla birlikte mekanik birleştirme artan bileşen ağırlığı ve bağlantı elemanı delikleri etrafındaki gerilmelerin artışı gibi kısıtlamaları beraberinde getirir. Bu da mukavemet

bozulmasına neden olur ve sonunda korozyon ile ilgili problemler yaratmaktadır. Birleşme konfigürasyonları genellikle işleme koşullarına bağlıdır. Bazı durumlarda birleştirme mafsallı montaj sırasında ısı genleşme katsayısındaki uyumsuzluğu tolere edecek şekilde tasarlanabilir. Kenetleme elemanına dik olan düzlemde tam bir hareket özgürlüğüne izin vermek için bağlantılar da yapılabilir. Metalik ve polimerik malzeme arasındaki perçinleme işleminde saç kalınlığı ve alet tasarımı gibi perçinin geometrik parametrelerine ve perçinleme kuvvetine bağlı olduğu görülmektedir [3].

Mekanik birleştirmenin avantajları:

- Farklı malzemelerden oluşan elemanlar mekanik olarak birleştirilebilir,
- Uygulaması kolaydır,
- Sarsıntılara karşı dayanıklı ve emniyetli bir yöntemdir,
- Kristal yapıda bir değişim olmaz. Dolayısıyla malzemede çarpılma meydana gelmez,
- Diğer birleştirme metodlarına göre daha elastik bir bağlantıdır.

Mekanik birleştirmenin dezavantajları:

- Ana malzemedeki perçin delikleri malzemenin mukavemetini azaltır,
- Tasarım açısından ağırlık parametresi oluşur,
- Ancak bindirme bağlantısı mümkündür [7].

1.1.2.3 Kaynak Bağlantısı

Metalden metale olan birleştirmelerde farklı materyallerin kaynaklanması için koruyucu metal ark kaynağı, gaz tungsten ark kaynağı, gaz metal ark kaynağı toz altı ark kaynağı gibi geleneksel kaynak işlemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu birleştirme kaynak yöntemlerinin yüksek enerji girdileri, metalürjik uyumsuzlukla sonuçlanır.

Son gelişen teknolojiler ile benzer olmayan malzemelerin (metal-plastik gibi) kaynaklanmasında lazer kaynağı, ultrasonik kaynak, sürtünmeli punta kaynağı gibi yöntemler kullanılması uygundur. Metalik malzemelerin erime sıcaklığı, polimer malzemelerin erime sıcaklığına kıyasla oldukça yüksektir. Dolayısıyla polimerler metaller erimeden daha önce bozulmaya meyillidir.

Fakat termoset ve termoplastik polimerik malzemeler hem yapışkanla bağlanabilir hem de mekanik olarak tutturulabilir, ancak kaynak sadece termoplastikler üzerinde kullanılabilir. Termosetlerin ve kimyasal olarak çapraz bağlanmış elastomerlerin işlenmesinin, bozunmaya neden olan geri döndürülemez çapraz bağlama reaksiyonu ile vasıflandığından, bu sınırlama vardır, bu nedenle, ısıtma vasıtasıyla yeniden şekillendirilemezler. Diğer taraftan termoplastik ve termoplastik elastomerler birbirine geçen polimer zincirleri arasındaki ikincil Van der Waals ve hidrojen bağlama kuvvetlerinin zayıflaması nedeniyle ısı ile eritilebilir ve yumuşatılabilir [3].

Kaynak bağlantısı avantajları:

- İlave malzeme miktarı çok az olduğu için hafif konstrüksiyonlar elde etmek mümkündür.
- Kaynak bağlantılarının görünüşü düzgündür.
- Kaynak işleminin esnekliği nedeni ile değişiklik ve ilaveler yapmak her zaman mümkündür.
- Nispeten düşük maliyetlidir.
- Zor geometrilerle dahi bağlantı yapmak mümkündür.
- Bağlantı yüksek mukavemetlidir.

Kaynak bağlantısı dezavantajları:

- Genellikle ergime sonucu iç gerilmeler ve çarpılmalar oluşur.
- Ergime-katılma sonucunda iç yapıda değişiklikler söz konusu (gevrekleşme).
- Boyut toleransları bakımından sınırlamalar vardır.
- Her mühendislik malzemesi kaynağa uygun değildir.
- Gerilme giderme tavlaması ilave maliyet getirir [8].

1.2 MODAL ANALİZ

Modal analiz, bir sistemin sönümleme faktörü, mod şekli ve doğal frekansı gibi doğal dinamik özelliklerini belirleme ve belirlenen bu dinamik özelliklerin matematiksel model oluşturmak için kullanılmasıdır [9].

Deneysel modal analiz yönteminin geçmişi demiryolu raylarında oluşan hasarın çekiç darbeleriyle oluşturulan titreşimlerin dinlenilerek belirlenmesine dayanmaktadır ve günümüzde

yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Esasında bu yöntem, yapıya bir etki uygulandığında yapının göstermiş olduğu tepkilerin ölçülmesine dayanmaktadır. Ölçülen etki ve tepki sinyalleri arasındaki bu fonksiyon tüm yapılar için ayırıcı nitelikte olan dinamik parametreleri kapsamaktadır. Modal analiz yöntemi makine parçalarının titreşim analizleri, uçaklardaki titreşim problemlerinin belirlenmesi, yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi gibi birçok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

Yapıların titreşimlere duyarlılığı mekaniğe, özellikle de havacılık, otomotiv, denizcilik, demiryolu ve ağır teçhizat endüstrilerinde en önemli tasarım konusudur. İnşaat mühendisliğinde de önemi giderek artmaktadır; yalnızca yapıların ve yapısal elemanların keskinliği artmakla kalmayıp aynı zamanda trafik nedeniyle dinamik yüklemelerini de arttırmaktadır. Tasarım değerlerinin deneysel olarak doğrulanması, özellikle modal parametreler (öz frekanslar, sönümlleme oranları, mod şekilleri ve modal ölçeklendirme faktörleri), tasarımın ve modelin geçerliliği için gereklidir, bu nedenle yapının emniyet ve servis edilebilirliğini garanti etmektedir [11].

Bir yapının dinamik özellikleri frekansına ve konumuna göre fiziksel olarak ayrılmaktadır. Modal analiz, doğrusal bir zaman-değişmez dinamik sistemin titreşim tepkisinin, doğal titreşim modları adı verilen basit harmonik hareketlerin doğrusal bileşimi olarak ifade edilebilmesine dayanmaktadır. Titreşimin doğal modları dinamik bir sistemin özünde bulunur ve fiziksel özellikleri (kütle, sertlik, sönümlleme) ve bunların mekansal dağılımları ile tamamen belirlenir. Her mod, modal parametreleri açısından tanımlanır: doğal frekans, modal sönüm faktörü ve karakteristik yer değiştirme paterni, yani mod şekli. Mod şekli gerçek veya karmaşık olabilir. Her biri doğal bir frekansa karşılık gelir. Her bir doğal modun genel titreşime katılım derecesi, hem uyaran kaynakların özelliklerine, hem de sistemin mod şekillerine göre belirlenir.

Modal analiz hem teorik hem de deneysel teknikleri kapsar. Teorik modal analiz, kütle, sağlamlık ve sönümlleme özelliklerini içeren bir dinamik sistemin fiziksel bir modeline dayanır. Bu özellikler kısmi diferansiyel denklem formlarında verilebilir.

Hem teorik hem de deneysel modal analiz sonuçta dinamik bir sistemin modal modeline ulaşır. FRF (Frequency Response Function) veya titreşim tepkisi ile karşılaştırıldığında, modal model bir sistemin dinamik özelliklerini açıkça tasvir etmektedir. Bu nedenle, modal analiz

uygulamaları, türetilmiş modal modelin tasarım, problem çözme ve analizi ile yakından ilişkilidir. Teorik modal analiz, modal modeli elde etmek için bir sistemin fiziksel özelliklerinin tanımlanmasına dayanmaktadır. Böyle bir açıklama genellikle sistemin kütle, katılık ve sönümleme matrislerini içerir. Deneysel modal analiz, ölçülen FRF verilerinden veya ölçülen serbest titreşim yanıt verisinden modal modeli elde eder. Modal model türetildikten sonra, bir dizi uygulama yapılabilir. Modal analizin bazı uygulamaları, diğerlerinden daha ileri analizler için bu veriyi kullanırken bazı modal verilerin ölçümden doğrudan kullanılmasını içerir [9].

Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları, her bir yapı için karakteristik özelliğe sahip dinamik parametreler kullanılarak belirlenmektedir. Bu parametreler yapının mevcut yapısal özelliklerine, malzeme özelliklerine, sınır şartlarına ve hasar durumuna bağlı olarak elde edilmektedir [10].

Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları birçok belirsizliği içermektedir. Dinamik yüklerdeki belirsizliklerin yanı sıra dinamik davranışı etkileyen parametrelerdeki belirsizlikler, yapı dinamik davranışının gerçekçi olarak belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Dinamik karakteristikler olarak adlandırılan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranının mevcut yapının özelliklerini yansıtacak şekilde deneysel yöntemler ile belirlenebilmesi, yapı dinamik davranışının daha gerçekçi elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Yapı dinamik karakteristikleri, oluşturulan analitik modellerin doğruluğunun kontrolü ve yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yapının birinci periyot değerine bağlı olarak basitleştirilmiş yaklaşımlar kullanılarak dinamik analizler de yapılmaktadır. Ayrıca yapının modal davranışına bakılarak rijitlik dağılımı ve burulma düzensizliği olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı dinamik karakteristiklerin yapılar üzerinde titreşim testleri yapılmak suretiyle gerçekçi olarak belirlenmesi oldukça önemlidir.

1.2.1 Deneysel Modal Analiz

Yapıların modal parametrelerini (rezonans frekansları, mod şekilleri ve sönümleme) tanımlamak için kullanılan bir prosedürdür. EMA gerçekleştirmek için, yapının farklı noktalarındaki frekans Yanıt Fonksiyonları (FRF) ölçülmelidir. Uyarma kuvvetinin ve yapısal tepki (yer değiştirme, hız veya ivme) ölçümü, FRF'leri tanımlamak için aynı anda ölçülmelidir.

Çok büyük yapılar incelendiğinde, iyi sonuçlar elde etmek pek zor değildir. Bu durumda, normalde uyartım için bir darbe çekiç veya (elektromanyetik) bir çalkalayıcı kullanılır ve kuvvet bir kuvvet sensörü vasıtasıyla yapıya aktarılır. Fakat nispeten küçük ve hafif yapılar (kütle <50 gram) ile sorunlar ortaya çıkar. Ana nedeni, yapının modal özelliklerini değiştiren transdüserler (kuvvet algılayıcısı, ivmeölçer) tarafından yapıya eklenen kütledir [12].

Teorik açıdan bakıldığında, ölçülen frekans tepki fonksiyonlarının bir çalkalayıcı testinden mi yoksa bir darbe testinden geldiği önem taşımıyor.

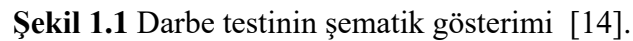
Darbe testi genellikle frekans tepki fonksiyonu matrisinin satırlarından birinin ölçülmesine neden olurken, çalkalama testi genellikle frekans tepki fonksiyon matrisinin sütunlarından birinin ölçülmesine neden olur. Teorik olarak, bir çalkalayıcı testi ve bir çarpma testi arasında hiçbir fark yoktur. Uygulanan kuvvet ile yapı arasında herhangi bir etkileşim olmaksızın bir yapıya saf kuvvetler uygulayabiliyorsam ve yapıyı etkilemeyen kütlesiz bir transdüserle yanıtı ölçebilirsem, o zaman bu doğrudur.

Teorik olarak bir fark olmadığı söylene de pratikte bazı farklılıklar vardır. En belirgin fark, bir çalkalayıcı testi sırasında ivmeölçerlerin fitilinden oluşacaktır. İvmeölçerlerin ağırlığı, tüm yapının toplam ağırlığına göre çok küçük olabilir, ancak ağırlıkları, yapının farklı parçalarının etkin ağırlığına göre oldukça büyük olabilir. Bu, birçok ivmeölçerin bulunduğu çok kanallı sistemlerde daha belirgindir. Bu özellikle hafif yapılarda bir problem olabilir. Bu sorunu düzeltmenin bir yolu, her seferinde yalnızca bir kaç tanesinin ölçülmesine rağmen tüm ivmeölçerleri yapının üzerine monte etmektir. Bir başka yol da ölçülmeyen yerlere kukla ivmeölçer kütleleri eklemektir; bu, fitil kütlesi etkisini ortadan kaldıracaktır.

Ortaya çıkabilecek bir diğer fark, çalkalayıcıdan kaynaklanmaktadır. Temel olarak, yapı modları çalkalayıcı bağlantısının kütle ve sertlik etkilerinden etkilenebilir. Bu etkileri en aza indirmeye çalışırken var olabilirler. Bununla birlikte, birçok yapıda, çalkalayıcı eki etkileri önemli olabilir. Bir darbe testinde bu problemler yaşanmadığından, farklı sonuçlar elde edilebilir [13].

Bu yöntemde yapıları titreştirmek amacıyla uygulanan kuvvetin genliği ve zamanla değişimi bilinmektedir. Uygulanan kuvvet etkisindeki yapı, mevcut sınır şartları, malzeme özellikleri ve varsa hasar durumuna bağlı olarak titreşim hareketi sergilemektedir. Yapıya uygulanan kuvvet,

Çok çeşitli yapılar ve makineler darbe testi yapılabilir. Elbette, yapı boyutuna bağlı olarak uygun darbe kuvveti sağlamak için farklı boyutlarda çekiçlere ihtiyaç duyulmaktadır; Küçük yapılar için küçük çekiçler, büyük yapılar için büyük çekiçler. Tipik bir darbe testinden gelen gerçekçi sinyaller Şekil 1.1'de gösterilmektedir [14].


$$([K] - \omega^2 [M]) (x) e^{i\omega t} = \{F\} e^{i\omega t} \quad (1.1)$$

$$\{x\} = ([K] - \omega^2 [M])^{-1} \{F\} \quad (1.2)$$

Yapıya ait frekans davranış fonksiyonu (FRF – Frequency Response Function), Fourier dönüşümleri yapılmış tepki fonksiyonunun etki fonksiyonuna bölünmesiyle elde edilir.

$$[H(\omega)] = \frac{X}{F} \quad (1.3)$$

olarak elde edilir.

Burada;

$X(\omega)$: frekans ortamındaki tepki fonksiyonunu,

$F(\omega)$: frekans ortamındaki etki fonksiyonunu,

$H(\omega)$: frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir.

Frekans davranış fonksiyonları kullanılarak yapının doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları belirlenir [15].

1.2.2 Operasyonel Modal Analiz

Operasyonel modal analiz, çevresel(ambient) modal analiz ve output-only modal analiz olarak da bilinmektedir [16]. Operasyonel modal analiz tekniğinde kullanılan sinyal işleme araçları, yapay bir uyarıcı kullanmadan yapının tepkisini ölçerek dinamik karakteristiklerinin(mod, sönümleme, frekans) belirlenmesini sağlamaktadır.

Çevresel modal analizde darbe çekici olmadan çevresel bir etki ile titreşim olduğu kabul edilmekte ve yapıda meydana gelen tepki ölçülmektedir. Oluşan tepkileri ölçmek için frekans ortamında ayrışım (FOA) ve stokastik altalan belirleme (SAB) yöntemleri kullanılmaktadır [17].

Gelişen teknoloji ile birlikte yapay bir titreştirici kullanmadan mühendislik yapılarındaki ve makinelerdeki mevcut titreşimlerin dikkate alınarak ölçüm yapılabilmesine olanak sağlanmaktadır. Bu tekniğin avantajı, gerçek sınır koşulları ve çalışma şartlarında gerçek bir titreşim ve kuvvet ile tam bir modal model sağlamasıdır.

$$[G_{yy}(\omega)] = [H(\omega)]^* [G_{xx}(\omega)] [H(\omega)]^T \quad (1.4)$$

Burada;

$G_{xx}(\omega)$: Etki güç spektrum yoğunluğu (PSD)

$G_{yy}(\omega)$: Tepki güç spektrum yoğunluğu (PSD)

$H(\omega)$: Frekans davranış fonksiyonu
(*) : Fonksiyonun eşleniği
(^T) : Fonksiyonun transpozisini göstermektedir.

Bu bağıntıda etkinin beyaz gürültü olduğu varsayılarak etki sinyaline ait spektral yoğunluk fonksiyonu sabit alınmıştır [10].

1.3 GERİNİM ÖLÇÜM TEKNİĞİ

1.3.1 Strain Gauge (Gerinim Ölçer) ile Ölçüm Yapmak

Herhangi bir gerinim ölçer kurulumuna hazırlanmanın ilk adımı çalışma için uygun strain gauge seçilmesidir.

Gerinim ölçer tasarımında ve yapımında dikkat edilecek bir takım önlemler vardır. Gerinim ölçerlerin tüm uygulamalarda kullanılması için normal bakımları ve gerekli temizliği yapıldıktan sonra tutkallama işlemi yapılması gerekmektedir.

Strain gauge ile doğru bir ölçüm yapabilmek için gage ile test yapılacak yapı arasındaki bağa tamamen bağımlıdır. Aradaki bağ, gerilimi test parçasından gerinim ölçerin teline ya da folyoya iletmezse, elde edilen sonuçlar doğru olamaz. İyi bir bağ elde etmek için strain gauge bağlanan yüzey kimyasal olarak temizlenmelidir.

Gerinim ölçerler, çok hafif oluşları, doğrusallığı, büyük frekans tepkileri, çok yönlü oluşları, değişik uygulamalarda kullanılabilmelerinden dolayı şok ve titreşim enstrümantasyonunda kullanılan elektrik dönüştürücüleri için çok hassas bileşenlerdir. Uygulamada kullanılan Wheatstone köprü devresi, gerinim ölçerin çıkış sinyalleri üzerinde matematiksel işlemler yaparak gerinim ölçerin tek yönlülüğünü daha geniş uygulamalara genişletmek için kullanılmaktadır. Bu gerinim ölçerler, hızlanma, yer değiştirme, basınç, tork, kuvvet gibi mekanik değişkenlerin ölçümü için kullanılabilmektedirler.

Gerinim ölçerin dönüştürücü olarak kullanılması tekniği, ölçülen değişkene orantılı olarak gerinim ölçerde bir sinyal üretmek üzere yükleme yapılan bir çeşit mekanik elemana tutturma [18].

1.3.1.1 Strain-gage Parametreleri

Bir gerinim ölçerin kurulum ve çalışma özellikleri aşağıdaki parametrelerden etkilenir:

- Gage uzunluğu,
- Gage modeli ($60^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ gibi) ,
- Izgara direnci,
- Gerinime karşı hassas alaşımlar,
- Destek malzemeleri,
- Strain gage seçenekleri,
- Gerinime duyarlı alaşımlar [19].

1.3.1.2 Test Parametreleri

Temel olarak strain-gage seçim süreci, çevresel ve diğer çalışma koşullarıyla en uyumlu belirli parametre kombinasyonunun belirlenmesinden oluşmaktadır. Aynı zamanda kurulum ve işletme kısıtlamalarını en iyi şekilde uygulamaktadır. Bu kısıtlamalar genellikle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

- Doğruluk,
- Test süresi,
- Kararlılık,
- Denge,
- Döngüsel dayanıklılık,
- Sıcaklık,
- Çevre,
- Uzama,
- Kurulum kolaylığı [19].

1.3.2 Wheatstone Köprüsü

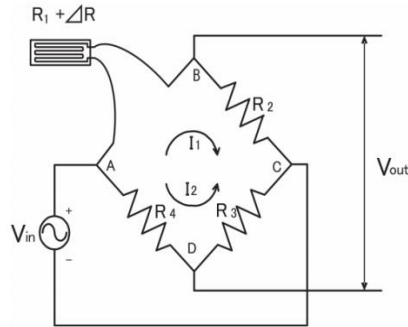
Bir potansiyometre devresinde, amplifikatör girişine sinyal gönderilmeden önce çıkış voltajının DC bileşeninin bir kompansatör yardımıyla devre dışı bırakılması gerekmektedir. Aynı işlem iki potansiyometre devresini paralel bağlayarak elde edilen ağın iki koluna karşılık gelen

noktalardan çıkış sinyali alıp sinyalin DC bileşenini bloke ederek de yapılabilir. Bu şekilde oluşturulan devrelere Wheatstone köprüsü denilmekte ve bu yöntem dirençleri ölçmek için en kesin yöntemlerden biri olarak bilinmektedir [18]. Wheatstone köprüsü, 1843 yılında İngiliz fizikçi Charles Wheatstone tarafından ileri sürülmüştür. Wheatstone köprüsü içinde bulunduğu gerinim ölçer sayısına göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar çeyrek Wheatstone köprüsü, yarım Wheatstone köprüsü ve tam Wheatstone köprüsüdür [20].

Potansiyometre devresi üzerinde Wheatstone köprüsünün avantajları şunlardır:

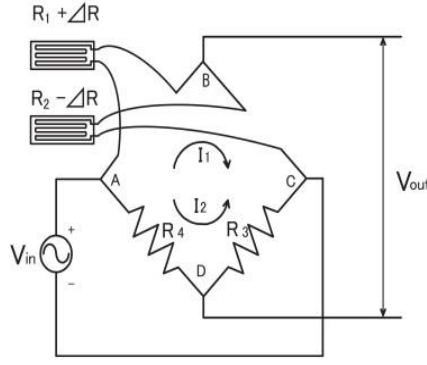
- 1) Daha esnek devre düzenlemeleri,
- 2) Statik ve dinamik gerinimleri doğru olarak gösterebilme,
- 3) Besleme gerilimini şebekeye bağlayan iletkenlerde direnç değişikliklerine bağlı olarak neredeyse tamamen hata özgürlüğü olmasıdır [18].

Çeyrek Wheatstone köprü devresi bir adet gerinim ölçer ve üç adet tamamlayıcı dirençten oluşmaktadır (Şekil 1.2).



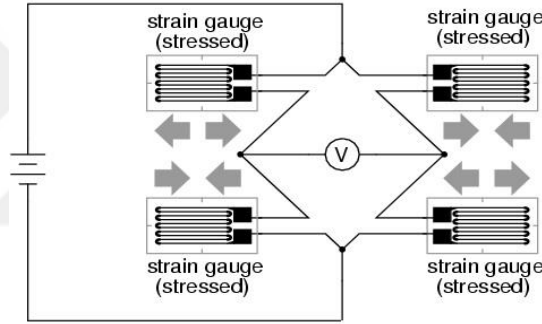
Şekil 1.2 Çeyrek Wheatstone köprü devresi.

Yarım Wheatstone köprü devresi iki adet gerinim ölçer ve iki adet tamamlayıcı dirençten oluşmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Yarı Wheatstone köprü devresi.

Tam Wheatstone köprü devresi dört adet gerinim ölçerden oluşmaktadır (Şekil 1.4). Duyarlılığı çeyrek ve yarı Wheatstone köprüsüne göre çok daha fazladır.



Şekil 1.4 Tam Wheatstone köprü devresi.

1.4 SONLU ELEMENLAR METODU

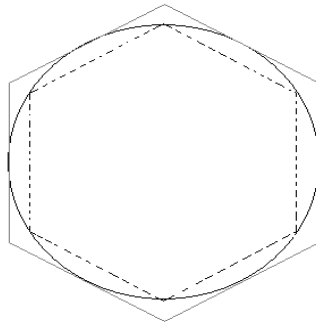
Sonlu elemanlar yöntemi, stres analizi, ısı transferi ve akışkan akışını içeren büyük bir mühendislik problemi sınıfı çözümleri elde etmek için kullanılabilen sayısal bir prosedürdür.

Genel olarak, mühendislik problemleri fiziksel durumların matematiksel modelleridir. Matematiksel modeller, sınır ve başlangıç koşullarına bir dizi karşılık gelen diferansiyel denklemlerdir. Gerilme analizleri problemlerinin çözülmesi amacıyla geliştirilen teknikte bu uygulamalar için bir büyüklük alanının hesaplanması gerekmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı ve gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur [21].

Sonlu elemanlar metoduna yakın bir yöntem 1943' te ilk kez Courant tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemde, üçgensel bölgeler üzerinde parçasal sürekli fonksiyonlar tanımlanmaktadır [22].

İlk olarak sonlu elemanlar metodu yapı analizlerinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijidlik matrisini oluşturmuştur. “Sonlu Elemanlar” terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında telafuz edilmiştir [23].

Sonlu elemanlar yöntemi ile bir büyüklüğün ifade edilmesinde, problemin doğru biçimde tanımlanıp değişkenlerin seçilmesinin ardından yapılacak ilk iş, büyüklüğü elemanlara ayırmaktır. Elemanlara ayırma işleminin doğru biçimde yapılması, çözümün doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Elemanlar uygun şekilde seçilmeli ve problemin yapısına uygun olarak yerleştirilmelidir. Eleman seçiminde, elemanların boyutları ve sayıları sistemi en iyi temsil edecek, hesapları da en aza indirgeyecek biçimde olmalıdır. Genel olarak değişkenin ani değişim gösterdiği yerlerde elemanlar küçük seçilir. Uygun elemanlar seçmek kadar bu elemanları ve onların düğüm noktalarını, yani elemanların köşe noktalarını uygun numaralamak da, yöntemin doğru çalışması için önemlidir. Elemanların köşe noktaları sistem içerisinde elemanların birleşme noktalarını oluşturur ve düğüm noktaları(nod) olarak adlandırılır [24].



Şekil 1.5 Dairenin Çevresinin Sonlu Elemanlar Yaklaşımı ile Bulunması [25].

Metoda sonlu elemanlar isminin verilmesi yeni ise de, sonlu elemanlar düşüncesi gerçekte günümüzden birkaç yüzyıl önce kullanılmıştır. İlk matematikçiler bir dairenin çevresini, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi, daireyi çokgene indirgeyerek (problemi basitleştirerek) hesaplamışlardır. Günümüzün deyimi ile bu çokgenin her kenarı bir sonlu elemandır. Bu basit çözümün

incelenmesi sonucunda genel sonlu eleman uygulamaları için de geçerli olan iki özellik ortaya çıkmaktadır.

- Dairenin dışındaki ve içindeki çokgenlerin çevreleri, dairenin çevresinin üst ve alt sınırlarıdır.
- Çokgenin kenar sayısının artırılması ile bu yöntemle bulunacak olan yaklaşık çözüm yukarıdan veya aşağıdan gerçek çözüme ulaşacaktır [25].

1.4.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Avantajları

- Bu metod farklı tasarım ve materyallere uygulanabilmektedir,
- Karmaşık geometrili cisimlerin incelenmesine izin vermektedir,
- Aynı model için birçok sorunu çözebilmektedir,
- Tasarımları optimize etmektedir,
- Ürün performansını iyileştirir,
- Güvenilirliği arttırır,
- ABAQUS, NASTRAN, ANSYS, MARC gibi birçok yazılım ile mühendislik uygulamalarında kullanılabilmektedir [26].

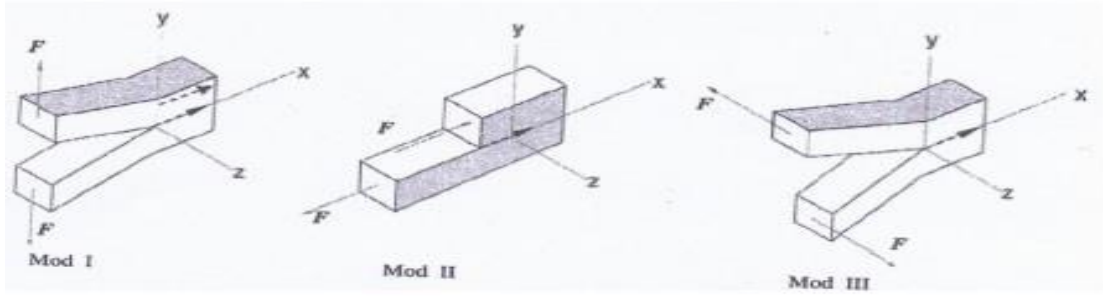
1.4.2 Gerilme Şiddet Katsayısının Sonlu Elemanlar Metodu ile Hesaplanması

Gerilme şiddeti faktörü çatlak ucu yakınındaki gerilme alanı düzenleyen temel bir büyüklüktür. Gerilme şiddet faktörü de geometrik konfigürasyon ve cismin yükleme koşullarına bağlıdır. İzotropik malzemeler için düzlem gerilme durumunda gerilme-şekil değiştirme bağıntısı:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y) \quad (1.5)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x) \quad (1.6)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (1.7)$$



Şekil 1.6 Kuvvet etkisinde oluşan kırılma modları [27].

Şekil 1.6’da görüldüğü gibi K_I açılma modu, K_{II} düzlem içi kayma modudur. K_{III} ise düzlem dışı kayma modudur.

Mod I durumu için K_I ‘in genel ifadesi:

$$K_I = \lim_{\theta=0 \text{ için } r \rightarrow 0} \sigma_{xx} \sqrt{2\pi r} \quad (1.8)$$

Griffith’in araştırmalarında çatlak ucundaki gerilmelerin $\sqrt{\pi a}$ ile orantılı olduğu görülmektedir. En genel K_I bağıntısı:

$$K_I = Y \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1.9)$$

Mod II durumu için K_{II} ‘nin genel ifadesi:

$$K_{II} = \lim_{\theta=0 \text{ için } r \rightarrow 0} \tau_{xz} \sqrt{2\pi r} \quad (1.10)$$

Malzemenin gerilme durumunun düzlem gerilme olduğu kabul edilirse Mod I ve Mod II için x yönünde oluşan şekil değişimi u, y yönünde oluşan şekil değişimi v ise bu değerler çizelge 1.1 ‘de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Mod I ve Mod II için çatlak ucunda oluşan şekil değiştirme alanı[27]

	Mod I	Mod II
u	$\frac{K_I}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left\{ K - 1 + 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^2 \right\}$	$\frac{K_{II}}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\theta}{2} \left\{ K + 1 + 2 \left(\cos \frac{\theta}{2} \right)^2 \right\}$
v	$\frac{K_I}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\theta}{2} \left\{ K + 1 - 2 \left(\cos \frac{\theta}{2} \right)^2 \right\}$	$-\frac{K_{II}}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left\{ K - 1 - 2 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^2 \right\}$
z	0	0

Burada düzlem gerinme için $K=3-4\mu$, düzlem gerilme için $K=(3-\mu)/(1+\mu)$ 'dir [27].

1.5 ÇALIŞMANIN AMACI

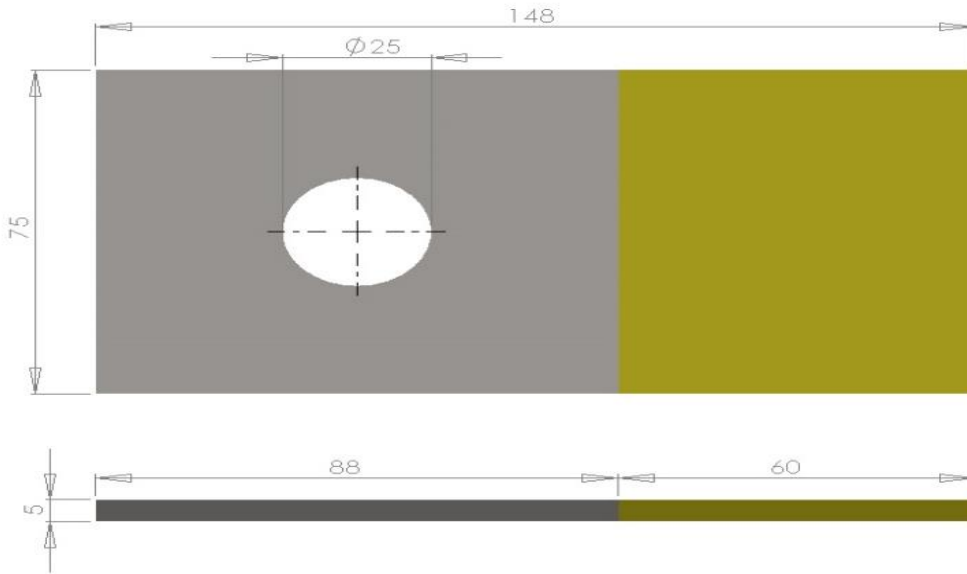
Bu tez çalışması, termal gerilmeler altında statik ve dinamik koşullar için alın birleştirme ile bir araya getirilmiş ikili malzeme numunesinde meydana gelen gerinimleri ölçmek ve çatlakın gerilme şiddet katsayısını (K) hesaplamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Dinamik yükleme koşullarında termal gerilme altında ankastre malzemenin birleşme noktasında ve serbest ucunda meydana gelen gerilme ile statik yükleme koşullarında termal gerilme altında ankastre malzemenin birleşme noktasında ve serbest ucunda meydana gelen gerilmeler karşılaştırılmıştır. Bu araştırmada gerinim analizlerinin farklı değişkenler açısından incelenerek dağılımlarının çıkarılması, bu konunun farklı koşullarda yapıldığını ve hangi durumlarda gerinimlerin incelenmiş olduğu katkı sağlamaktadır.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOD

2.1 KULLANILAN MALZEMELER

Çalışmada düşük karbonlu çelik ve kararlı, sert bir polimer kullanılmıştır. Düşük karbonlu çelik, ERDEMİR ST 3237 A1, ya da kısaca ERD 3237, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş., Türkiye tarafından üretilmektedir. Polimer, ARALDITE, CIBA Specialty Chemicals Inc., İsviçre tarafından üretilmektedir. Bu iki malzeme türünün doğrusal olarak elastik ve izotropik olduğu varsayılmaktadır. Araldite ve çelik malzemeler ısı ile bir araya getirilmiş ve ikili malzeme numuneleri elde edilmiştir. Numunelerin ölçüleri Şekil 2.1 'de verilmiştir. Toplamda çelik (ERD3237) ve aralditten meydana gelen 11 adet ikili malzeme numunesi ve her bir numune üzerinde iki adet gerinim ölçer kullanılmıştır (gerinim ölçer tipi: KFG-5-350-C1-11L3M3R, gerinim ölçer katsayısı= 2.14 ± 0.01 ve gerinim ölçer direnci= $348.8 \pm 1.2 \Omega$, KYOWA, Japan). Gerinim ölçerlerden biri araldite ve çeliğin birleştiği bölgenin orta noktasına, diğeri araldite olan serbest ucun orta kısmına yapıştırılmıştır (Şekil 2.2). Araldite ve çeliğin mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

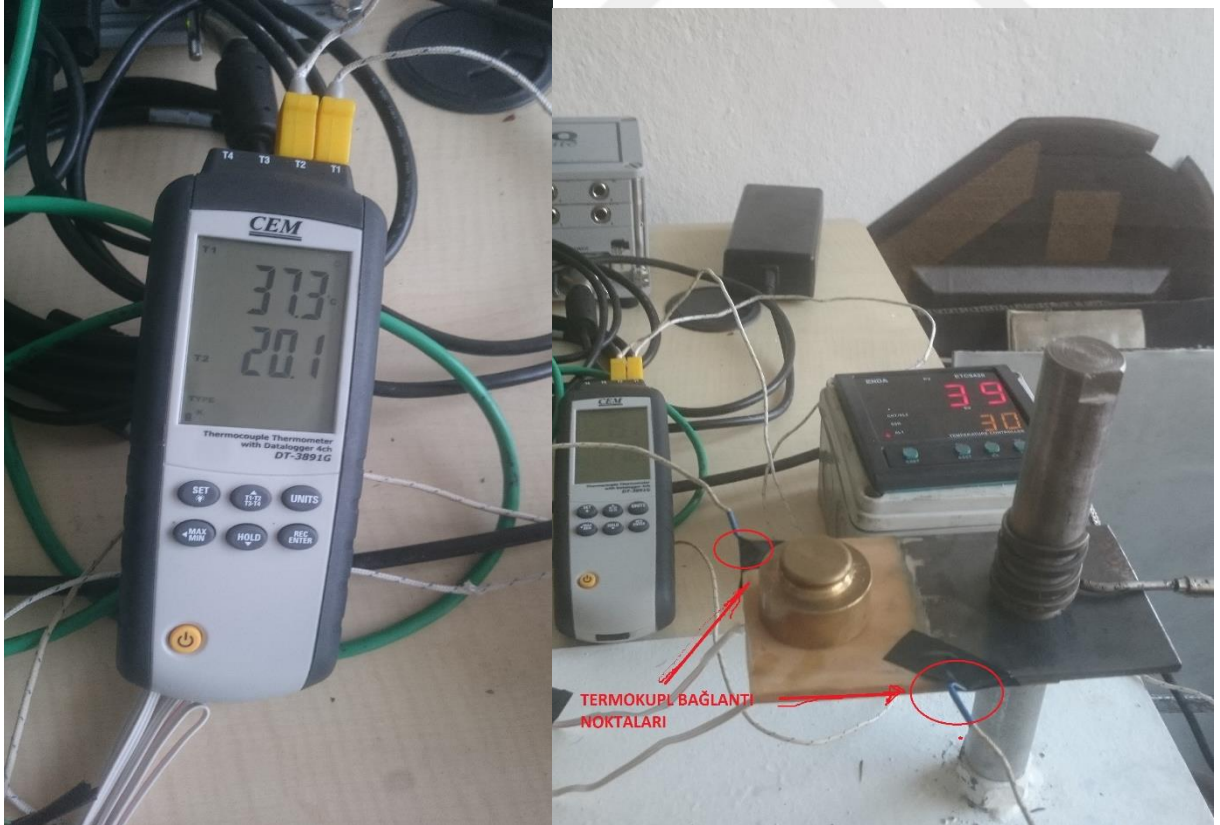


Şekil 2.1 İkili malzeme numunesinin ölçüleri.

İlk olarak bir araya getirilmiş ikili malzeme numunesinin yüzeyi strain gageden okunan gerinim değerinin hassasiyeti için aseton ile temizlenmiştir. Temizlenen yüzeye ısıya dayanıklı bir yapışkan yardımı ile strain gage doğru olarak yapıştırılmıştır.



Şekil 2.2 Numunelere strain-gage uygulama noktaları



Şekil 2.3 Termokupl ve numunelere uygulama noktaları.

Numunelerin metal-araldite birleşme bölgesine K tipi termokuplun bir ucu, plastik bölgeye de diğer ucu yapıştırılmıştır ve CEM DT-3891G model termometreden numunenin her iki bölgesinin de sıcaklıkları okunmuştur (Şekil 2.3). Termostat (Şekil 2.4) istenilen dereceye getirilmiş ve termometrenin numune üzerinde okuduğu değerler kaydedilmiştir. Bir bilgisayar, ivmeölçer ve SOMAT eDAQ-lite mikroişlemci veri toplama sistemi yardımı ile elde edilen veriler TCE yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır. 28°C, 35° ve 50°C’deki statik veriler Infield yazılımı ile dinamik veriler de nCode yazılımları ile analiz edilmiştir.



Şekil 2.4 ENDA ETC9420 Termostat.

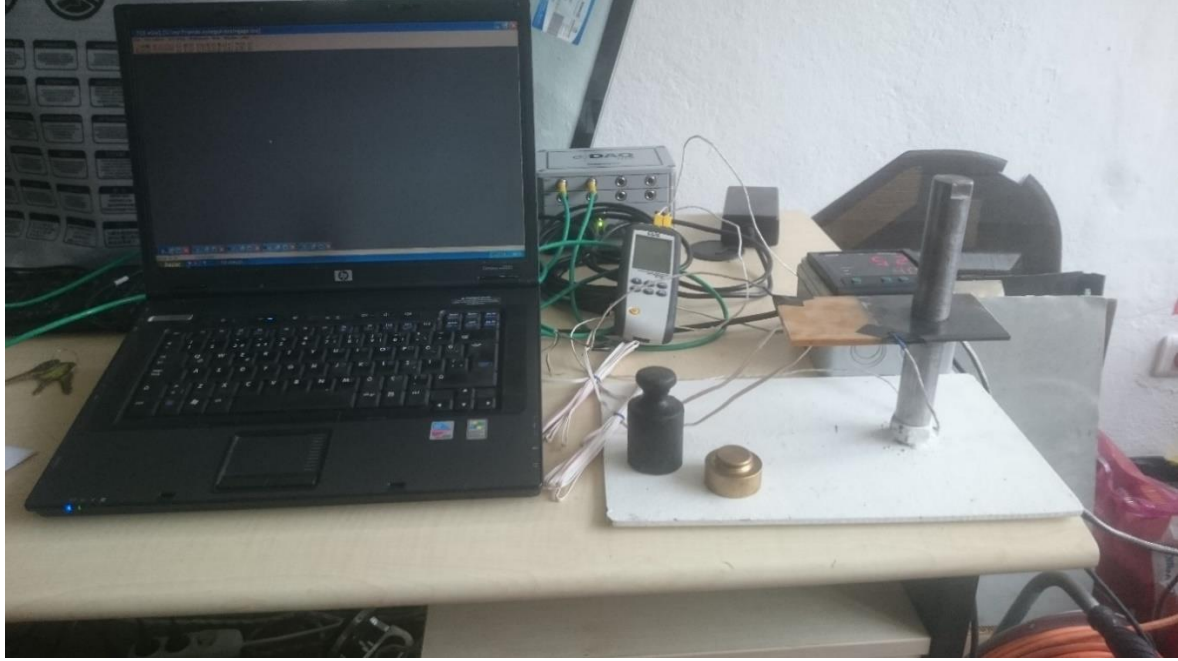
2.2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.2.1 Statik Analiz

Statik gerilme testleri; 0 N, 2 N ve 5 N’luk sabit eksenel gerilme yükleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Üzerinde iki tane strain gage bulunan ikili malzeme numunesi şekilde gösterildiği gibi sabitlendikten sonra strain gagelerin SOMAT eDAQ-lite mikroişlemci veri toplama sistemi ile ve bilgisayar ile bağlantısı yapılmıştır (Şekil 2.5). Ardından serbest ucuna yük konulup sırasıyla 28°C, 35°C ve 50°C de ölçümler yapılmıştır. Üç farklı sıcaklıkta üç farklı yükleme durumu için 11 farklı numunenin sonuçları elde edilmiş, grafikler oluşturulmuştur. Plastik bölgedeki strain-gagede okunan değerler şekil 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Malzemelerin mekanik özellikleri.

	E (GPa)	ν	ρ (g/cm ³)	σ_{akma} (MPa)
Çelik	207	0.3	7.86	288
Araldite	1.04	0.35	1.61	43.33



Şekil 2.5 Gerinim ölçüm cihazı ve numune bağlantısının gösterimi.

2.2.2 Dinamik Analiz

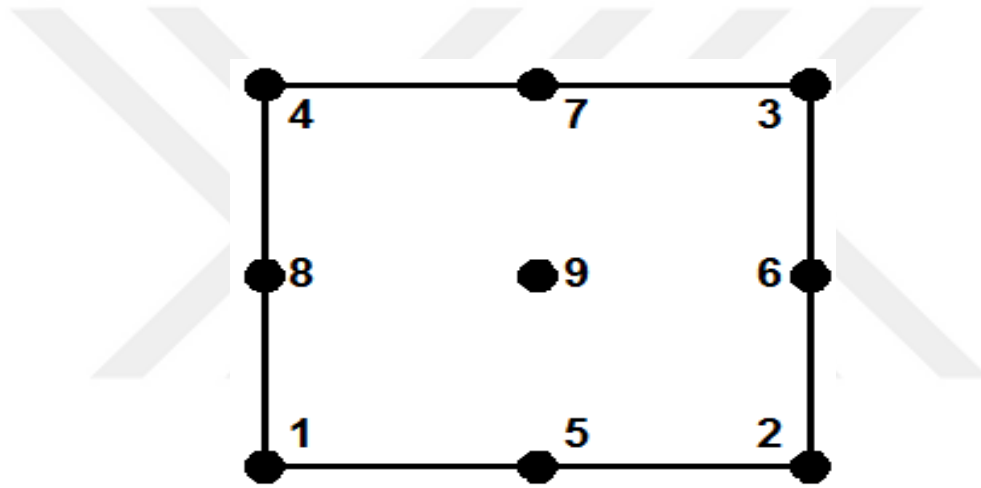
Dinamik gerilme testinde çok kanallı ölçüm sistemi, darbe çekici ve DYTRON tipi ivmeölçer kullanılmıştır. Titreşim sinyalleri bir bilgisayar yardımıyla kaydedilmiş ve analizleri yapılmıştır. İlk olarak numunenin serbest ucuna (araldite) bir mandal yardımı ile üç eksenli ivmeölçer tutturulmuştur. Ardından üç farklı sıcaklıkta numunenin birleşme noktasına yakın bir bölümüne darbe çekici ile üç kez vurulmuş ve deney 11 numune için tekrarlanmıştır.

Bilgisayardan gerinim verileri elde edilmiştir. Yükün süresi ve büyüklüğü tüm frekans aralığında darbe enerjisinin dağılımını belirlemektedir. Ayrıca çekiç ile yapı arasındaki temas yüzeyi ve çekiç ucunun da bu dağılımda bir rolü vardır.

2.3 SAYISAL ÇALIŞMALAR

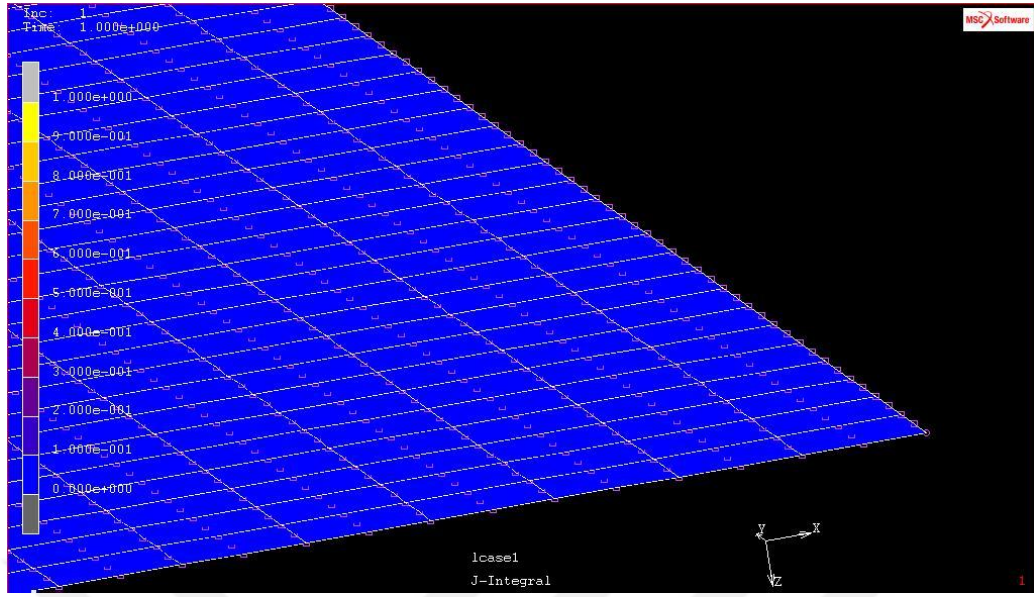
Doğrusal olmayan analizler için iyileştirilmiş Marc, imalat süreci simülasyonu, tasarım performansı, arıza analizi, servis yükü performansı da dahil olmak üzere ürün ömrünü kapsayan sorunları çözmek için kapsamlı ve sağlam çözüm şemaları sunmaktadır [27].

Çalışmada sayısal modelleme için MSC. Marc sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır. İlk olarak model tasarlanmış ve analiz parametreleri belirlenmiştir. Marc’da sırasıyla yapılan adımlar ağ atma, sınır koşulları, bağlantılar, malzeme özellikleri ve geometrik özelliklerdir. Son olarak analiz yapılmış ve yorumlanmıştır. Bu çalışmada 9 düğümlü düzlemsel gerinim elemanı seçilmiştir (Şekil 2.6). Modelin eleman sayısı 11100, düğüm sayısı ise 44847’dir.



Şekil 2.6 9 düğüm noktalı düzlemsel gerinim elemanı.

Numune MSC. Marc sonlu elemanlar paket programı ile modellenmiş ve şekil 2.7’de modelin eleman sayısının ve düğüm noktasının genel görünümü verilmiştir.



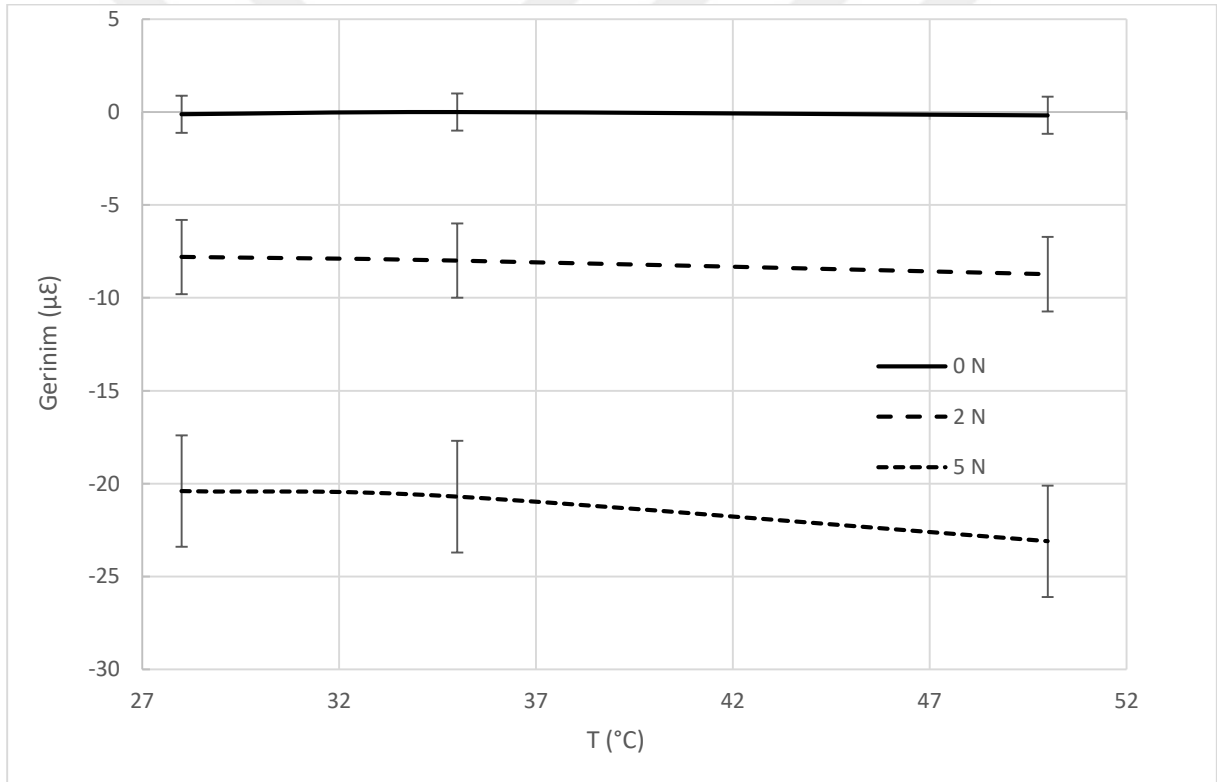
Şekil 2.7 Marc sonlu elemanlar programı ile tasarlanan modelin genel görünümü.

BÖLÜM 3

SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMA

3.1 DENEYSEL SONUÇLAR

3.1.1 Statik Analiz Sonuçları



Şekil 3.1 Plastik bölgenin üç farklı yük durumu için sıcaklığa bağlı gerinim değerleri.

Yapılan deneyler sonucunda malzemeye yük uygulanmaz ise plastik bölgedeki gerinim değerlerinin sıcaklığın artması ile arttığı ancak bu artışın küçük olduğu Şekil 3.1’de görülmektedir. Yük büyüdükçe gerinim değerindeki artış daha da büyümüştür. 5N’luk yük uygulandığında 28°C ’deki gerinim değeri $-20.4\mu\epsilon$, 35°C ’deki gerinim değeri $-20.7\mu\epsilon$,

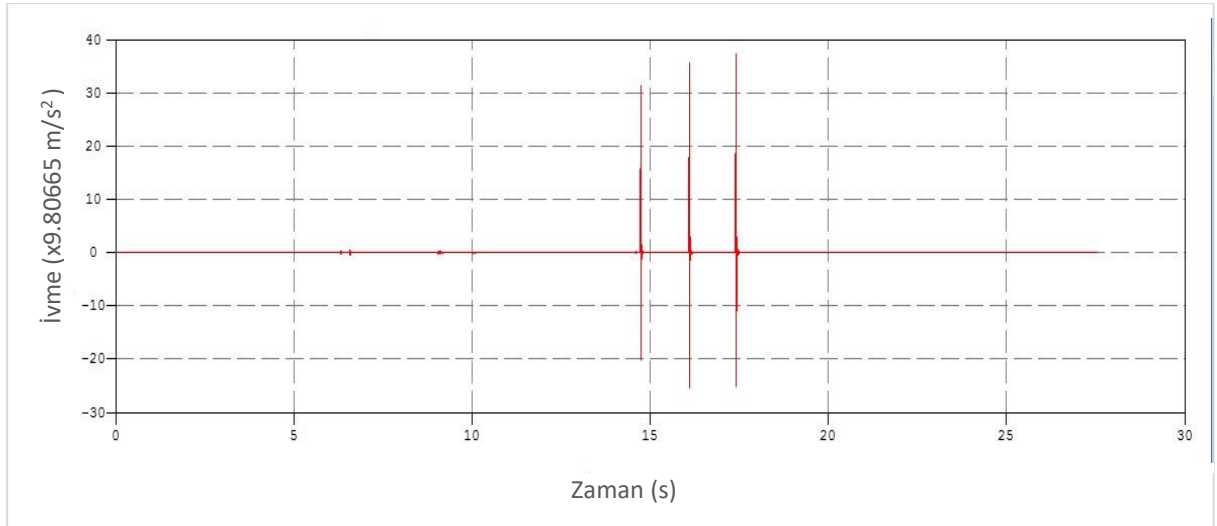
50°C'deki gerinim değeri de -23.1μE'dir. Üç yükleme durumu için de gerinimler sıcaklık ve yük ile artmıştır.

Metal ile plastik geçiş bölgesinde malzeme çelik bölgeden ısıtılmaktadır. Çeliğin termal genleşme katsayısı $\alpha_{\text{çelik}} = 13 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ 'dir. Araldite için termal genleşme katsayısı ise $\alpha_{\text{araldite}} = 8,5 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ 'dir. Çelik bölgedeki ısı iletimleri dairesel hareketlerle olmaktadır. Çelik/araldite geçiş çizgisine gelindiğinde plastik malzemenin termal genleşme katsayısı çelikten daha küçük olduğu için rijitlik göstermeye çalışmaktadır. Bu yüzden malzeme artık eliptik davranış gösterir. Plastik bölgenin uç kısımlarına doğru bu hareket doğrusallaşmaktadır.

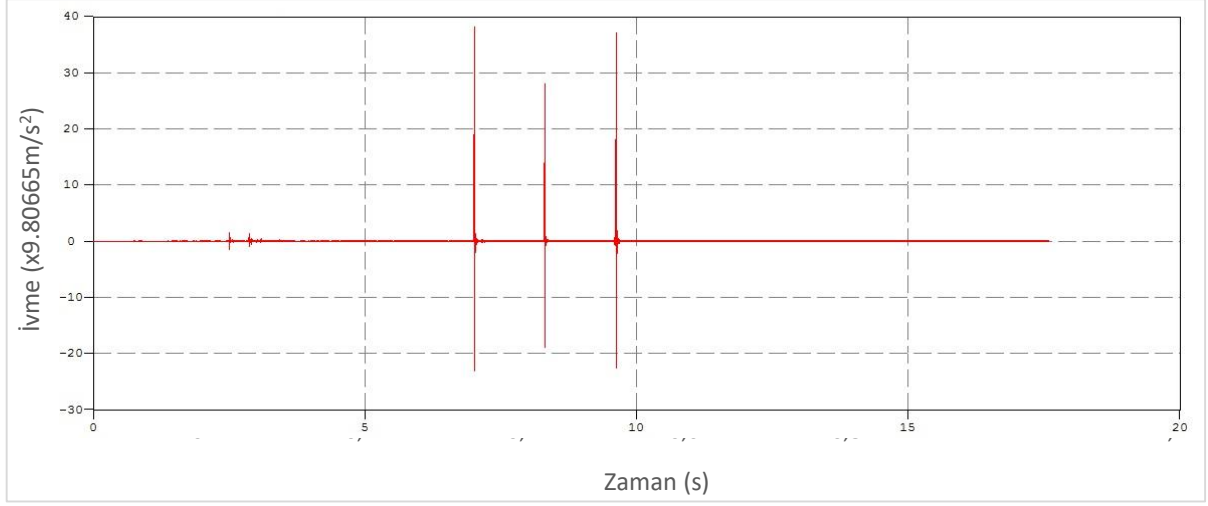
3.1.2 Dinamik Analiz Sonuçları

3.1.2.1 Zaman Boyutundaki Sonuçlar

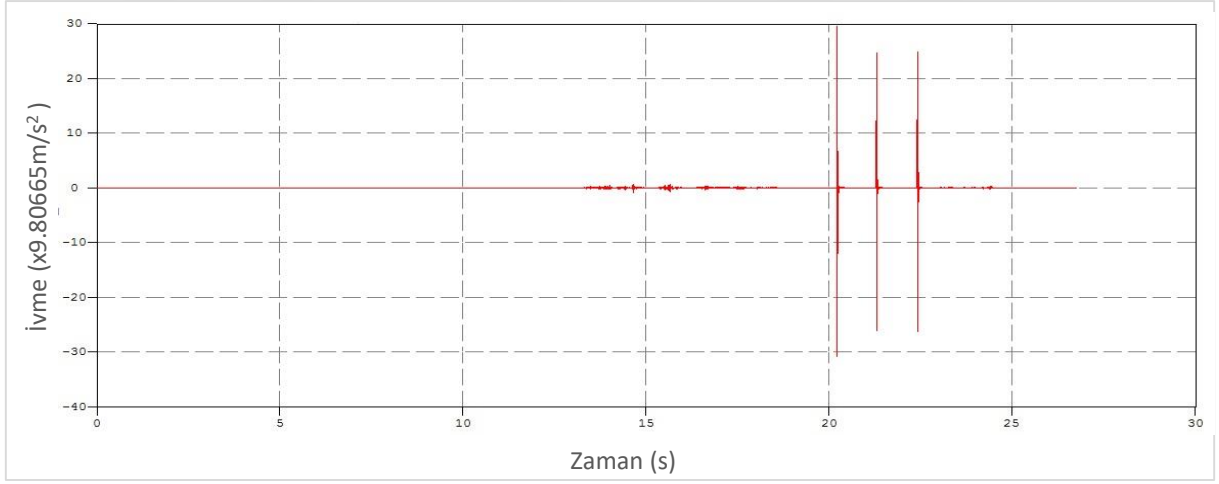
Şekil 3.2- Şekil 3.34 arasındaki grafikler dinamik deneyler sonucunda z yönündeki zamana bağlı ivme değerlerini göstermektedir. Numuneler ısıtıldığında malzemedeki ivme değerleri 0 değerinde seyretmektedir. Ancak çekiç ile numuneye yaklaşık olarak aynı kuvvetlerle üç kez vurulduğunda ivme değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.2 1. numunenin 28°C'deki ivme-zaman grafiği.

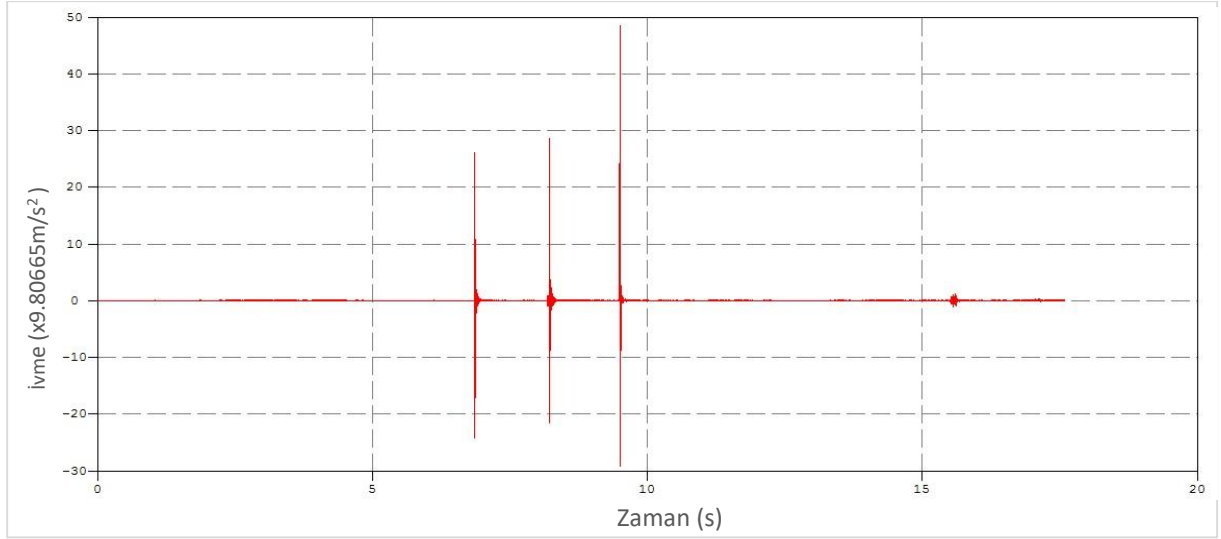


Şekil 3.3 1. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.

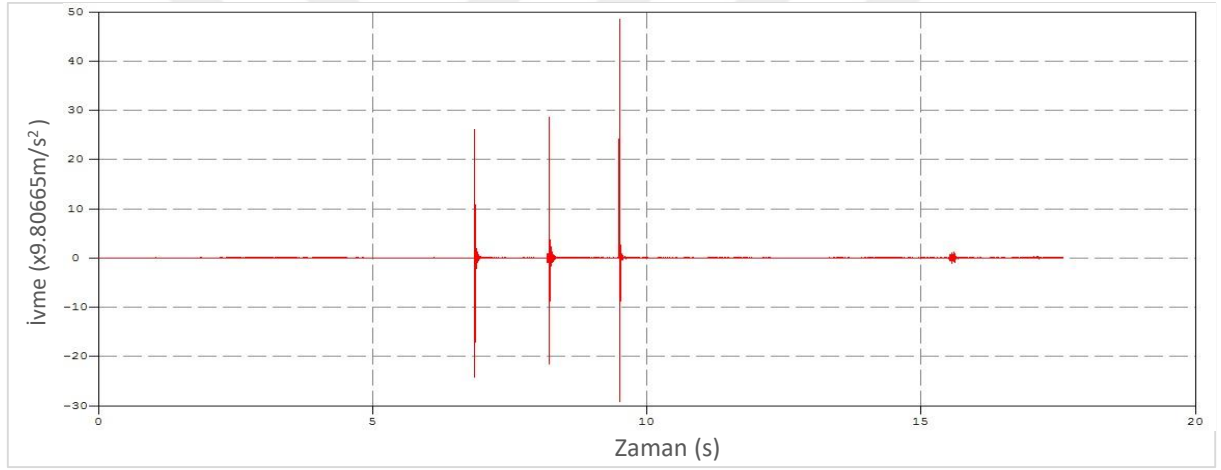


Şekil 3.4 1. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.

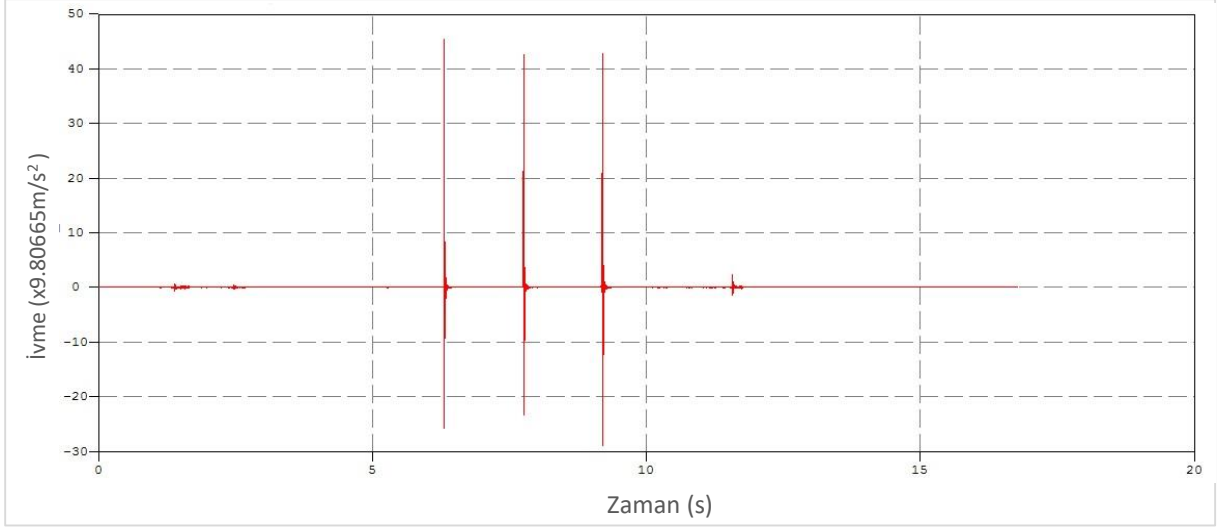
Örnek olarak 1.numunenin 28°C, 35°C ve 50°C'deki ivme değerleri incelendiğinde görülmektedir ki ivme değişimine sıcaklık etkisi olmazken uygulanan kuvvete göre değişmiştir. Ortalama ivme değerleri 28°C'de 24.g m/s² , 35°C'de 27.g m/s² ve 50°C'de 21.g m/s²'dir.



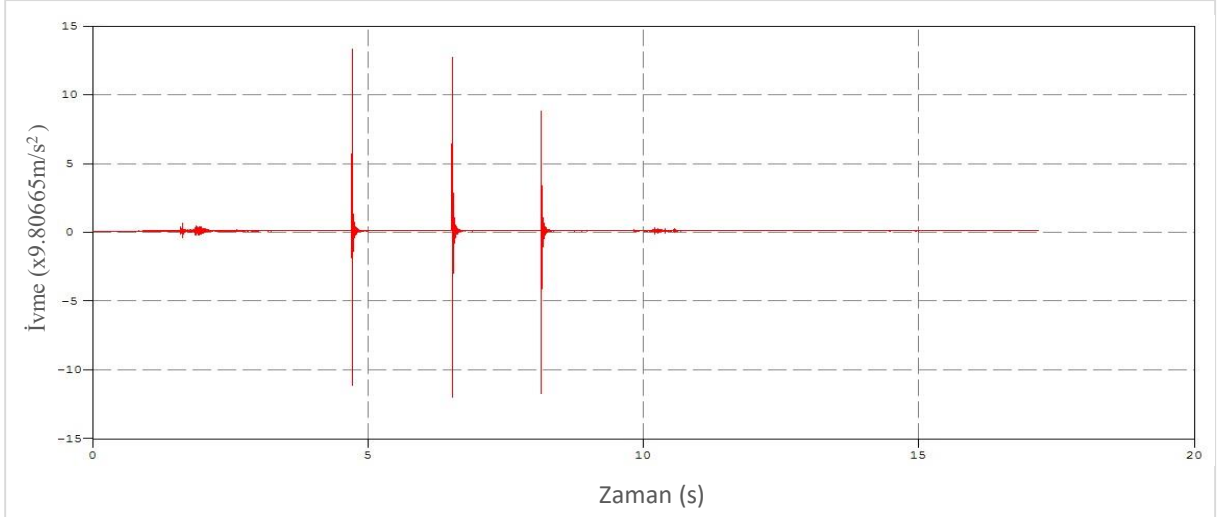
Şekil 3.5 2. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



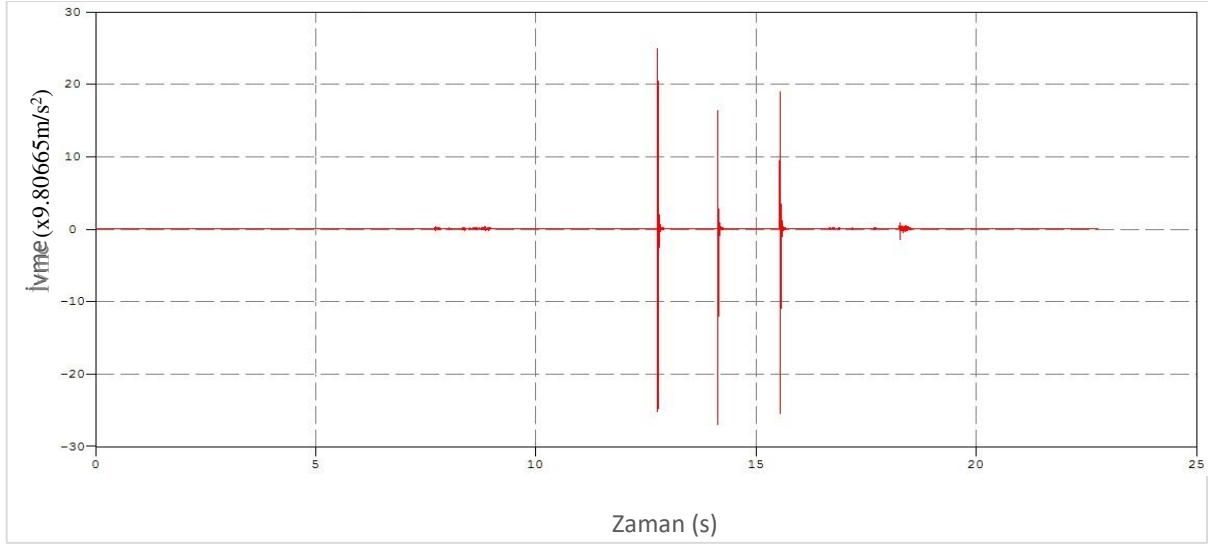
Şekil 3.6 2. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



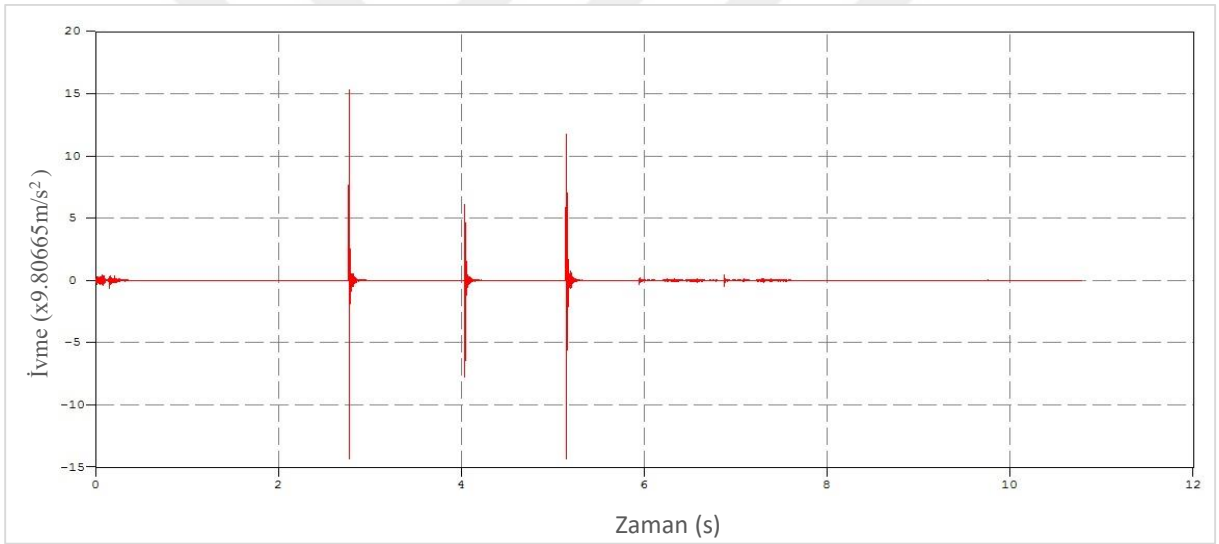
Şekil 3.7 2. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.



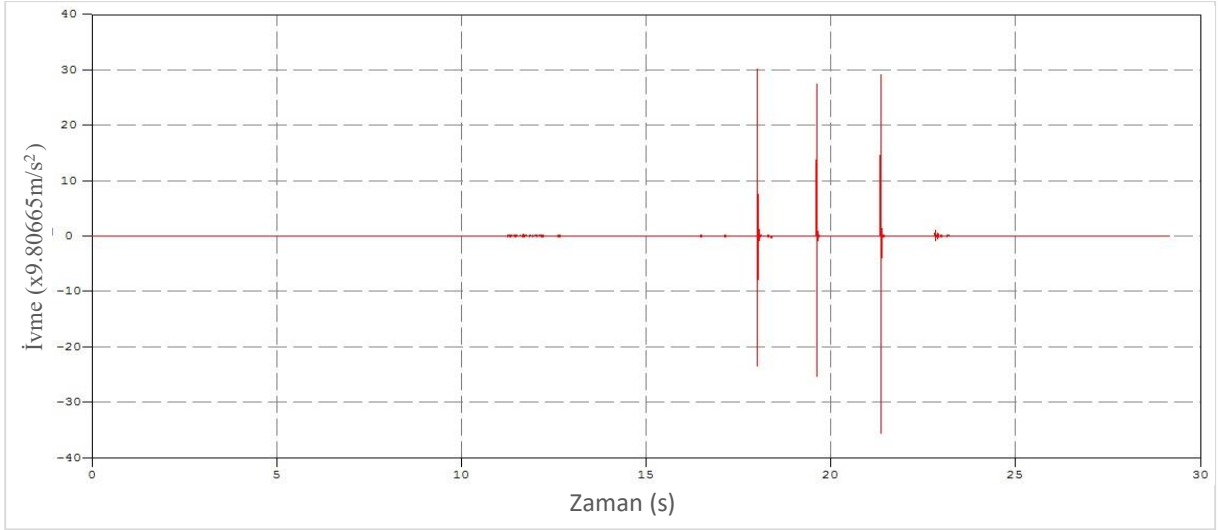
Şekil 3.8 3. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



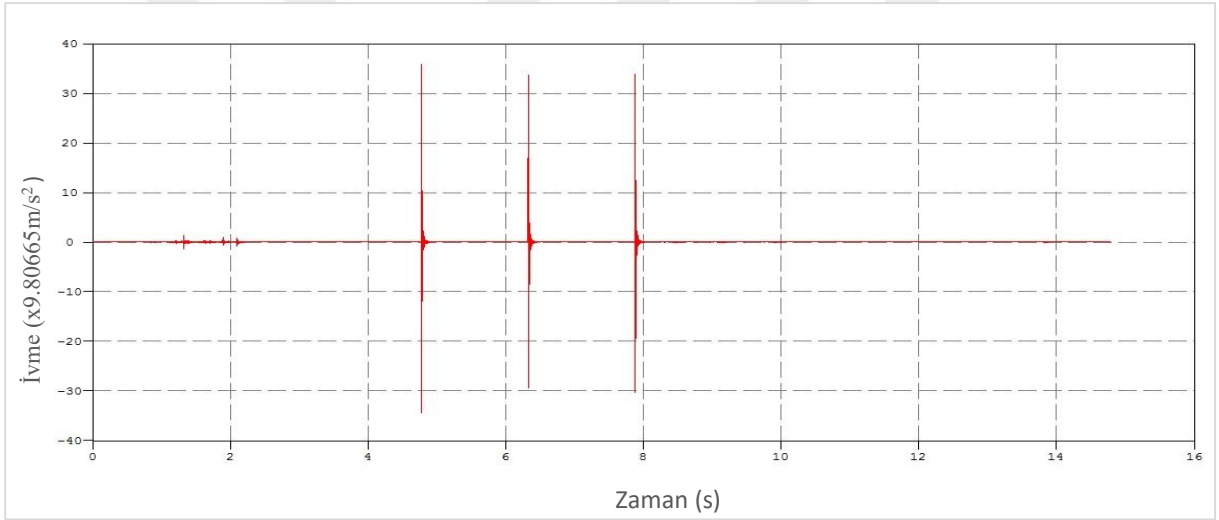
Şekil 3.9 3. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



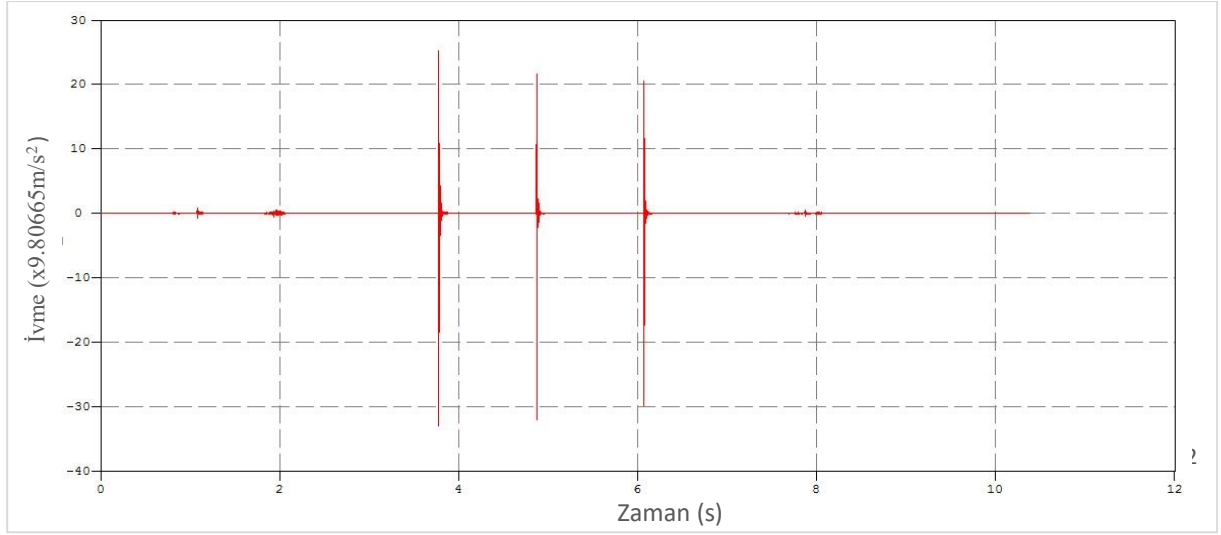
Şekil 3.10 3. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.



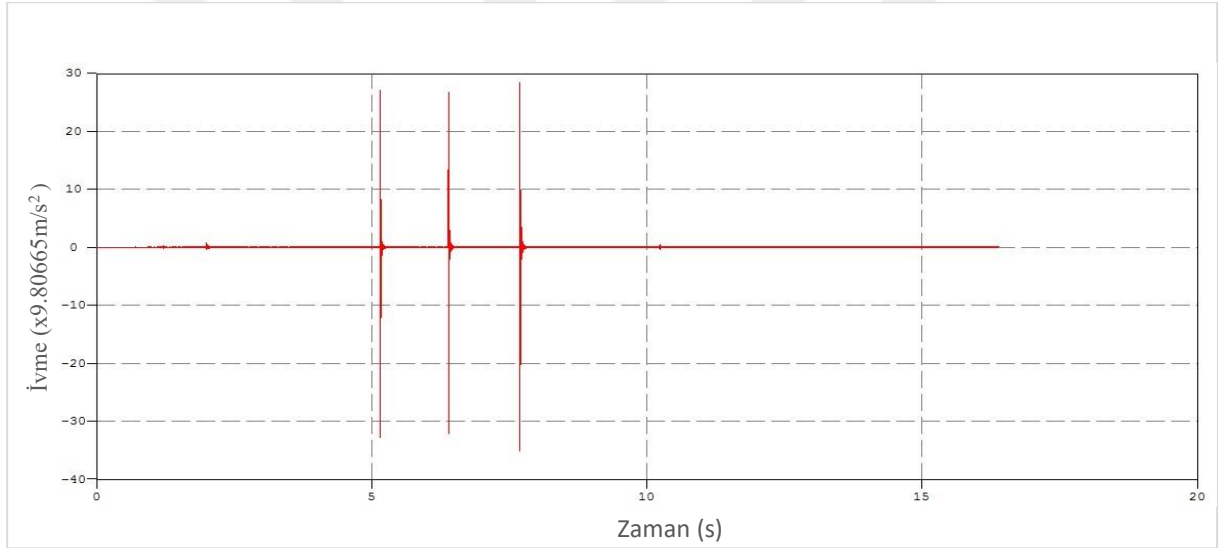
Şekil 3.11 4. numunenin 28°C 'deki ivme-zaman grafiği.



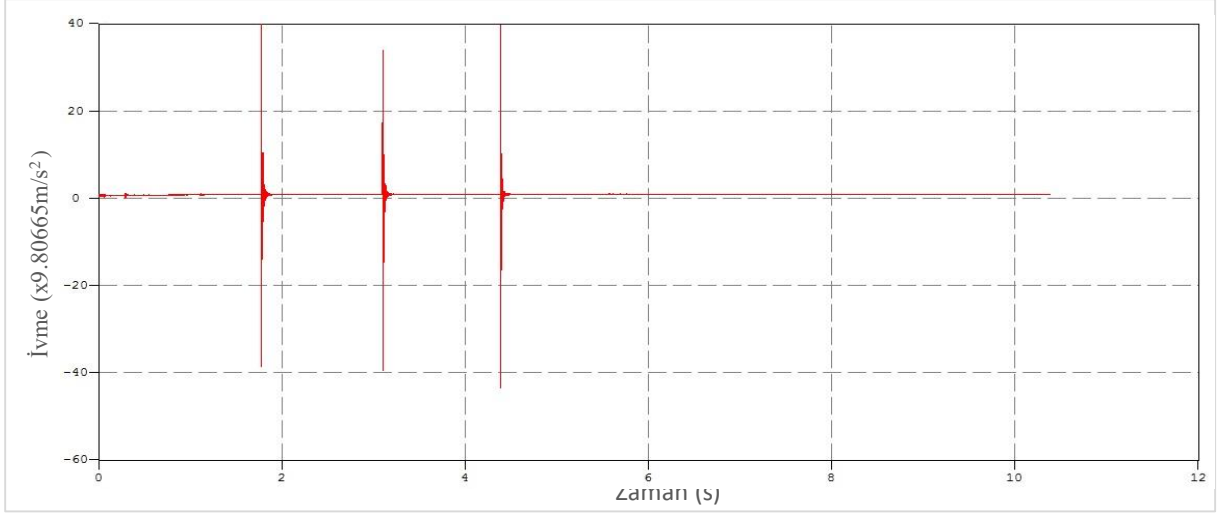
Şekil 3.12 4. numunenin 35°C 'deki ivme-zaman grafiği.



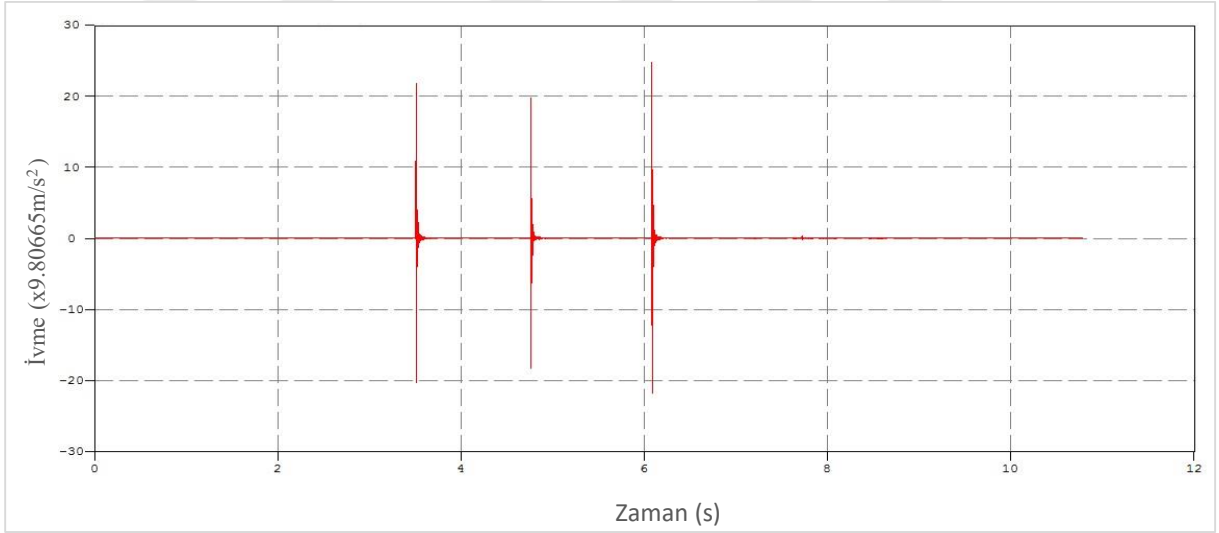
Şekil 3.13 4. numunenin 50°C 'deki ivme-zaman grafiği.



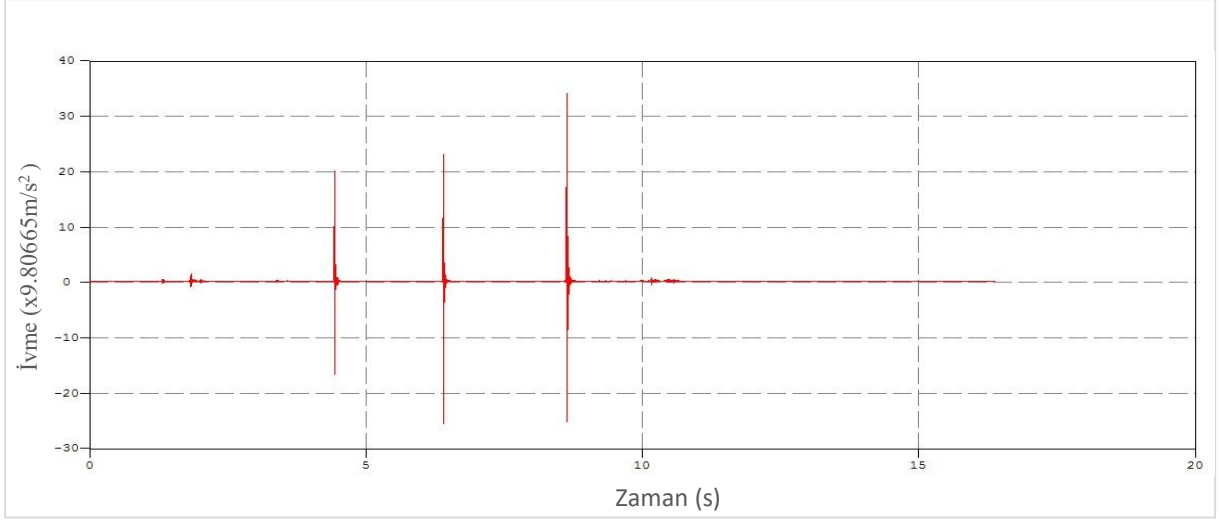
Şekil 3.14 5. numunenin 28°C 'deki ivme-zaman grafiği.



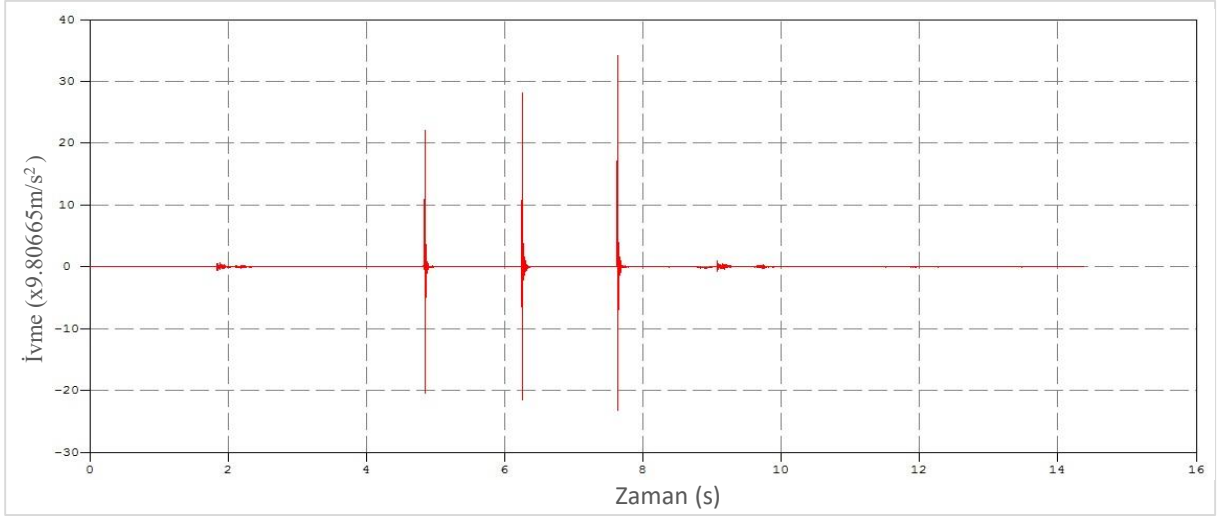
Şekil 3.15 5. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



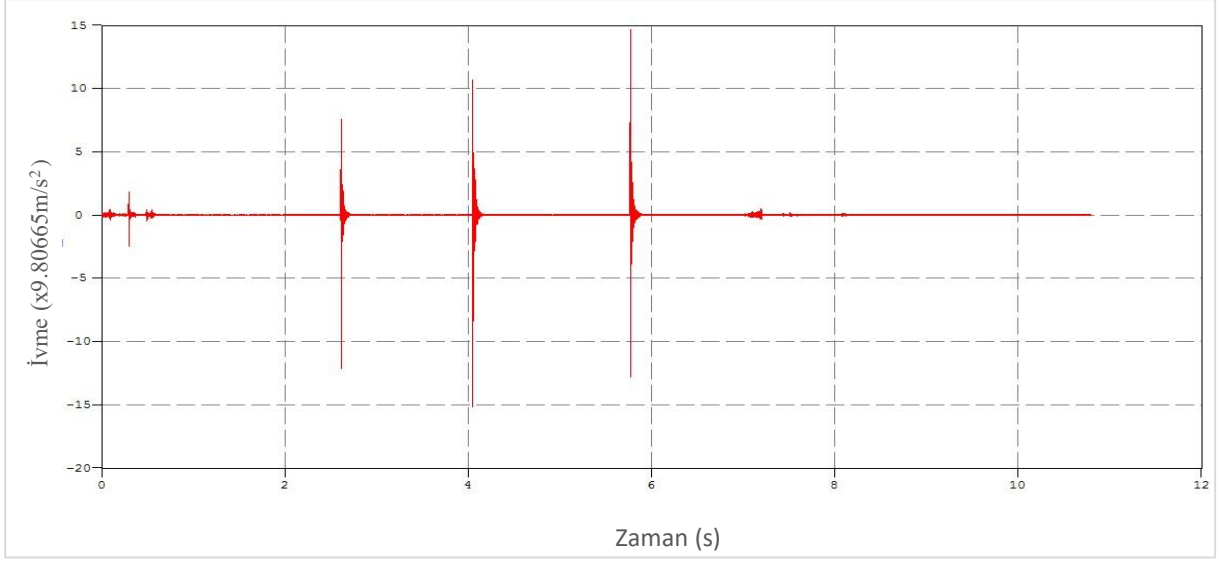
Şekil 3.16 5. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.



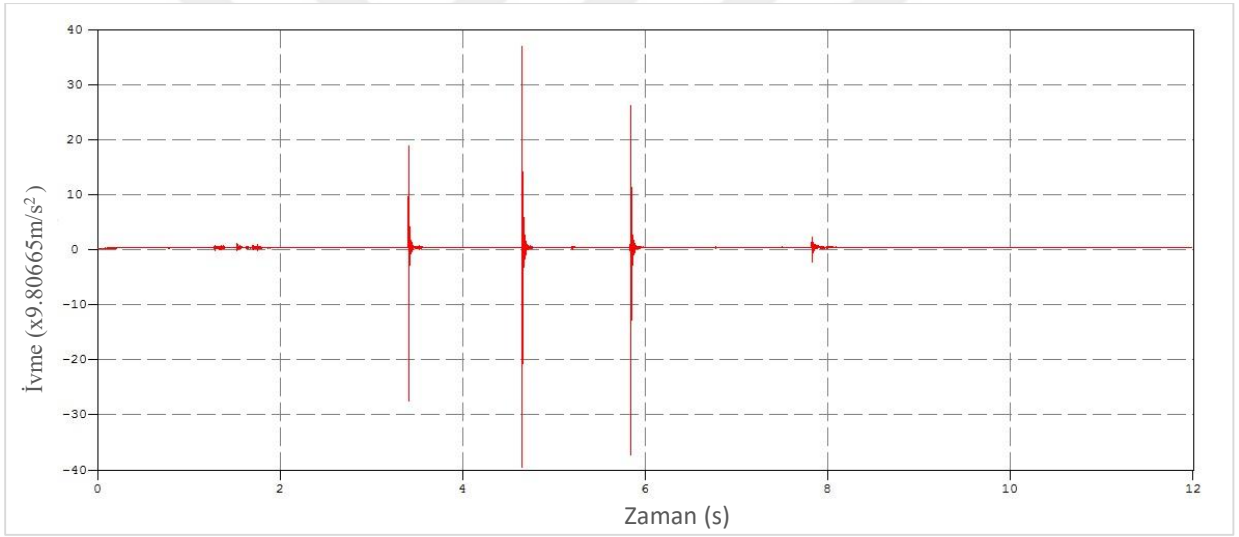
Şekil 3.17 6. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



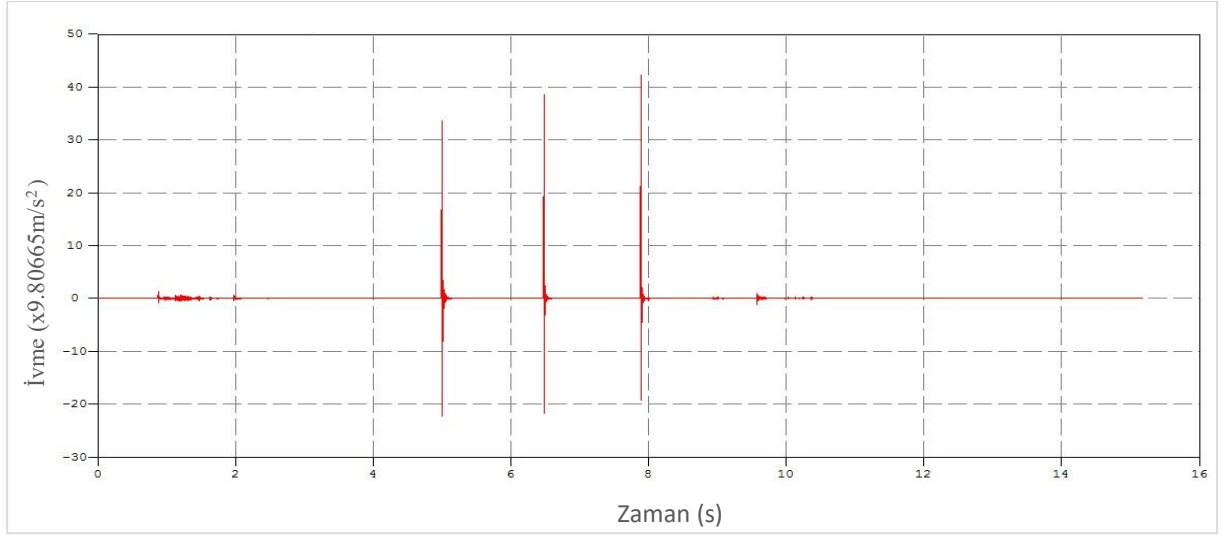
Şekil 3.18 6. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



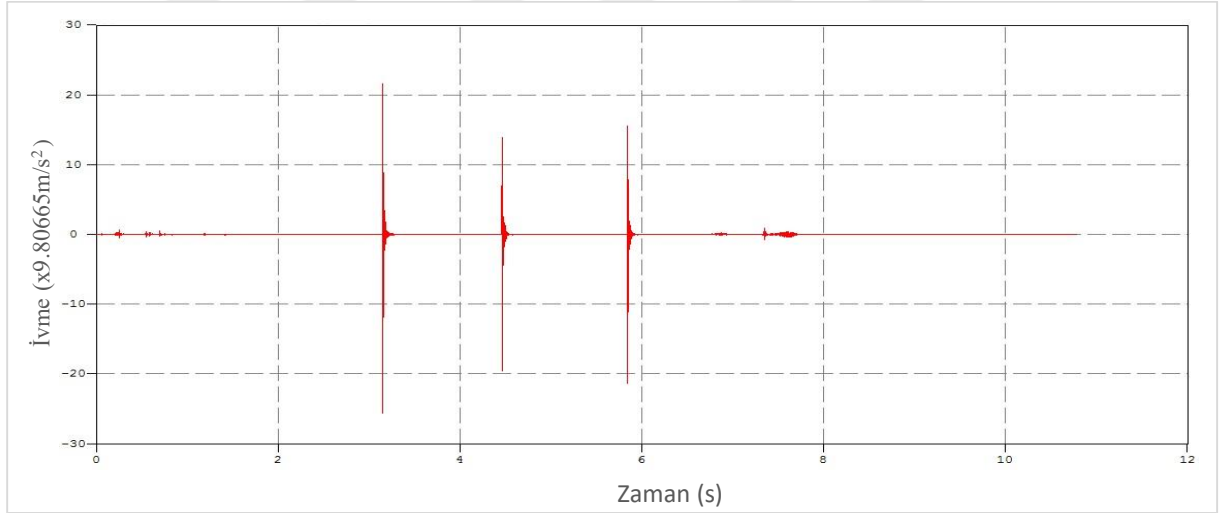
Şekil 3.19 6. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.



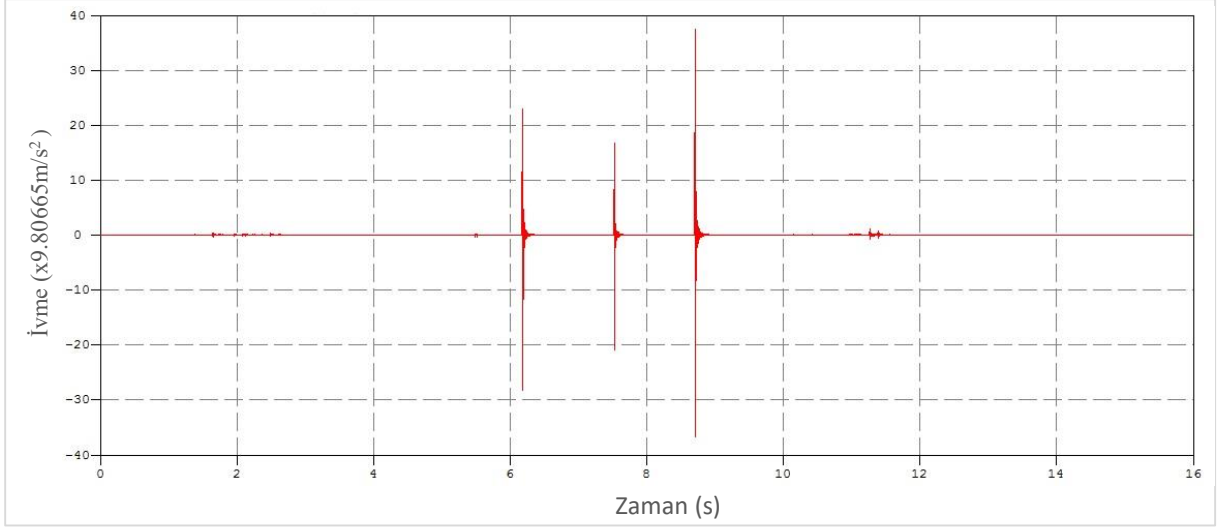
Şekil 3.20 7. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



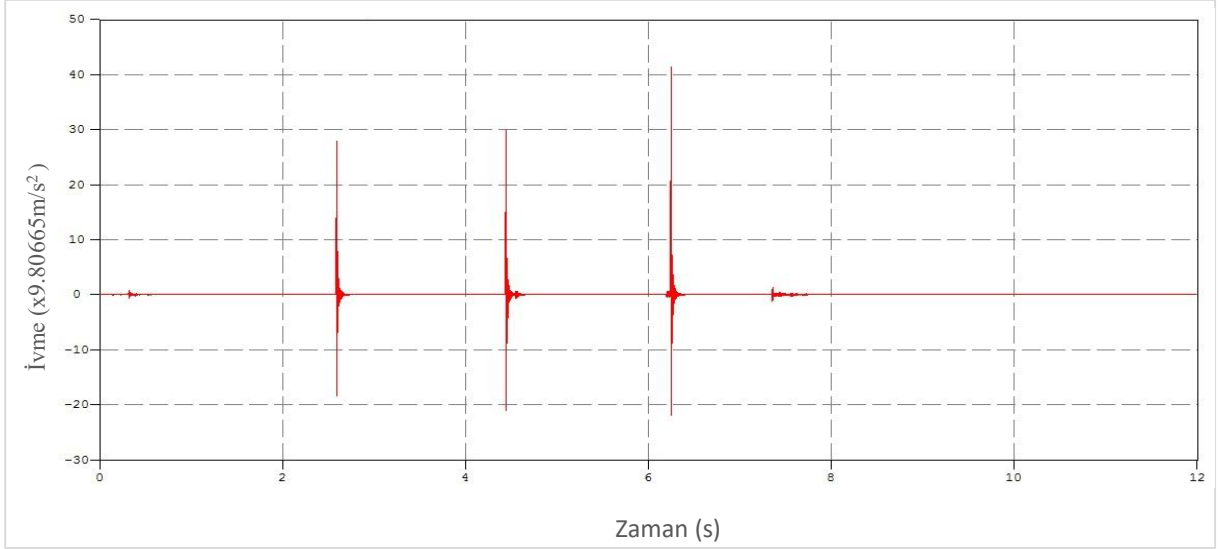
Şekil 3.21 7. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



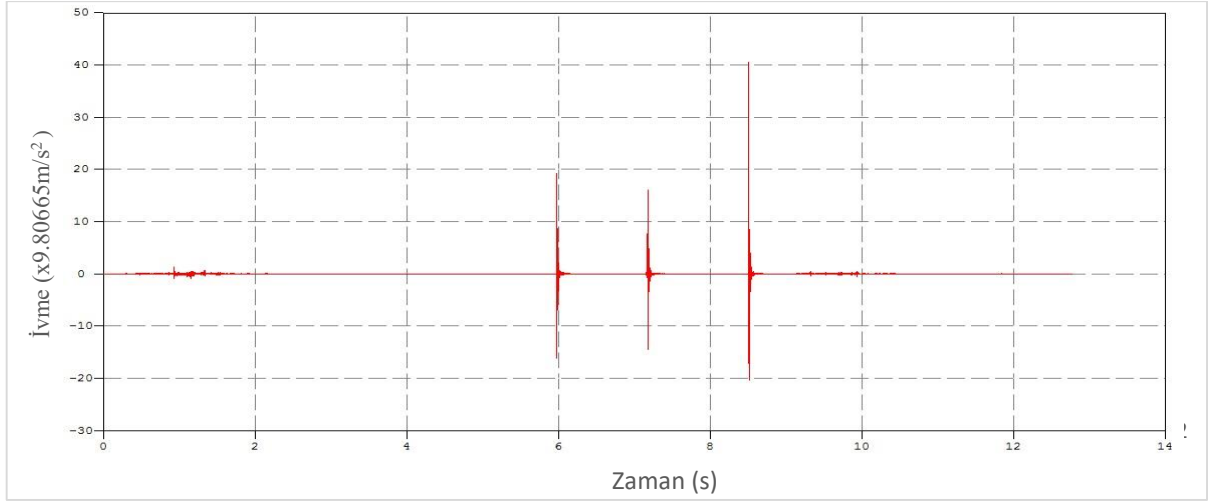
Şekil 3.22 7. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.



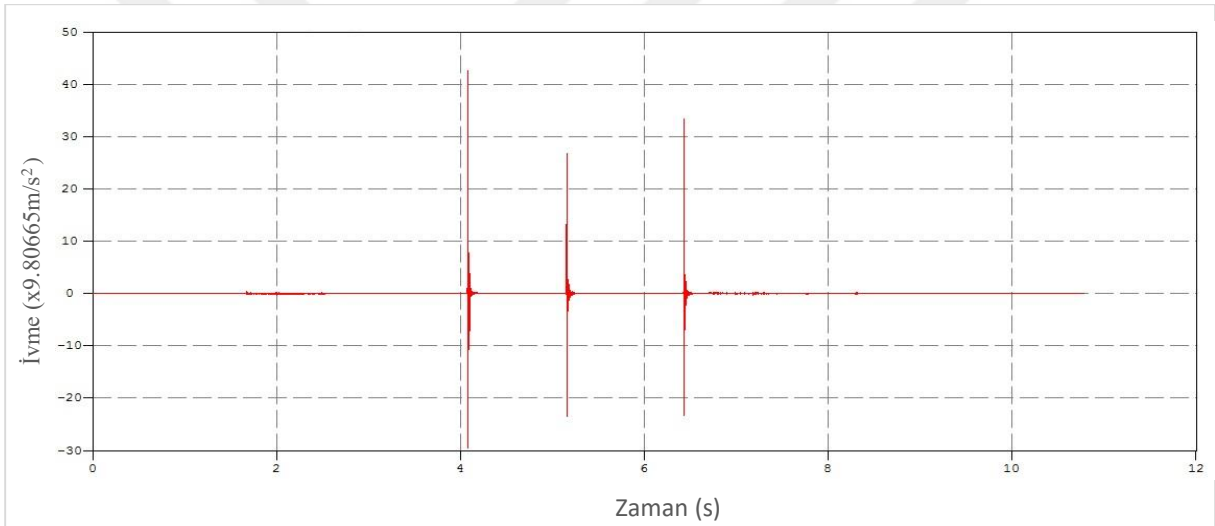
Şekil 3.23 8. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



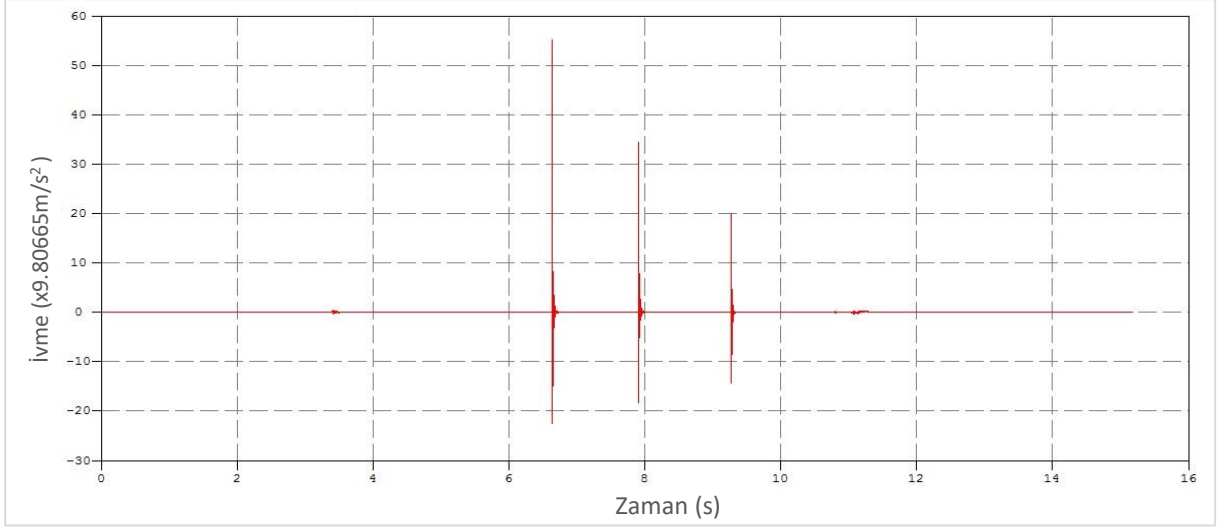
Şekil 3.24 8. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



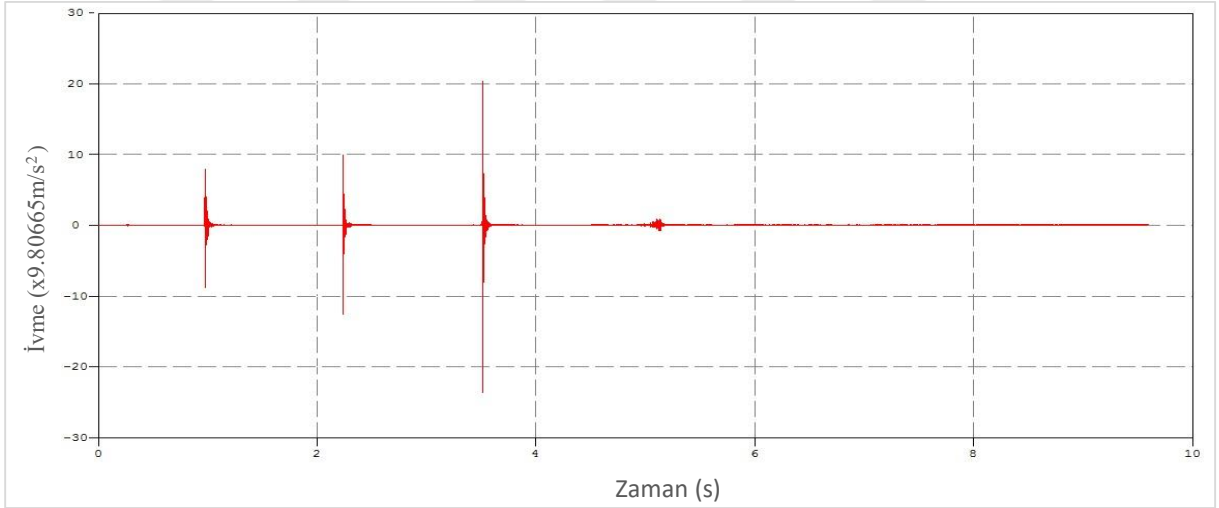
Şekil 3.25 8. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.



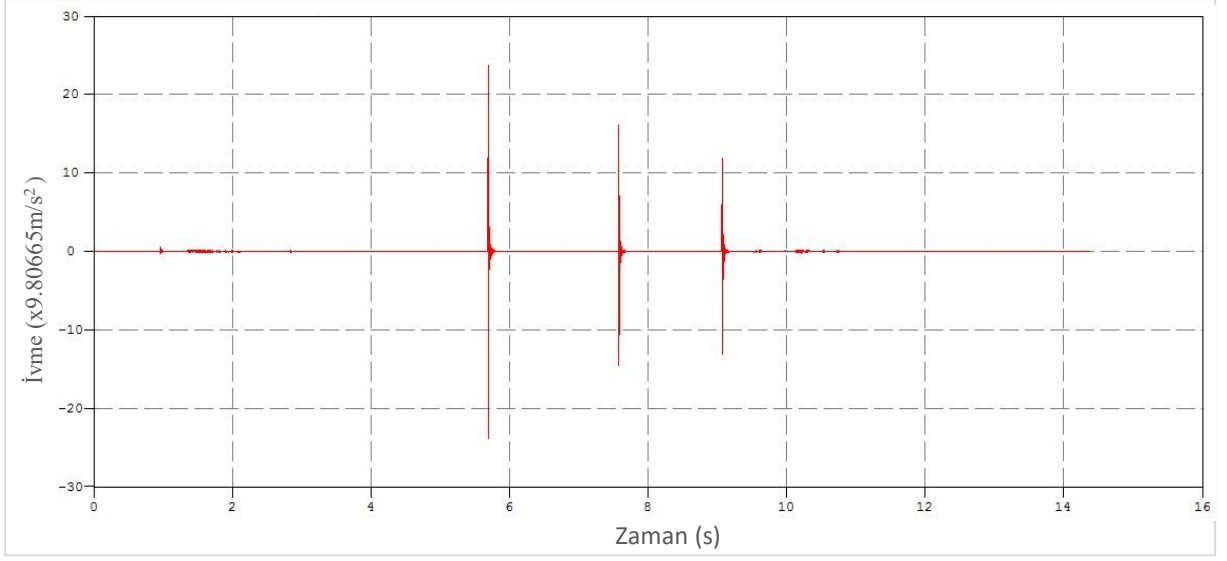
Şekil 3.26 9. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



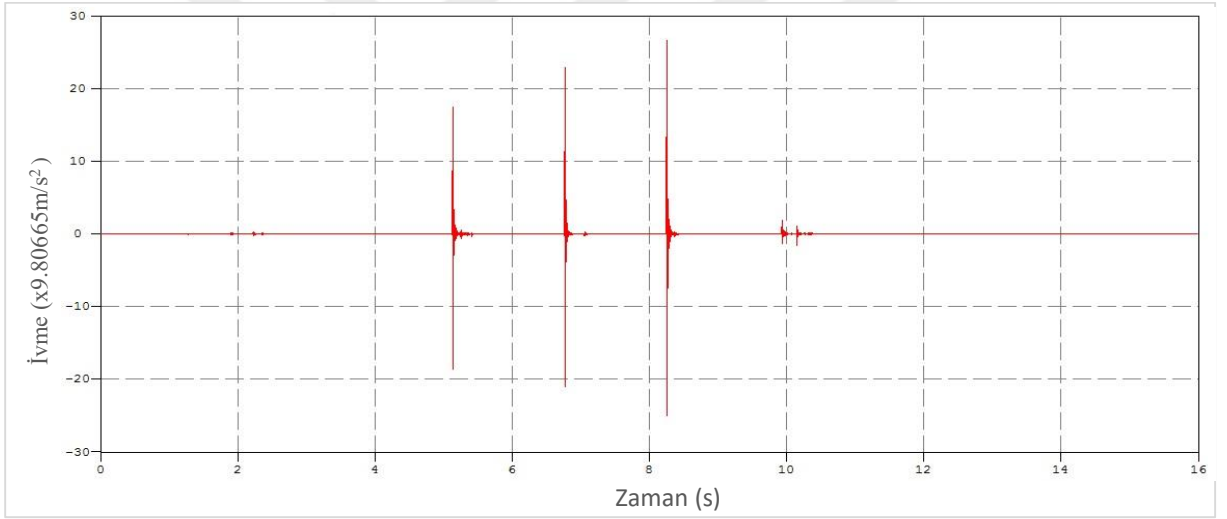
Şekil 3.27 9. numunenin 35°C'deki ivme-zaman grafiği.



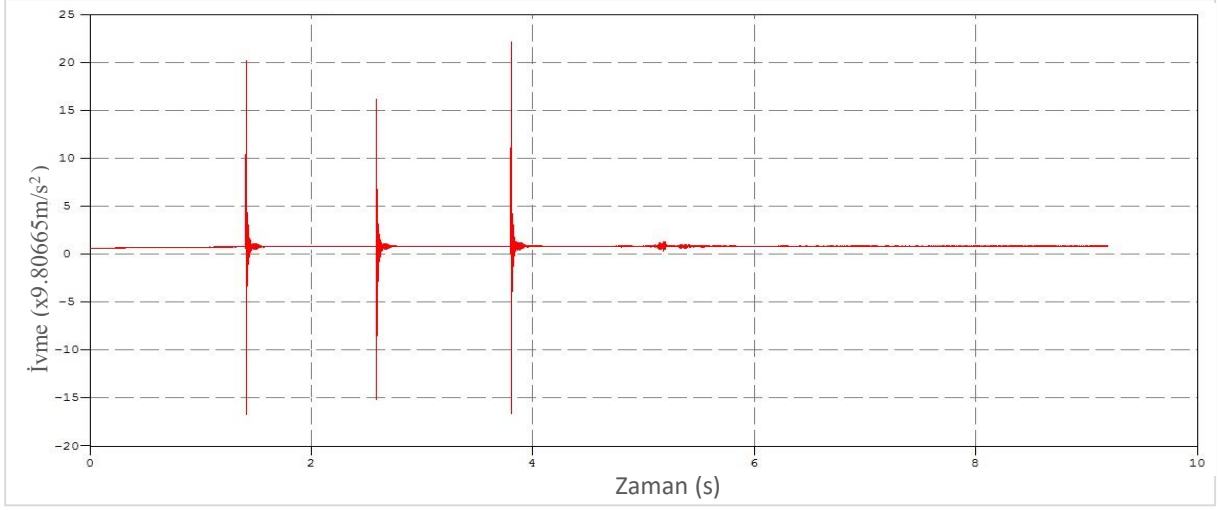
Şekil 3.28 9. numunenin 50°C'deki ivme-zaman grafiği.



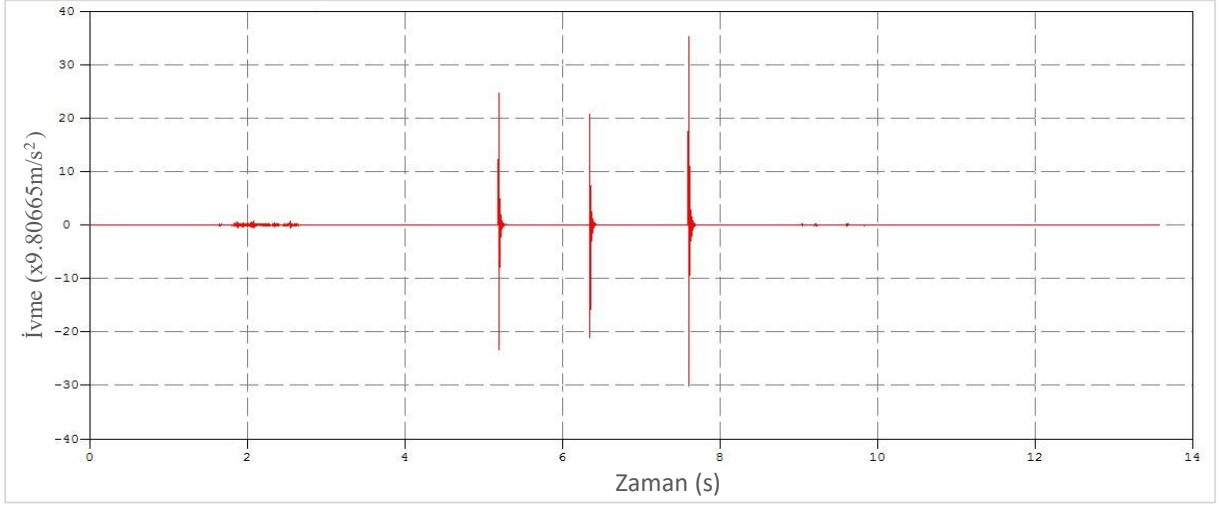
Şekil 3.29 10. numunenin 28°C’deki ivme-zaman grafiği.



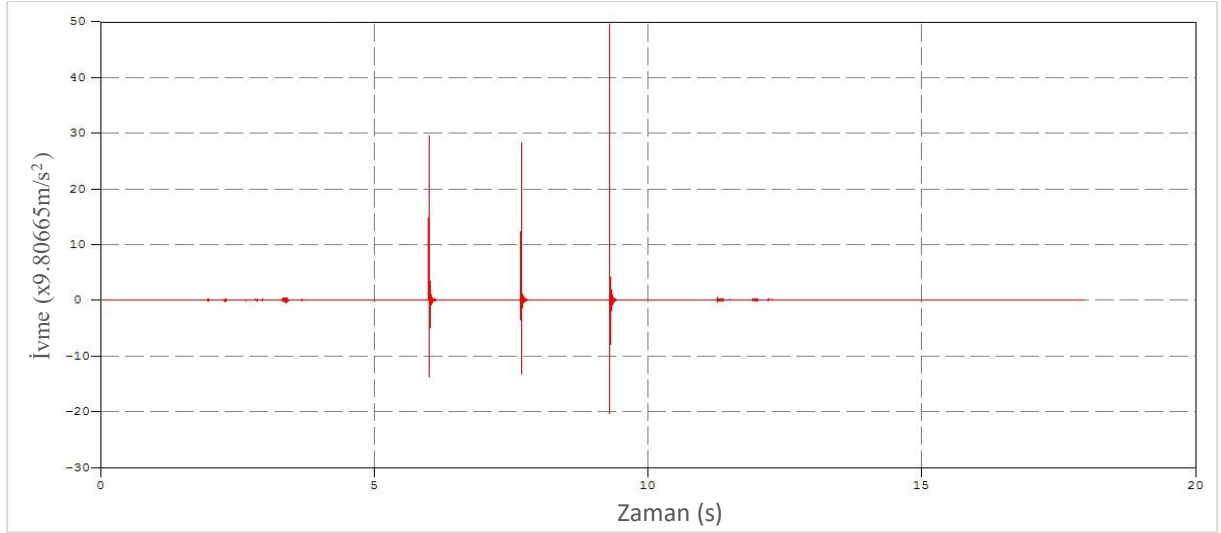
Şekil 3.30 10. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



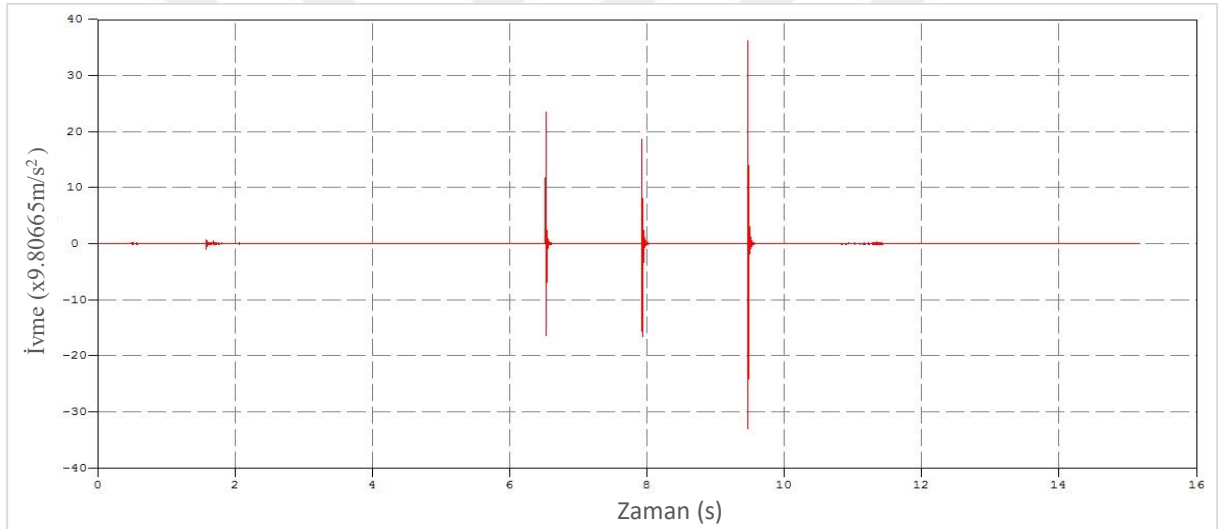
Şekil 3.31 10. numunenin 50°C 'deki ivme-zaman grafiği.



Şekil 3.32 11. numunenin 28°C 'deki ivme-zaman grafiği.



Şekil 3.33 11. numunenin 35°C’deki ivme-zaman grafiği.



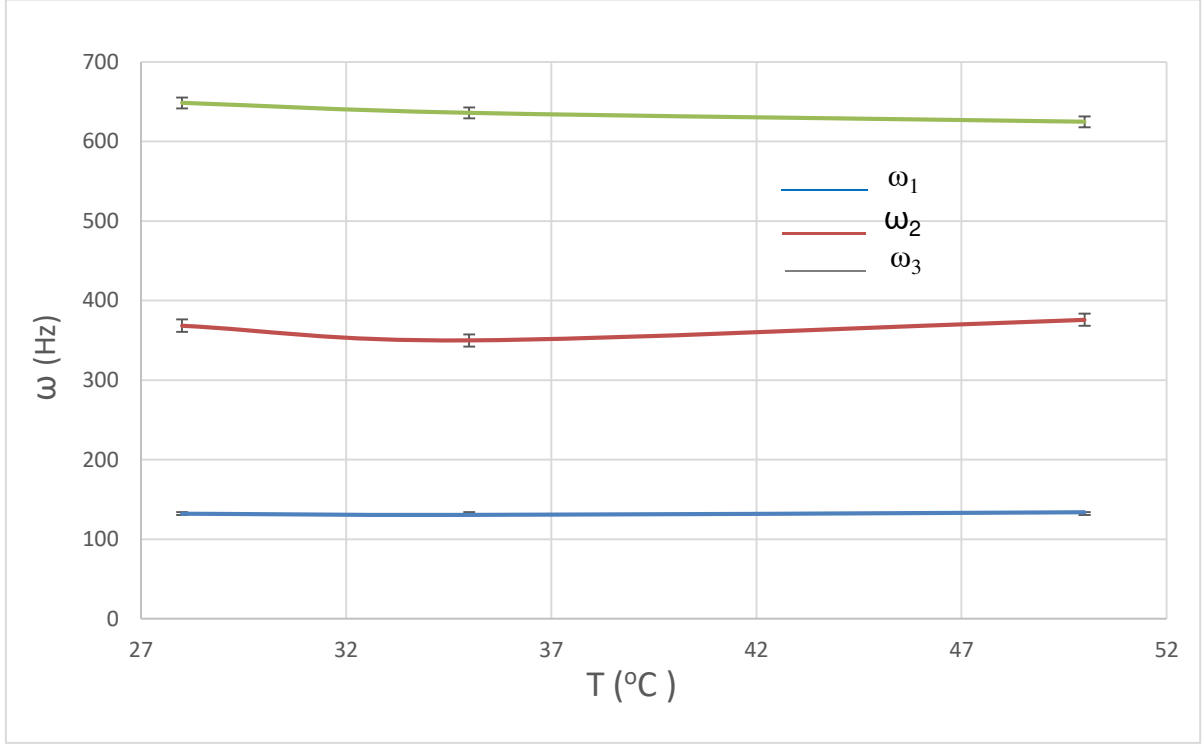
Şekil 3.34 11. numunenin 50°C’deki ivme-zaman grafiği.

3.1.2.2 Frekans Boyutundaki Sonuçlar

Çizelge 3.1 Deneyisel analizler ile ilk üç mod için elde edilen frekans değerleri.

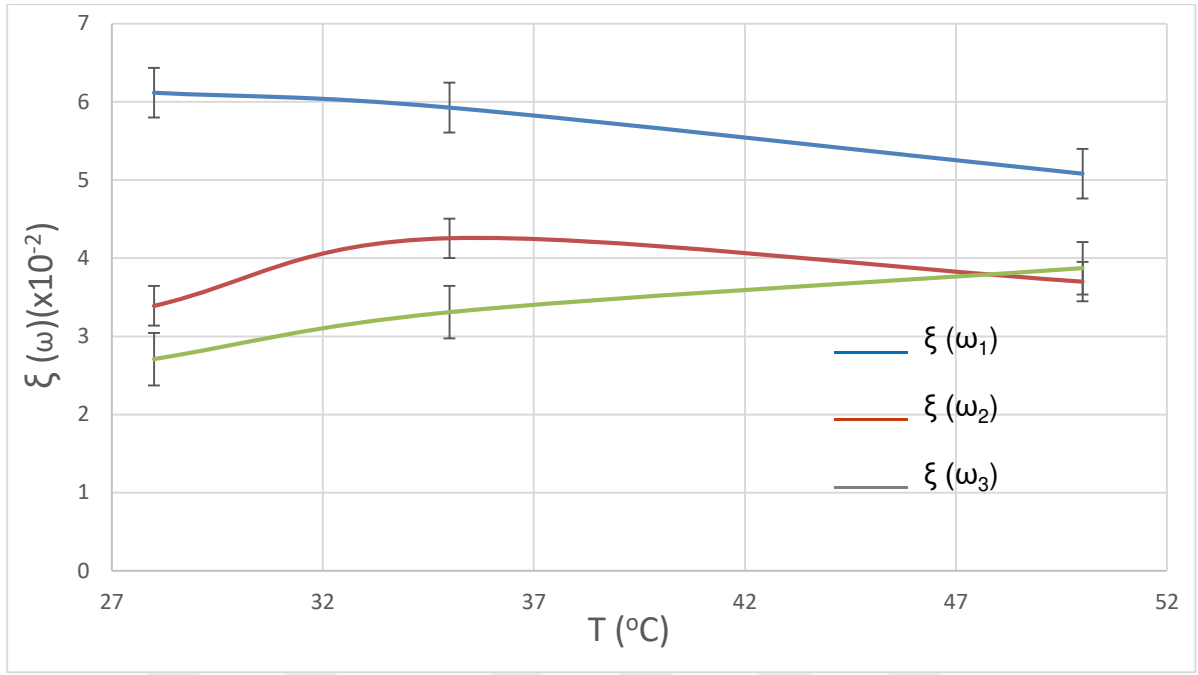
Frekans/Sıcaklık	28°C	35°C	50°C
ω_1	132.0740	130.5409	133.8901
ω_2	368.4245	349.8127	375.8990
ω_3	648.4573	635.8964	624.7355

28°C’deki frekans değerleri Mod I, Mod II ve Mod III sırasıyla artmıştır. Aynı şekilde 35°C’deki ve 50°C’deki frekans değerleri de ilk üç modun sırasıyla artmıştır. Şekil 3.35’de görüldüğü gibi numuneler 33°C-34°C’ye kadar rijitlik göstermiş ve frekans değerleri azalmıştır, bu değerden sonra malzeme direnç göstermeyi bırakmıştır. Frekans değerleri de bu sınır değerinden sonra ilk iki modda artış göstermiş, üçüncü modda ise azalmaya devam etmiştir.

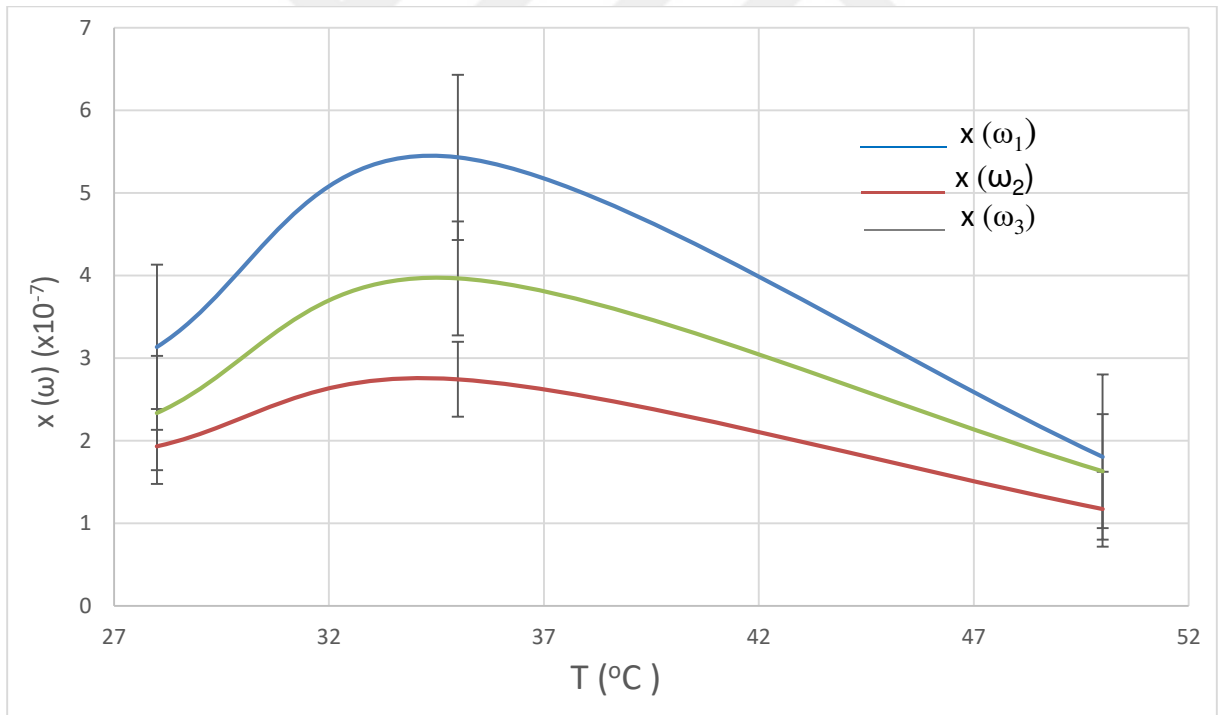


Şekil 3.35 İlk üç modun sıcaklıkla frekans değişimleri.

Çizelge 3.1’de 1.doğal frekans değeri, 2.doğal frekans değeri ve 3. doğal frekans değerlerini göstermektedir. 28°C, 35°C ve 50°C’deki mod değerleri karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar olduğu görülmektedir.



Şekil 3.36 İlk üç modun sıcaklıkla sönümlenme katsayısı değişimi.



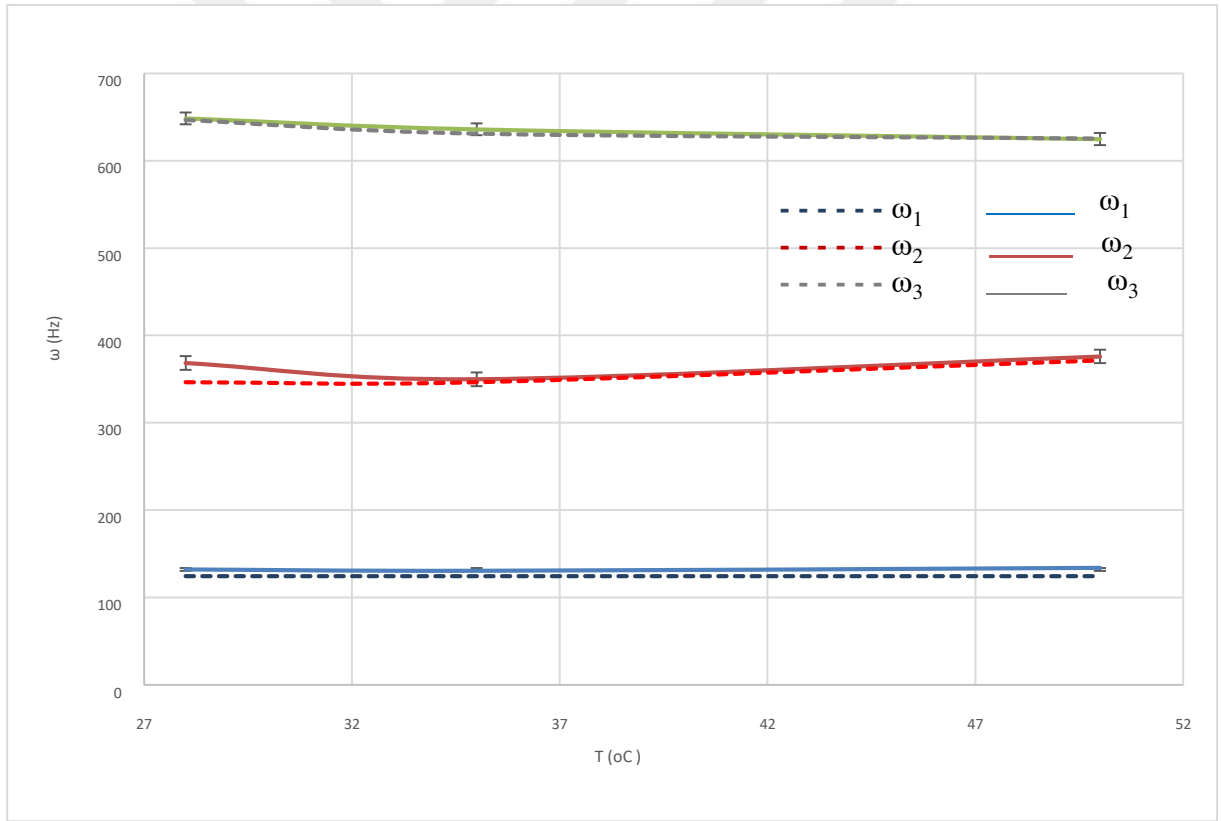
Şekil 3.37 İlk üç modun sıcaklıkla x değişimi.

Şekil 3.37 malzemelerin ilk üç modunda meydana gelen yer değiştirmeleri göstermektedir.

Şekil 3.37’deki grafiği incelediğimizde malzeme 33°C-34°C ‘ye kadar x değerinde sürekli artış görülmektedir. 33°C-34°C malzemenin rijitlik gösterdiği sınır değeridir. Sınır değerden sonra malzeme direnç göstermeyi bırakmıştır. Bu da sıcaklık arttıkça x değerinde azalmaya neden olmuştur.

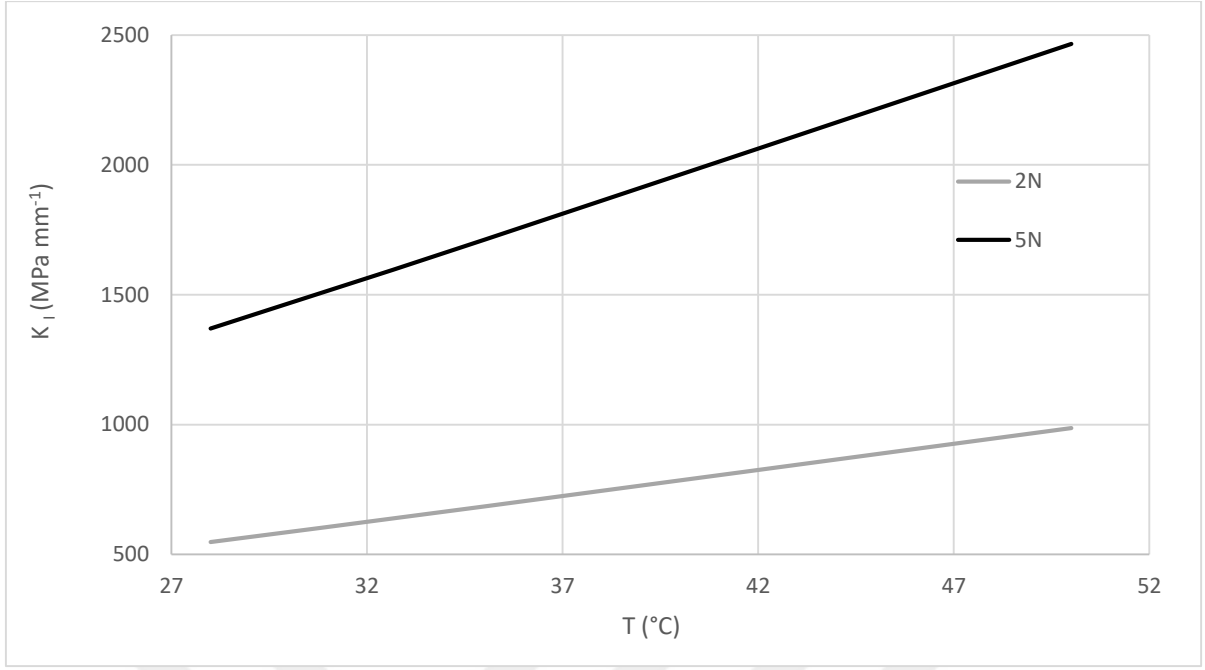
3.2 SAYISAL SONUÇLAR

MSC. Marc sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizlerden elde edilen frekans değerlerinin dinamik analiz deneylerinden elde edilen frekans değerlerine yakın olduğu şekil 3.38’deki grafikte görülmektedir. 1.modun frekans değerleri sıcaklıkla değişmemiştir. Ancak 2.modun frekans değeri 28°’den 35°C’ye kadar değişmemiş, 50°C’ye yükseltilirken artmıştır. 3.modun frekans değerleri ise sıcaklıkla birlikte azalmıştır.

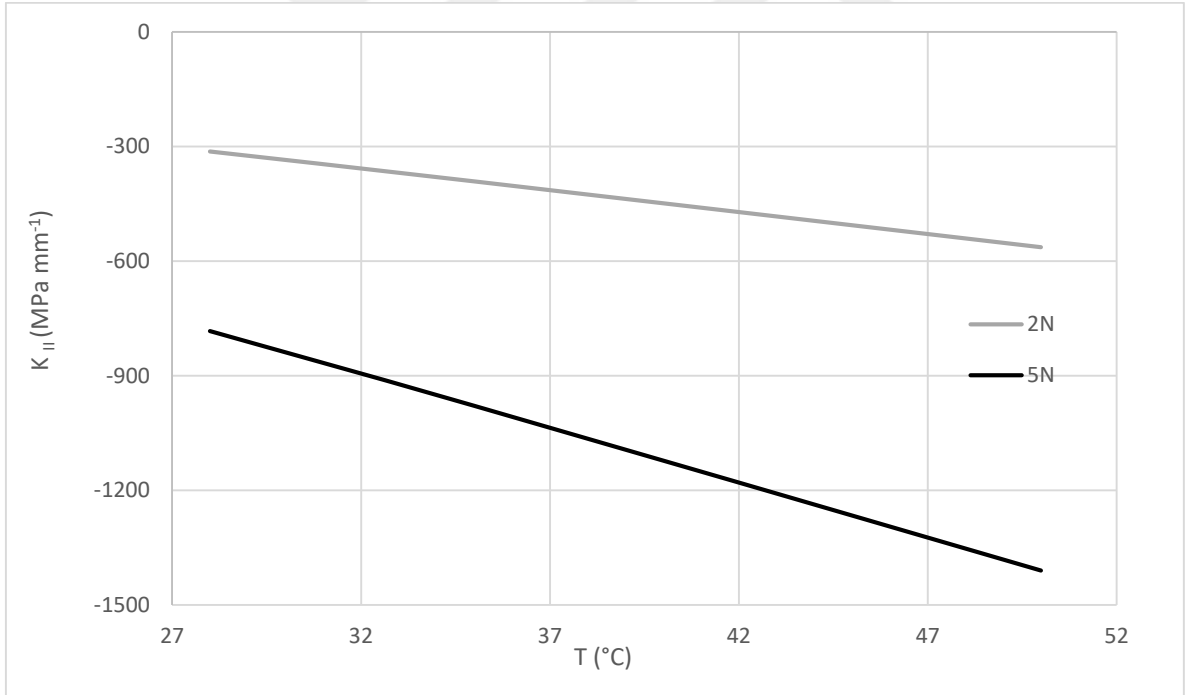


Şekil 3.38 Malzemenin üç modunun frekans değerlerinin deneysel ve sayısal karşılaştırması.

Eşitlik (1.8) ve (1.10) kullanılarak K_I ve K_{II} sonuçlarına ulaşılmıştır. 2N ve 5N yük uygulandığında 28°C, 35° ve 50°C’deki K_I açılma modu şekil 3.39’da görüldüğü gibi sıcaklık ile doğru orantılı olarak artmıştır.



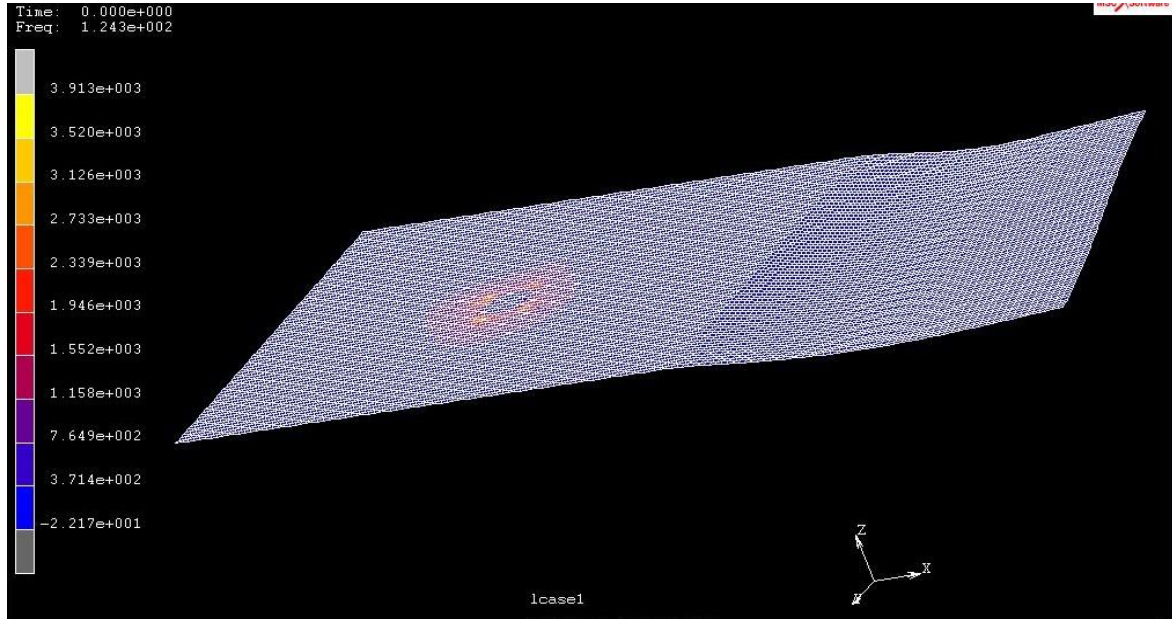
Şekil 3.39 Termal gerilmeler altındaki K_I değerleri.



Şekil 3.40 Termal gerilmeler altındaki K_{II} değerleri.

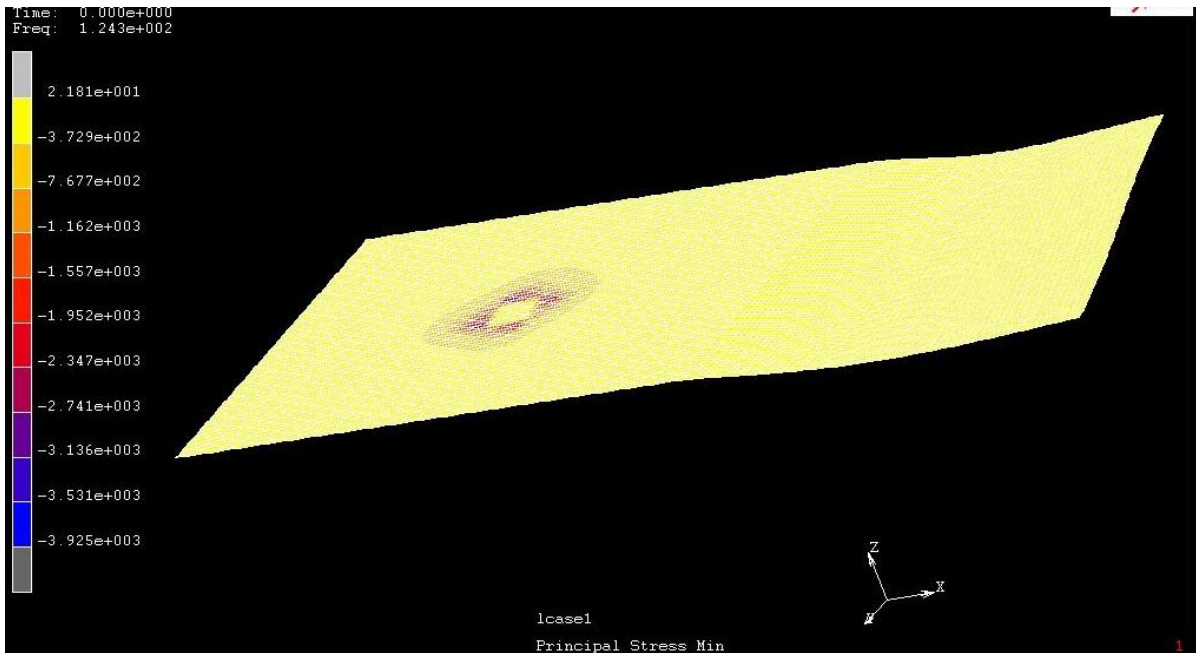
K_{II} gerilme şiddet faktörü de 2N yük uygulandığında -300 ve -600 MPa mm^{-1} arasında sıcaklıkla artış göstermiştir. 5N yük uygulandığında ise -750 ile -1400 MPa mm^{-1} arasında değiştiği

görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi K_I ve K_{II} gerilme şiddet faktörleri uygulanan yük ile ve sıcaklıkla ilişkilidir.

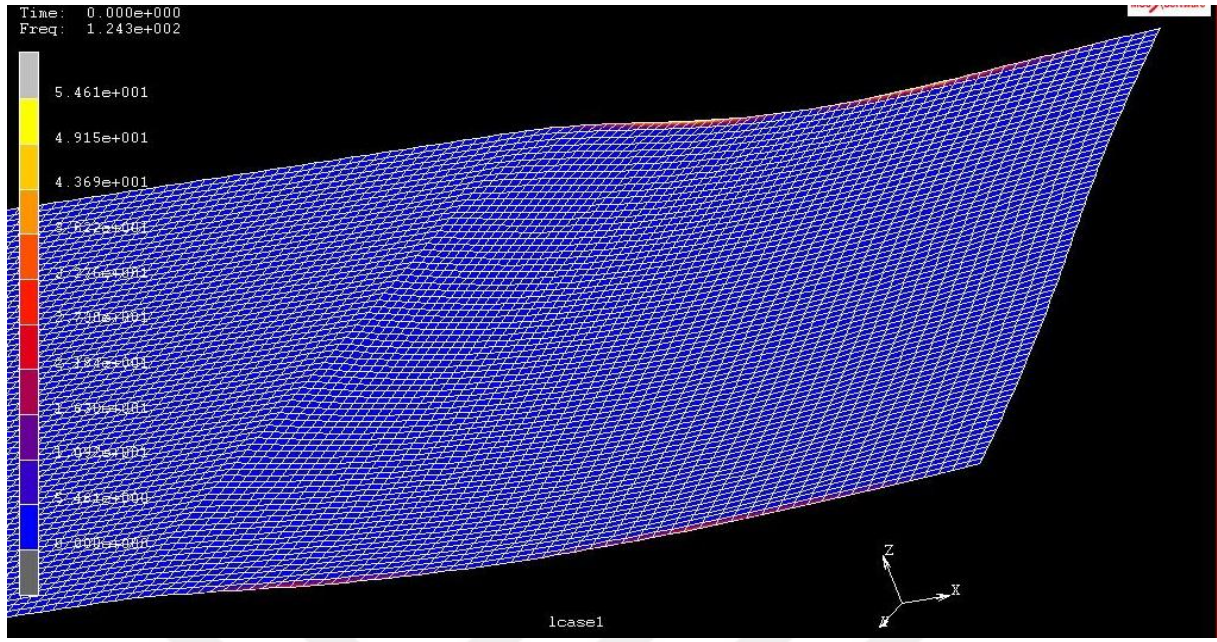


Şekil 3.41 1. Modun maksimum gerilmesi.

Şekil 3.41 'de Mod I için maksimum asal gerilmeler ve plastik bölgede oluşturduğu şekil değişimleri mevcuttur. Metal bölgede numuneleri sabitlediğimiz kısım ve çevresindeki gerilme farkları da açıkça görülmektedir.



Şekil 3.42 1. modun minimum gerilmesi.



Şekil 3.43 1. modun kayma gerilmesi.

Mod I için minimum asal gerilmeler ve plastik bölgedeki şekil değişimleri de şekil 3.42’ de verilmiştir. Minimum gerilme durumunda da metal bölgede numuneleri sabitlediğimiz bölüm ve çevresindeki gerilme farkları da açıkça görülmektedir.

Şekil 3.43’te de numunelerin Mod I için kayma gerilmeleri gösterilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **URL-1** < <https://ewi.org/dissimilar-materials-joining/> > , Ziyaret Tarihi: 22.03.2017
- [2] **Kinloch A J** (1997) Adhesives in Engineering. *Proceeding of the Institution Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 211(5): 307-335
- [3] **Baldan A** (2004) Adhesively-Bonded Joints and Repairs in Metallic Alloys, Polymers and Composite Materials: Adhesives, Adhesion Theories and Surface Pretreatment. *Journal of Materials Science*, 39:1-49
- [4] **Altan G** (2009) Değişik Sıcaklık ve Nem Etkisinde Çalışan Birleştirilmiş Kompozit Malzemelerin Yorulma Mukavemetlerinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 137 s.
- [5] **URL-2** < <http://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yapistirma.pdf> > , Ziyaret Tarihi:10.04.2017
- [6] **Kah P, Suoranta R, Martikainen J and Magnus C** (2014) Techniques For Joining Dissimilar Materials: Metals And Polymers. *Reviews on Advanced Materials Science*, 36: 152-164.
- [7] **URL-3** < <http://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Percin.pdf> > , Ziyaret Tarihi:10.04.2017
- [8] **URL-4** < <http://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Kaynak.pdf> > , Ziyaret Tarihi:21.04.2017
- [9] **He J and Fu Z** (2001) *Modal Analysis*. 1st edition, ISBN: 0 7506 5079 6, Butterworth Heinemann, Oxford, Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi, 291pp.
- [10] **Bayraktar A, Türker T, Altunışık A C, Sevim B, Şahin A ve Özcan D M** (2010) Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 337:5185-5205.
- [11] **Reynders E** (2012) System Identification Methods for (operational) Modal Analysis: Review and Comparison. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 19(1):51- 124.
- [12] **Rovscek D, Slavic J and Boltezar M** (2013) The Use of Strain Sensors in an Experimental Modal Analysis of Small and Light Structures with Free-Free Boundary Conditions. *Journal of Vibration and Control*, 19(7):1072-1079
- [13] **Avitabile P** (2001) Experimental Modal Analysis: A Simple Non-Mathematical Presentation. *Sound and Vibration*, 35(1): 20-31.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [14] **Schwarz B J and Richardson M H** (1999) *Experimental Modal Analysis*. CSI Reliability Week, California.
- [15] **Ewins D J** (2000) *Modal Testing: Theory, Practice and Application*, 2nd edition, ISBN: 086-380-218-4, Philadelphia, USA, 574pp.
- [16] **Batel M** (2002) Operational Modal Analysis – Another Way of Doing Modal Testing. *Sound And Vibration*, 36(8): 22-27.
- [17] **Brincker M, Zhang L and Anderson P** (2000) Output-Only Modal Analysis by Frequency Domain Decomposition. *Proceedings of ISMA 25*, Cilt:2.
- [18] **Wilson E J** (1961) Strain-Gage Instrumentation. *Shock and Vibration Handbook*, Harris M C(Ed.), 3rd edition, McGraw-Hill Book Company, New York, St. Louis, San Francisco, Auckland, Bogota, Hamburg, London, Madrid, Mexico, Milan, Montreal, New Delhi, Panama, Paris, São Paulo, Singapore, Sydney, Tokyo, Toronto.
- [19] **Orhan M H** (2001) Gerinim Ölçerli Yüksek Basınç Dönüştürücüsünün Deneysel Gerinim Analizi ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Doğrulanması. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 71s.
- [20] **Uysal A H** (2008) Sayısal Mutfak Terazisi Tasarımı. *Bitirme Ödevi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 41s.
- [21] **Moavin S** (1999) *Finite Element Analysis*. 1st edition, ISBN: 0-13-785098-0, Prencite Hall, New Jersey, 527s.
- [22] **Çil A** (2002) Yürüyen Merdiven Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi ve Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 97s.
- [23] **Ergin A, Bayraktarkatal E ve Ünsan Y** (2000) Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları. *Seminer Kitabı*, Türk Loydu Vakfı ve İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 95s.
- [24] **Çepni M ve Deniz R** (2005) Sonlu Elemanlar Yönteminin Dönüşümlerde Kullanılması. *Jeodezi, Jeinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 93: 20-29.
- [25] **URL-5** < <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10944.pdf/> >, Ziyaret tarihi:03.04.2017
- [26] **Dai I C** (2016) Structural Analysis and Improvement of Forklift Using Finite Element Method. *M.Sc.Thesis*, University of Gaziantep, Mechanical Engineering, Gaziantep, 47s.
- [27] **Yayla P** (2007) *Kırılma Mekaniği*. 1.basım, ISBN: 978-975-436-070-7, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 229s.
- [28] **MARC Mentat 2010.1.0**, MSC. Software Corporation, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ayşegül ALTUNTAŞ 1990 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlkokulu Kozlu Kocatepe İlköğretim okulunda, ortaöğrenimini Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. Lisans eğitimini 2009-2013 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesinde (Bülent Ecevit Üniversitesi) yapmıştır. Haziran 2015'den Şubat 2016'ya kadar Kozlu Belediyesinde İmar ve Şehircilik Müdürlüğünde makine mühendisi olarak görev yapmıştır. Eylül 2015'ten beri Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Fatih Sitesi Mahallesi
M. Kösterit Caddesi
24/6 Kozlu / ZONGULDAK

Tel : 0544 402 45 42

E-posta : aysglaltnts@hotmail.com