



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK TALAŞ TAKVİYELİ PLASTİK MATRİSLİ KOMPOZİTİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI

Onur ERDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Aralık-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK TALAŞ TAKVİYELİ PLASTİK MATRİSLİ KOMPOZİTİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAVRANIŞI

Onur ERDİ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanlar: Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ
Doç.Dr. Mesut UYANER

2012, 106 Sayfa

Jüri
Doç.Dr. Hüseyin İMREK
Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ
Yrd.Doç.Dr. İlhan ASİLTÜRK

Bu tez çalışmasında; imalat sektöründe, otomotiv sektöründe, çeşitli mühendislik alanlarında ve günlük hayatta bir çok yerde karşılaştığımız çeşitli sebeplerden dolayı oluşan darbe kuvvetlerinin bertaraf edilmesinde kullanılmak üzere iki farklı takviye malzemesinden üretilmiş iki tür kompozit darbe emicisi üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Üzerinde çalışılan kompozit karışımlar; ilk olarak çelik talaşı ile belirli oranlarda karışım yapılmış vinil ester reçine ve ikinci olarak granül haldeki atık kauçuk ile belirli oranlarda karışım yapılmış vinil ester reçinedir.

Üzerinde çalışılan malzemeler sabit presleme basıncında ve 3 farklı karışım oranında elde edilmiştir. Üretimde numune boyutlarını standart hale getirebilmek için değişken kütle - sabit hacim kuralı esas alınmıştır. Üretilen numunelere düşük hızlı darbe, basma ve çift kesme deneyleri uygulanmış ve kuvvet - zaman, kuvvet - yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklere bağlı olarak toplam enerjiyi yutma ve yansıtma oranlarındaki değişimler yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Basma deneyi, Çelik talaşı, Çift kesme deneyi, Düşük hızlı darbe deneyi, Granül kauçuk, Vinil ester reçine.

ABSTRACT

MASTER SCIENCE THESIS

LOW-VELOCITY IMPACT BEHAVIOR OF STEEL CHIP REINFORCED PLASTIC COMPOSITE MATERIAL

Onur ERDİ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisors: Asst.Prof.Dr. Yusuf YILMAZ
Assoc.Prof.Dr. Mesut UYANER

2012, 106 Pages

Jury
Assoc.Prof.Dr. Hüseyin İMREK
Asst.Prof.Dr. Yusuf YILMAZ
Asst.Prof.Dr. İlhan ASİLTÜRK

In this thesis, investigations were carried out on two types of composite for shock absorbing ability, which were produced two different reinforcement material . Disposal of impact forces generated from manufacturing sector, automotive industry, where we encountered various engineering fields and in a daily life due to various reasons. Composite mixtures studied, firstly the mixture of steel chip with vinyl ester resin were mixed in a specific proportions, secondly in certain amounts of mixture were made from a granulated waste rubber and vinyl ester resin were used.

The studied material was obtained at constant pressure by pressing and three different mixing ratio. Variable mass – Constant volume rule is used to standardization the size of the sample. Low-velocity impact, compression and double shear tests were applied to the samples and the force-time, force-displacement graphs were obtained. This chart depending on the changes the total energy absorption and reflection of the samples were interpreted with respect to these graphics.

Keywords: Compression test, Steel chip, Double shear test, Low-velocity impact test, Granulated rubber, Vinyl ester resin.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının tamamlanması için desteklerini benden esirgemeyen çok değerli tez danışmanlarım Sayın Doç.Dr. Mesut UYANER'e ve Yrd.Doç.Dr. Yusuf YILMAZ'a minnet ve şükranlarımı sunar, çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her konuda bana yardımcı olan Öğr.Gör.Dr. Memduh KARA'ya, Öğr.Gör.Dr. H.Burak KARADAĞ'ya, Arş.Gör.Dr. Volkan ESKİZEYBEK'e teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım süresince büyük bir sabırla bana destek olan eşime ve oğluma sonsuz teşekkür ederim.

Onur ERDİ
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. LİTERATÜR ÖZETİ **4**

3. DENEY MALZEMELERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ **7**

3.1. Çelik Talaşı 7
3.1.1. Talaş Oluşumu 7
3.1.2. Talaş Şekilleri 7
3.2. Vinil Ester Reçine 10
3.2.1. Tanımı ve Özellikleri 10
3.2.2. Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri 11
3.3. Granül Kauçuk (Granül haldeki Atık Araç Lastiği) 12
3.3.1. Tanımı ve Özellikleri 12
3.4. Vinil Ester Reçine Kürleyici Kimyasallar 14
3.4.1. Akcobalt CX1-6 Kobalt Oktoat Hızlandırıcı 14
3.4.2. Butanox M-60 (MEK-P) Sertleştirici 15
3.5. Polivaks SV-6 Kalıp Ayırıcı Vaks 16

4. DENEY NUMUNESİ HAZIRLANMASI **17**

4.1. Çelik Talaşlarının Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi 17
4.2. Granül Kauçuğun Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi 18
4.3. Deney Numunesi Üretim Kalıbı İmalatı 19
4.3. Deney Numunesi Yapılması 21

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **24**

5.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi 24
5.1.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi Düzeneği 25
5.1.2. Düşük Hızlı Darbe Deneyinde Geri Sekme (Rebound) 25
5.1.3. Darbe Deneyinde Kullanılan Ağırlık Düşürme Test Cihazı 26
5.1.4. Deneyin Yapılması 31
5.2. Basma Deneyi 33
5.2.1. Basma Gerilmesi Hesabı 36
5.2.2. Ezilme (Yığılma, eb) 37
5.2.3. Kesit Büyümesi Hesabı (Şişme) 38
5.2.4. Basma Deneylerinin Yapılması ve Basma Deneyi Test Cihazı 38

5.3. Kesme Deneyi 40
5.3.1. Kesme Deneyi Çeşitleri 41

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA 43

6.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi 43
6.1.1. Vurucu ile Deney Numunesi Arasındaki Temas Kuvvetleri 44
6.1.2. Kinetik Analiz İle Elde Edilen Kuvvet - Yer Değiştirme Değerleri 54
6.1.3. Düşük Hızlı Darbede Toplam Enerji Dağılımı 61
6.2. Basma Deneyi 65
6.3. Kesme Deneyi 77
6.3.1. Kesme Deneyi Aparatı 78

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 92

7.1. Sonuçlar 92
7.2. Öneriler 93

KAYNAKLAR 94

EKLER 96

ÖZGEÇMİŞ 97

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$d_{Talaş}$: Çelik talaşı yoğunluğu.

$d_{Kauçuk}$: Granül kauçuk yoğunluğu.

$d_{Reçine}$: Vinil ester reçine yoğunluğu.

h_0 : Numune boyu (mm)

d_0 : Numune çapı (mm)

σ_b : Basma gerilmesi (MPa)

P_i : Herhangi bir andaki basma yükü (N)

A_0 : Başlangıç kesit alanı (mm)

σ_a : Akma mukavemeti

A_i : P_i yükünün uygulandığı andaki numune kesiti (mm^2)

$\sigma_{b,g}$: Gerçek basma gerilmesi (MPa)

$\sigma_{b,m}$: Mühendislik basma gerilmesi (MPa)

e_b : Basmada mühendislik birim şekil değiştirmesi.

% e_b : Yığılma dayanımı (Ezilme).

h_1 : Numunenin basma deneyinde kısalan boyu

Ψ : Kesit büyümesi (şişme)

P : Uygulanan Maksimum Kuvvet (N)

A : Numune Kesiti (mm^2)

τ : Kayma (kesme) Gerilmesi (N/mm^2) (MPa)

Kısaltmalar

Ç.50-50 : Ağırlıkça % 50 Çelik talaşı, % 50 Vinil ester reçine içeren test numunesi.

Ç.60-40 : Ağırlıkça % 60 Çelik talaşı, % 40 Vinil ester reçine içeren test numunesi.

Ç.70-30 : Ağırlıkça % 70 Çelik talaşı, % 30 Vinil ester reçine içeren test numunesi.

HDT : Yük altında eğilme sıcaklığı.

K.50-50 : Ağırlıkça % 50 Granül kauçuk, % 50 Vinil ester reçine içeren test numunesi.

K.60-40 : Ağırlıkça % 60 Granül kauçuk, % 40 Vinil ester reçine içeren test numunesi.

K.70-30 : Ağırlıkça % 70 Granül kauçuk, % 30 Vinil ester reçine içeren test numunesi.

MEK-P : Metil Etil Keton Peroksit.

1. GİRİŞ

Mühendislik hayatındaki bir çok uygulamalarda çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkan darbe kuvvetleri çoğu zaman istenmeyen bir olgudur. Örneğin otomotiv sektöründe, hava araçlarında, çeşitli imalat sektörlerinde; hareketli veya sabit nesnelere dışarıdan gelebilecek istenmeyen darbe zararlarının en aza indirilmesi için sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

Darbe emicilerin asıl görevi üzerlerine gelen darbe zararlarını asgariye indirmektir.

Aynı zamanda diğer bir konu da tüm dünyada son yıllarda çevre kirliliğine sebep olan atıkların geri kazanımı, bu atıklardan tekrar kullanılacak faydalı bir malzeme elde edilmesi, atıkların tekrar işlenmesi ve hayata kazandırılması oldukça önemli bir konu ve sektör haline gelmiştir. Çünkü atıkların geri dönüşümü, çevre bilincinin oluşmasına ve bu konuyla ilgili yaptırımların artmasına neden olmuştur. Çevre kirliliğine sebep olan bor yağı içeren çelik talaşların ve çok ciddi depo hacimleri oluşturan atık kauçuğun (kamyon-tır lastiklerinin) bu çalışmada kullanılması; bu tür atıkların geri dönüşüm çalışmalarının yapılması adına büyük bir önem arz etmektedir.

Ulaşım araçlarında çeşitli nedenlerden dolayı trafik kazaları meydana gelmektedir. Bu kazalar iki araç arasında olabileceği gibi tek araç veya araç ile yaya arasında olabilmektedir. Bu kazaların oluşmasını engellemek için her ne kadar önlemler alınsa da yine de kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle araç tasarımı alanında kazaların önlenmesi ve kaza anında oluşacak can ve mal kayıplarının azaltılması için birçok yeni güvenlik önlemleri geliştirilmektedir. Bu güvenlik önlemleri aktif ve pasif güvenlik önlemleri olarak iki başlık altında toplanabilir. Aktif güvenlik, sürücünün kazadan kaçınması için taşıtın kontrol ve frenleme yeteneklerini artıracak şekilde bilgilendirme sistemleri ve kaza ihtimalini sezip aracı bu durumdan çıkaracak şekilde devreye giren kontrol algoritmalarını içerir. Pasif güvenlik ise bir kaza ile karşılaşılması durumunda, kazanın olumsuz etkilerini mümkün olduğunca azaltmak amacıyla araç üzerinde alınan malzeme değişikliği önlemi ve yapısal iyileştirmeler gibi tasarım önlemleridir (Öztürk 2008).

Araçların çarpışması durumunda araçtaki deformasyonun yolcu bölmesine doğru ilerlemesi güvenlik açısından istenmeyen durumlar ortaya çıkarabilir. Bu tür kazalarda aracın kinetik enerjisinin dengeli ve sürekli bir biçimde sönümlenmesi ile atalet etkileri azalır ve araç içindeki kişilere gelecek zararlar daha az olur. Araçların çarpışması

durumunda yolcu kabinine daha az zarar gelmesi açısından araç tamponlarının arkasında darbe emiciler kullanılır. Darbe emiciler, aracın sahip olduğu kinetik enerjiyi, plastik deformasyona uğrayarak belli bir oranda sönümlerler. Darbe emici blokların sönümleme özellikleri dikkate alınarak tasarlanmaları halinde, bu bloklar akordeon gibi katlanarak çarpışmadan doğacak olumsuz etkileri azaltırlar. Çarpışma anında ilk darbeyi alan tampondan sonra darbe emiciler üzerinde enerjinin belli bir kısmı absorbe edilir. Enerjinin absorbe edilmesi, darbe emicilerin akordeon şeklinde katlanarak plastik deformasyona uğraması ile gerçekleşir. İlk çarpma anında tampon deforme olarak belli bir miktar enerjiyi absorbe eder ve arkasından darbe emiciler deforme olmaya başlar, eksenel yönde gelen tepki kuvveti en yüksek değerine ulaşır, daha sonra tepki kuvvetleri ortalama bir değer etrafında salınmaya başlar. Bu sırada yapı yerel burkulmalar ile iç içe katlanarak kısalır (Öztürk 2008).

Bütün bu sebeplerden dolayı darbe emiciler üzerine bir çok araştırma çalışmaları mevcuttur. Gelişen teknolojinin getirdiği yenilikler ile beraber darbe emiciler genellikle daha iyi mekanik davranışları olduğundan dolayı çeşitli kompozit malzemeler üzerine gelişmiştir. Bu tez çalışmasında da kompozit darbe emiciler üzerinde çalışma yapılmıştır.

Çelik talaşı ve granül kauçuk takviyeli plastik kompozit darbe emicilerin imal usulleri ve darbelere karşı dayanımları araştırılmıştır.

Bu çalışmada, talaşlı imalat endüstrisinde üretimde hurdaya ayrılan metal talaşları ve granül haldeki atık kauçuk kullanılmıştır. Metal talaşı kullanımının sebebi kolay bulunabilir olması, metal tozuna göre oldukça ucuz olması ve geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılmasıdır. Ayrıca metal talaşlarının ergitilerek geri dönüşümünü sağlayan geleneksel geri kazanım işlemlerinden farklı olarak yani metal talaşlarının ergitilip kalıpta şekillendirmeksizin geri dönüşümünün ve ürünlerin şekillendirilmesinin yapılmasıdır.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuarında geliştirilen özel bir ağırlık düşürme test cihazı ile yapılmıştır.

Çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda vinil ester reçine matrisli çelik talaş takviyeli kompozit malzemelerin, ikinci kısımda ise vinil ester reçine matrisli granül kauçuk takviyeli kompozit malzemelerin üretim parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra bu malzemelerin darbe, basma ve kesme kuvvetlerine maruz kaldığında

davranışlarını incelemek üzere; düşük hızlı darbe, basma ve iki noktadan kesme deneyleri yapılmıştır.

Sanayiden talaşlı imalattan elde edilen atık çelik talaşları alınmış ve atık araç (kamyon-tır) lastiklerini fiziksel olarak parçalayıp tekrar değerlendirme işlemi yapan bir işletmeden granül halde kauçuk alınmıştır. Matris malzemesi olarak da vinil ester reçine kullanılmıştır. Çelik talaşların ve granül kauçuğun yüzeysel olarak şekli ve boyutu incelenmiştir. Çelik talaşın ve granül kauçuğun temiz olması, içerisinde farklı malzemeleri barındırmaması için de çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Çelik talaşların ve granül kauçuğun belli boyut aralığında olması istendiği için çelik talaşların boyutları kullanım şartına göre büyükse öğütme işlemine tabi tutulmuştur ve öğütme işleminden sonra belli boyut aralığına indirgenmiş çelik talaşları belirli ölçüde eleklerden geçirilerek istenilen boyut aralığına ulaşılmıştır. Granül kauçuk ise istenilen tane boyutu aralığında olması için eleme işlemine tabi tutulmuştur.

Numune karışımı hazırlanması sırasında ağırlık ölçümü için 0,01 gr. hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Ağırlıkça belli oranda bir kapta toplanan karışım, homojen bir dağılım elde edilinceye kadar belirli süre karıştırıcı içerisinde karıştırılmıştır.

Daha sonra yine bu çalışma kapsamında imalatı yapılmış numune üretim kalıplarının içerisine üretilecek kompozit numunelerin karışımından belirli miktarda doldurulmuş ve oda şartlarında sabit bir kuvvet altında preslenerek numune üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Numune üretiminde ilk aşamada; vinil ester reçine ile çelik talaşı, ikinci aşamada ise vinil ester reçine ile granül kauçuk belli oranlarda karıştırılarak iki farklı takviye malzemesi kullanılarak iki farklı tipte deney numunesi üretilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Son yıllarda yüksek dayanımlı aynı zamanda hafif malzemelere duyulan ihtiyacın artması ile metalik köpüklerin yapısal ve fonksiyonel malzeme olarak kullanımına ilgi artmıştır. Metalik köpüklerin yüksek dayanım, düşük yoğunluk, titreşim, ses ve enerji sönümleme gibi özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv, demir yolu taşımacılığı, gemi yapımı, hafif konstrüksiyonlar, uçak ve uzay sanayi gibi alanlarda kullanımına ilişkin yoğun çalışmalar devam etmektedir (Banhart 2001).

Plastiklerin en belirgin özelliği viskoelastik davranış göstermeleridir. Yani yük altındaki plastikte zamanla uzama meydana gelir. Uzamayı sabit kabul edersek zaman içersinde gerilmede azalma oluşur. Bu yüzden plastikler metallerden farklı davranış sergilerler. Bu da sürünme ve gevşeme şeklinde kendini göstermektedir. Sürünmenin tarifinden sabit bir gerilme altında malzeme sürekli şekil değiştirir. Gevşeme ise; sabit şekil değiştirme miktarında iken gerilmenin sürekli azalmasıdır (Ay 1992).

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. İki malzeme, orijinal malzemelerde elde edilemeyen bir özellik kombinasyonu elde etmek için birleştirildiğinde kompozitler üretilir. Kompozit malzemeler alışılmışın dışındaki rijitlik, mukavemet, ağırlık yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan kombinasyonları elde etmek için seçilebilmektedir (Erdoğan 1999).

Genel olarak, darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar. Fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilmediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak tanımlamışlardır. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine (uçak kanadı gibi) imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın (takım aleti) düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme içyapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe düşük enerjili darbe olarak da tanımlanır. Düşük hızlı darbede malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe tepkisi

malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hakim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Hasarları oluşturan darbe testleri genel olarak üç kategoride toplanmaktadır, bunlar; ağırlık düşürme testleri, sarkaç testleri (izod ve charpy) ve hava veya gaz silah (düşük hız veya balistik testler) testlerdir (Ceyhun 2003).

Darbeler genelde hızlarına göre düşük veya yüksek hızlı darbe olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırmanın sınırlarında araştırmacılar görüş birliğine sahip değildir. Bazı araştırmacılar hız sınırları vererek sınıflandırma yapmışlar ki bu sınırlarda bile görüş ayrılıkları vardır, bazıları ise kompozit malzemedeki hasar durumuna göre sınıflandırmayı tercih etmişlerdir. Bu ikinci tür sınıflandırmada malzemede sadece tabaka ayrılmaları oluyorsa düşük hız, kompozitte delinme oluyorsa yüksek hız olarak adlandırılır (Abrate 1998).

Dairesel metal tüplerin dışına cam epoksi kompozitler sarılarak eksenel darbe etkisi altında enerji sönümleme verimliliği incelenmiştir. Anlık hız ve deplasman değişimleri formüle edilerek, deneysel sonuçlar ile mukayese edilmiştir. 4 tip hasar modu tanımlanmış ve enerji sönümleme kabiliyeti-deformasyon oranı, kompozit et kalınlığı, lif kat çeşitliliği ve metalik mekanik özellikleri araştırılmıştır (*H.-W. Song 2000).*

Kompozit malzemeden oluşmuş tüplerin eksenel darbe anında enerji sönümleme yeteneğinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümü yapılmış ve bu analizler de kevlar-epoksi ve grafit-epoksi tüplerin üzerinde yapılan deneyler ile karşılaştırılmıştır. Bu analizler ve deneyler arasında belli bir uyum tespit edilmiştir (Gary L., Robert M. 1992).

Düşük hızlı darbe deneylerinde geri sekmenin (rebound) kontrolü ve önlenmesi deneyin güvenirliği açısından önem arz etmektedir. Bunun kontrolü genelde pnömatik sistemler sayesinde otomatik kontrolle yapılmaktadır. Bir sensör ve pnömatik bir piston yardımıyla bu sistem oluşturulmaktadır. Düşük darbe enerjisinden yüksek darbe enerjisine gidildikçe hasar oluşumu artmaktadır. Yüksek hızlı darbe enerjisi ile her iki durumda (frenleme açık-kapalı konum için) numunede hasar açısından çok büyük farklar oluşmazken, düşük hızlı darbe deneyinde frenlemenin aktif veya pasif olması durumunda hasar durumunda büyük farklar gerçekleşmiştir (Şenel 2009).

Ağırlık düşürme deneyinde elde edilen kuvvet–zaman değişimleri çan eğrisi şeklinde olmaktadır. Kaydedilen kuvvet hızla artarak azami bir değere ulaşmaktadır ve daha sonra sıfıra düşmektedir. Ayrıca darbenin başlangıcında grafiklerde bir salınım

meydana geldiği görülmektedir. Bu salınımların numunede meydana gelen titreşimlerinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Kuvvet en yüksek değerine ulaşıncaya kadar hasar oluşumunun hızla devam ettiği düşünülmektedir. Salınım miktarı arttıkça oluşan hasar miktarı da artmaktadır (Whittingham 2004).

3. DENEY MALZEMELERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Deneylerde kullanılan numuneler iki farklı tipte üretilmiştir. Üretilen numune karışımları Granül kauçuk - Vinil ester reçine ve Çelik talaşı - Vinil ester reçine şeklindedir.

Numunelerde matris olarak Vinil ester reçine, takviye malzemesi olarak bir kısmında çelik talaşı bir kısmında granül kauçuk kullanılmıştır.

Ayrıca vinil ester reçinenin kürlenmesi için sertleştirici ve hızlandırıcı kimyasallar kullanılmıştır.

Üretilen kompozit malzemenin bileşenlerine ait genel özellikler aşağıda beş bölüm halinde verilmiştir.

3.1. Çelik Talaşı

Bir kısım deney numunesi üretiminde takviye malzemesi olarak çelik talaşı kullanılmıştır. Kullanılan çelik talaşı testere talaşıdır.

Numunelerde kullanılan çelik talaşının nasıl oluştuğu ve kaç çeşit çelik talaşı olduğu bilgisi aşağıda verilmiştir.

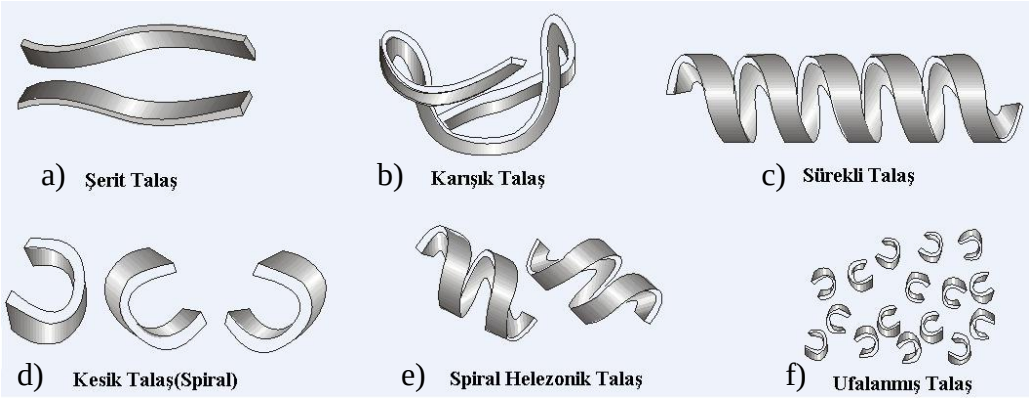
3.1.1. Talaş Oluşumu

Talaş kaldırma işleminde; elastik ve plastik şekil değiştirme, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kıvrılması ve büzülmesi, işlenen parçaların yüzey sertleşmesi, takım ucunun aşınması olayları meydana gelir.

Takımın parçaya belli bir kuvvetle basması ve kuvvet yönüne doğru hareket etmesiyle takım ucunun temas ettiği metal tabakası önce elastik, sonra plastik şekil değiştir ve metal tabakalarında akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır. Tabakanın parçadan ayrılma şekli parça malzemesi ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleşir (Erdem 2010).

3.1.2. Talaş Şekilleri

Torna, freze veya benzer diğer takım tezgâhlarında yapılan talaş kaldırma işlemlerinde farklı şekillerde talaş oluşmaktadır. Meydana gelen değişik talaş çeşitleri Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Çoğunlukla karşılaşılan talaş tipler; sürekli talaş, yığma talaş, segment tipi talaş, süreksiz talaş, dalgalı talaştır (Erdem 2010).



Şekil 3.1. Talaş Şekilleri (Erdem 2010)

3.1.2.1. Sürekli Talaş (Akma talaş) Tipi

Sürekli talaş tipinde, metalin akması takım yüzeyine yakın olduğu, takım/talaş ara yüzündeki sürünme veya talaş sıvanmasıyla daha fazla ertelenmediği zaman oluşur (Şekil 3.1c). Sürekli talaşla çok iyi yüzey kalitesi sağlandığından verimli kesme işlemi için ideal olmaktadır. Sünek malzemeler kesildiği zaman malzemedeki plastik akma, çok sayıdaki kristallerin kayarak kayma düzlemi üzerinde metalin deformasyona uğramasıyla meydana gelir. Kesikli talaşta olduğu gibi, metalin doğal sünekliği nedeniyle kırılmalar veya parçalanmalar meydana gelmez.

Dövme demir, yumuşak çelik, bakır, alüminyum gibi sünek malzemelerin yüksek kesme hızı ile oluşur. Bu koşullarda kesme kararlıdır. Talaş takım yüzü boyunca kayar (Erdem 2010).

3.1.2.2. Yığma Talaş (Yapışık Kararlı Talaş) Tipi

Akma talaş tipine benzer. Bu tip talaşa kesme kenarının talaş yüzüne bir miktar talaş yapışarak kesme kenarının şeklini ve geometrisini bozar. Bu talaş oluşumunda talaş ve takım arasında sürtünme çok büyüktür. Talaş malzemesi takım yüzüne kaynar. Bu kaynaklı malzemenin varlığı sürtünmeyi arttırır. Bu sürtünme talaş malzeme tabakası üzerine yeni talaş yığılmasına sebep olur. Yığma ağız giderek büyür ve sonra kararsız olduğu zaman kırılır. Kırılan parçalar bir miktar takım malzemesini de yerinden koparark takım üzerinde mikro oyuklar oluştururlar (Adezyon aşınması) ve takımı zayıflatırlar. Kırılan parçacıkların talaşın alt yüzeyinde takım yüzeyine temas ederek taşınırlar ve takım yüzeyinde mekanik bir hareketle aşınma meydana getirirler (Abrezif aşınma). Kararlı yığma ağzın, takım geometrisini bozasına rağmen takım ömrünü

arttırıcı etkisi vardır. Bu tip talaşa yumuşak malzemelerin orta kesme hızlarında işlenmesinde rastlanır (Erdem 2010).

3.1.2.3. Segment Talaş Tipi

Testere dişi benzeri dalgalanma gösterir. Kalın kısımlar düşük oranlarda deformasyona uğrarlar ve birbirleriyle şiddetli bir şekilde şekil değişmiş ince kısımlarla birleşmişlerdir. Titanyum gibi düşük ısıl iletkenliğe sahip malzemelerin işlenmesinde segment tipi talaşlarının en tipik örnekleri görülebilir (Erdem 2010).

3.1.2.4. Süreksiz Talaş (Kesintili Talaş) Tipi

Bu tip talaş, takım ağzından parça parça veya parçalar birbirine çok zayıf olarak yapışmış bir şekilde çıkar. Talaş oluşumu esnasında malzeme şiddetli uzamalara maruz kalır. Kesikli talaşlar (kopuk), dökme demir ve sert bronz, pirinç gibi gevrek malzemeler ve bazı sünek malzemelerin kötü kesme şartlarında işlenmesi durumunda oluşur. Böyle bir talaş Şekil 3.1d de gösterilmektedir. Kesici takım uç noktası, malzeme ile temasta olduğu zaman, bu şekilden görüldüğü gibi, malzemede basma meydana gelir. Talaş takım / talaş ara yüzeyi boyunca akmaya başlar. Kesme hareketiyle gevrek malzemeye daha fazla gerilim uygulandığı zaman, Şekil 3.1d de gösterildiği gibi, metal kırılmanın olduğu noktaya ulaşıncaya kadar basma gerilmesine maruz kalır ve talaş işlenmemiş kısımdan kopar. Bu çevrim kesme işlemi sırasında kayma düzlemi veya kayma açısı üzerinde oluşan her parçanın kırılmasıyla sınırsız olarak tekrarlanır. Genellikle bu birbiri ardından kırılmaların sonucu olarak, daha kötü bir iş parçası yüzeyi elde edilir.

Süreksiz talaş oluşumu bazı alaşımlarda bilinçli olarak gerçekleştirilir. Gerilim yükseltici ikinci fazlar yan yana sıkı paketlenmiş talaşın tamamen ayrılmasına neden olurlar. İkinci fazlar ve inklüzyonlar çoğunlukla primer ve sekonder kayma zonlarında kayma mukavemetini azaltırlar. Bu yüzden kesme kuvvetleri düşüktür. Talaş kaldırma kabiliyeti arttığı için yüzey bitirme iyileşir ve titreşim oluşturma eğilimi azalır (Erdem 2010).

3.1.2.5. Dalgalı Talaş

Özel koşullar altımda sürekli talaşların kalınlığı periyodik olarak değişim sergileyebilir ve dalgalı tip talaş oluşur. Dalgalı talaşın kalınlığı sinüzoidal bir değişim

gösterir. Kesme kuvvetlerinin periyodik olarak değişimi titreşim ve talaş kalınlığının değişmesine neden olur (Erdem 2010).



Şekil 3.2. Numune Üretiminde kullanılan Talaşlar

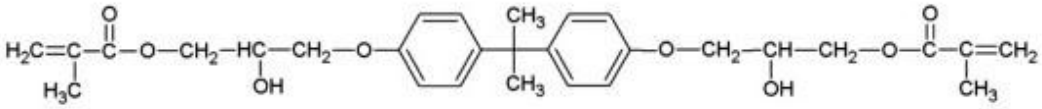
3.2. Vinil Ester Reçine

Deney numune üretimi sırasında matris malzemesi olarak vinil ester reçine kullanılmıştır.

3.2.1. Tanımı ve Özellikleri

Numunelerde matris malzemesi olarak Polives-701 Bisfenol-A Epoksi vinil ester reçine kullanılmıştır.

Vinil ester reçineleri; Epoksi reçine (epoksit) ile akrilik ya da meta-akrilik asidin reaksiyona sokulması elde edilir.



Şekil 3.3. Vinil Ester Reçine Kimyasal Formülü

Polives 701 Bisfenol-A epoksi bazlı, orta-yüksek reaktiviteli vinil ester reçinedir.

Vinil ester reçine uzun süre yüksek ısı dayanımı, yüksek korozyon direnci ve mükemmel yapışma özelliklerine sahiptir. Ayrıca asidik ve alkali ortamlarda performansı yüksektir.

Vinil ester reçinenin yüksek dayanım yanında esneklik imkanı sunan gelişmiş mekanik özellikleri ile, dinamik ve statik yük dayanımı gerektiren proses ekipman, yapı sektöründe, yarış ve sürat tekneleri, rüzgar sörfü, yelkenli direği, büyük boyutlu tekne yapımında cam elyaf ve/veya carbon-aramide elyaf ile takviye edilerek kullanıldığında uzun süreli yüksek performans elde edilmektedir.

Vinil ester reçinenin hidrolitik dayanımının yüksek olmasından dolayı sıcak su ve güneş kollektörleri, boyler depoları, termal banyo ekipmanları, balık üretme havuzları, büyük boyutlu tekne yapımı gibi su ile temas eden her alanda başarı ile kullanılabilir.

Vinil ester reçineler doymamış reçineler arasında yüksek sıcaklıklarda dahi kimyasal direnci en iyi olan reçinedir. Vinil ester reçine kostik gibi alkali-bazik maddelere ve oksitleyici asitlere karşı dayanıklıdır.

3.2.2. Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Vinil ester reçineler daha az polar grup içerdiklerinden dolayı, suya ve hidroliktik etkenlere dayanımları poliester reçinelerine oranla daha yüksektir. Yapılarındaki üstünlük, mükemmel kimyasal dayanım yanında esneme, uzama ve yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) gibi mekanik değerlerinin de çok yüksek olmasını sağlar.

HDT (Heat Deflection Temperature); Polimerlerden yapılan ürünlerin özelliklerini kaybettiği ve işlevini yapamadığı sıcaklığa maksimum kullanım sıcaklığı adı verilir. Maksimum kullanım sıcaklığının değeri yük altında eğilme testi ile belirlenir. Yük altında eğime testinde, yağ veya su banyosu içerisinde bulunan çubuk şeklindeki polimer örneğinin iki ucu alttan desteklenir ve ortasından sabit bir yükleme yapılır. Banyo sıcaklığı arttırılarak test örneği izlenir. Test örneğinin belli oranda eğildiği sıcaklık, ısıl eğilme sıcaklığıdır ve bu sıcaklık yük altındaki maksimum kullanım sıcaklığı olarak adlandırılır.

Vinil ester reçineler, asit ve bazlara karşı yüksek direnç göstermektedir. Vinil esterin yapısında bulunan serbest hidroksil uçları, bu reçinelerin cam elyafı, karbon elyafı ve aramid ile de takviye edilebilmesine olanak sunar.

Çizelge 3.1. Sıvı Haldeki Vinil Ester Reçinenin Özellikleri

S.N	ÖZELLİK	METOD	DEĞER
1	Yoğunluk	ISO 1675	1,044 gr/cm^3
2	Viskozite	ISO 2555, 23°C	400 cp
3	Renk	-	Sarı
4	Kullanım Aralığı	-	-30 - 180°C
5	Asit Değeri	ISO 2114	max. 9 mg KOH/gr
6	Kırılma İndisi	ISO 0489	1.565
7	Monomer Oranı	-	% 42
8	Jel Süresi	ISO 2535, 23°C	20 Dakika

Çizelge 3.2. Sertleşmiş Haldeki Vinil Ester Reçinenin Özellikleri

S.N	ÖZELLİK	METOD	DEĞER
1	Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)	ISO 0075-B	100 °C
2	Su Absorbsiyonu	ISO 0062	0,150 %
3	Eğilme Dayanımı	ISO 0178	160 MPa
4	Elastiklik Modülü	ISO 0178	4360 MPa
5	Kopmadaki Uzama	ISO 0178	6,90 %
6	Çekme Dayanımı	ISO 0527	80 MPa
7	Izod Darbe Dayanımı	ISO 0180	17 kj/m^2

3.3. Granül Kauçuk (Granül haldeki Atık Araç Lastiği)

Bir kısım deney numunesi üretiminde takviye malzemesi olarak granül kauçuk kullanılmıştır.

3.3.1. Tanımı ve Özellikleri

Numunelerin üretiminde ömrünü tamamlamış kamyon ve tır lastiklerinden elde edilen granül haldeki kauçuk kullanılmıştır. Bu granül kauçuk malzeme, Adana'da faaliyet gösteren Ün-sal Kauçuk Firması'ndan temin edilmiştir. Firmada ömrünü tamamlamış kamyon, otobüs ve tır lastikleri oda sıcaklığında mekanik olarak parçalanarak, kort ve çelik telden arındırılmış, 0.01 mm'den 4.0 mm'ye kadar kauçuk

toz ve granül imalatı yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kauçuk tozu, firmadan 0.25 – 3.0 mm tane boyutu aralığında kalibrelenmiş olarak alınmıştır.

Kamyon ve tır lastiğinin granül haline gelmesi fiziksel yöntemler ile yapılmaktadır.

Granül kauçuk üretimi, granül makinesi veya öğütme değirmeni makineleriyle yapılmaktadır. Granül makinesi, düzgün şekilli ve küçük yüzey alanına sahip küp şeklinde parçacıklar üretmektedir.

Manyetik ayırıcılar kullanılarak, çelik teller granül lastik içerisinden toplanmaktadır. Ayrıca granül lastik parçaları içerisindeki cam fiberler veya normal fiberler, hava püskürten ayırıcılar yardımıyla çıkarılmaktadır. Granül kauçuk parçaları, çift çevrimli manyetik ayırmaya maruz bırakıldıktan sonra, çeşitli boyutlarda sınıflandırılmış olarak torbalar içerisinde kullanım alanına göre sınıflandırılmaktadır.

Granül kauçuklar; tenis kortları, golf, futbol, basketbol sahaları, suni çim, dekorasyon, dekoratif çim, lastik ayakkabı ve çizme, lastik taban ve topuk imalatında, otomotiv sektöründe sert tekerlek, fren ve debriyaj balataları, sürtünme plakaları, lastik conta ve takoz imalatında kullanılmaktadır.

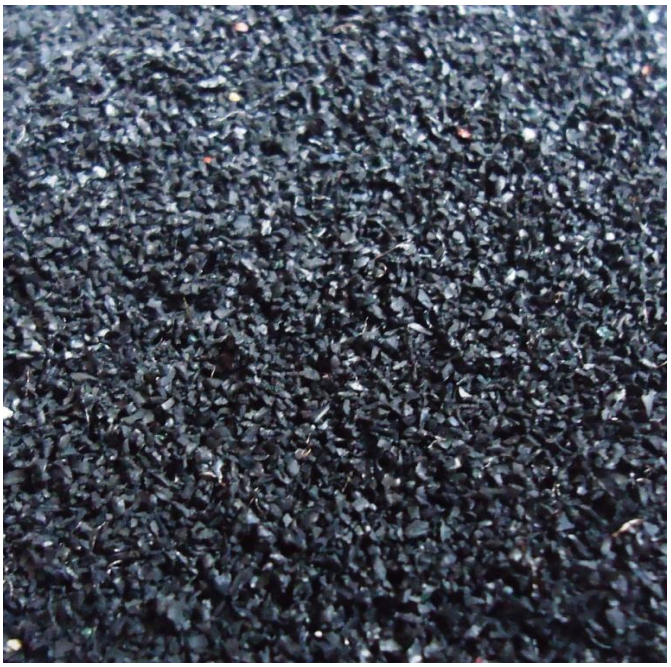
Granüle haldeki kauçuğun TSE laboratuarlarında yapılmış deneylere göre kimyasal özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.3. Granüle Kauçuk Özellikleri

Tanımı	Kauçuk Granül (0.5-1.50mm)
Toplam Kauçuk İçeriği (Doğal ve Sentetik)	58 % Minimum
Aseton Özeti	5-20 %
Karbon Siyahı	25-35 %
Ash (kül) at 550°C	15 % maksimum
Kükürt	1-3 %
Sertlik	60-79 IRHD
Renk	Siyah
Sıkıştırılmamış Yoğunluk	550 kg/m³

Ayrıca granüle kauçuğun fiziksel olarak karakterize edilmesi için fabrikadan temin edilen granül kauçuk elek analizi yapılarak fiziksel olarak karakterize edilmeye çalışılmıştır.

Şekil 3.4'de granül kauçuk resmi görülmektedir.



Şekil 3.4. Granül Kauçuk

3.4. Vinil Ester Reçine Kürleyici Kimyasallar

Numune üretimi sırasında matris malzeme olarak kullanılan vinil ester reçinenin daha hızlı bir şekilde kürlenmesi ve bu sayede özelliklerini daha çabuk ortaya çıkarabilmesi için belli oranlarda hızlandırıcı ve sertleştirici kimyasallar kullanılmıştır.

Vinil ester reçine içerisinde kullanılan vinil ester reçine kütlesinin % 1'i kütlesinde olacak şekilde Akcobalt CX1-6 Kobalt Oktoat ve yine aynı şekilde vinil ester reçine kütlesinin % 1'i oranında Butanox M-60 Metil Etil Keton Peroksit kullanılmıştır.

3.4.1. Akcobalt CX1-6 Kobalt Oktoat Hızlandırıcı

Kompozit sektöründe % 6 'lık Kobalt olarak bilinen bu hızlandırıcı kimyasal aslında; kobalt naftenat ve kobalt oktoat'ın çözeltisine verilen bir isimdir.

Kobalt esaslı hızlandırıcıların asıl kullanım nedeni, poliester ve vinil ester reçinenin sertleşme yani kür reaksiyonunu hızlandırarak bu reaksiyonun oda sıcaklığında gerçekleşmesini sağlamaktır.

Kobalt esaslı bu hızlandırıcılar sertleştiriciye yardım ederek reaksiyonu başlatırlar. Bu kür reaksiyonu sonucunda ürün sertleşerek katı formunu alır. Kullanım oranı istenen jel süresine ve ortam sıcaklığındaki istenen kür zamanına göre kütlece % 0,1-1 arasındadır.

Bu reaksiyon hızlandırıcı kimyasal vinil ester reçinenin sertleşmesinde MEK-P tipi sertleştiriciler ile çalışmaktadır.

Çizelge 3.4. Akcobalt CX1-6 Hızlandırıcının Özellikleri

Tanımı	Akcobalt CX1-6
Yoğunluğu	0,931 gr/cm^3 (25°C)
Viskozitesi	6,5 - 7,5 mPa.s (20°C)
Görünümü	Mavi-Menekşe Renkli Sıvı
Kobalt İçeriği	9,8 % - 10,2 %
Alevlenme Sıcaklığı	62°C
Çözücü	Özel Mineral Spirit
Kullanım Oranı	Kütlece % 0,1- % 1,0

3.4.2. Butanox M-60 (MEK-P) Sertleştirici

Butanox M-60 kompozit sektöründe polyester ve vinil ester reçine ile kullanılan bir sertleştiricidir.

Reçine ile reaksiyona girerek sıvı formdan katı forma yani ürünün oda sıcaklığında sertleşmesini - kürlenmesini gerçekleştirir.

Butanox M60'ın içeriği olan Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P) organik bir peroksittir. Bu tür bileşikler kendi başlarına kararsız bir yapıdadır bu sebepten asal (inert) maddeler ile karışım formunda bulunurlar.

Çizelge 3.5. Butanox M-60 MEK-P Sertleştiricinin Özellikleri

Tanımı	Butanox M-60 MEK-P
Yoğunluğu	1,170 gr/cm^3 (20°C)
Viskozitesi	25 mPa.s (20°C)
Görünümü	Renksiz Parlak Sıvvı
Peroksit İçeriği	36 %
Toplam Aktif Oksijen İçeriği	9,8 - 10 %
Alevlenme Sıcaklığı	60°C
Çözücü	DMP
Kullanım Oranı	Kütlece % 0,1- % 1,0

3.5. Polivaks SV-6 Kalıp Ayırıcı Vaks

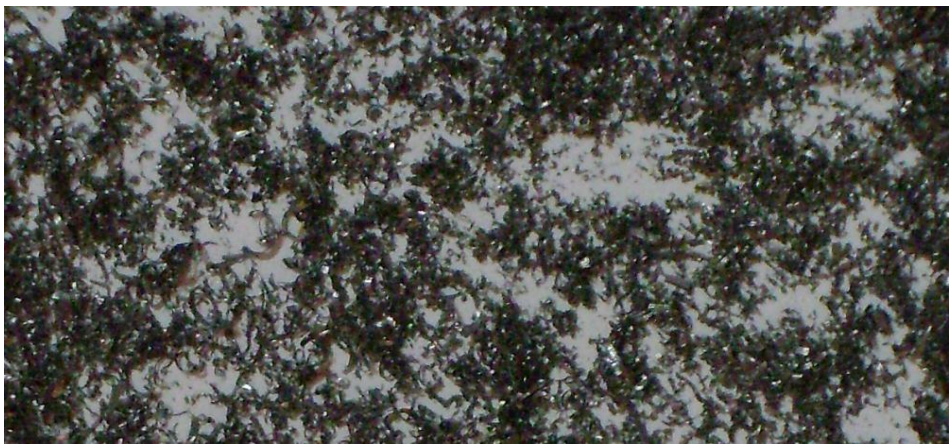
Numune üretimi sırasında vinil ester reçine matristen oluşan deney numunesinin deney numunesi üretim kalıbından rahat bir şekilde çıkarılması için vinil ester reçine ile reaksiyona girmeyen Polivaks SV-6 tipi vaks halinde olan kalıp ayırıcı kullanılmıştır.

4. DENEY NUMUNESİ HAZIRLANMASI

Deney numunesi üretilmesi sırasında kullanılan çelik talaşı ve granül kauçuk numune üretimi için kullanılmadan önce bir takım işlemlerden geçirildi. Bu işlemlerden sonra önceden belirlenmiş ilerleyen bölümlerde açıklanacak olan kriterlerde 60 adet deney numunesi hazırlandı.

4.1. Çelik Talaşlarının Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi

Numune üretiminde kullanılacak olan çelik talaşı numune üretiminde kullanılmadan önce bir takım işlemlere tabi tutuldu. Testere talaşı oluşurken testerede birtakım kesme sıvıları kullanıldı. Bu kesme sıvıları yağlı ve kaygan olduğundan çelik talaşlarının vinil ester reçine ile tam bir bileşim oluşturmasını engelleyeceği için temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.1. Öğütülmüş ve yıkanmış çelik talaşı

İkinci bir husus da talaş parçacıklarının boyut ve şeklidir. Talaşlar üretim sırasında bir önceki başlıkta da anlatıldığı gibi kesici uç tarafından zorlanır ve çeşitli şekillerde ve farklı boyutlarda atılır. Bu bilgiler ışığında Şekil 4.1'de görülen çelik talaşının kullanıma hazır hale gelinceye kadar geçirdiği prosesi aşağıdaki şekilde listeleyebiliriz:

- Alınan çelik talaşları ilk önce tozlardan organik artıklardan ve çelik dışı metallerden temizlenmek üzere bir mıknatıs yardımıyla ayrıştırıldı.

- Talaşlar 1 mm² lik bir elekten geçirilerek elek üstünde kalanlar kırılıp aynı boyuta getirilmek üzere kırıcıya gönderildi.

- Numune boyutları standart hale getirilmiş talaşlar daha sonra alınarak yıkama işlemine geçildi. Yıkamada yağı çözebilecek aynı zamanda metale zarar vermeyecek bir sıvı kullanıldı. Bu işlem için ideal sıvılar selülozik tinerdir. Elenmiş talaşlar yayvan bir tekneye döküldü ve üzerini örtecek kadar selülozik tiner doldurularak 10 dk. beklendi. Bu işlem sırasında sağlığımızın zarar görmemesi açısından bulunduğumuz ortamın atmosfere açık bir alan olması tercih edildi. Ayrıca selülozik tinerden zarar görmeyen ve su geçirmez eldivenler tercih edildi.

- 10 dk. bekletilen talaşlar bir çırpıcı yardımıyla iyice karıştırıldıktan sonra süzgeçten geçirilerek yağlı tiner bertaraf edildi ve talaşlar sıvı emici bir kağıt havlu üzerine serildi. Bu işlem üç kez tekrarlandı daha sonra 1 gün kadar talaşlardaki tinerin tamamen uçması için geniş bir kaba çelik talaşlar serilerek beklendi.

4.2. Granül Kauçuğun Kullanıma Hazır Hale Getirilmesi

Deney numunesinde kullanılmak üzere daha önceden fabrikadan temin ettiğimiz 0.25 - 3.00 mm arasında sınıflandırılmış granül kauçuk alınarak elekler yardımı ile laboratuar ortamında önce 2.00 mm elekten geçirilerek elekten geçen granül kauçuklar alındı. Daha sonra alınan bu granül kauçuklar 0.50 mm elek ile tekrar elendi ve bu kez de elek üstünde kalan granül kauçuklar alındı. Bu eleme işlemi 3 kez tekrarlanmıştır.

Eleme işlemi sayesinde 0.50 mm tane boyutundan küçük granül kauçukların ve 2.00 mm tane boyutundan büyük granül kauçukların numune üretimine girmesi önlenmiştir. Eleme işlemi sayesinde granül kauçuğun tozu da atılmış oldu.

Bu sayede deney numunesi üretiminde 0.50 - 2.00 mm arası dağılımlı granül kauçuğun kullanılması sağlanmıştır.

Daha sonra bu 0.50 - 2.00 mm arası dağılımlı granüle kauçuğun kendi içerisindeki dağılımı hakkında fikir edinmek ve aynı zamanda kullanmış olduğumuz granül kauçuğu fiziksel olarak karakterize edebilmek için içerisinden 100 gr. numune alınarak elek analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Granül Kauçuk Elek Analizi (100 Gr)

Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan Malzeme Miktarı (gr)
2,00	0,25
1,75	16,25
1,50	19,40
1,25	20,25
1,00	23,70
0,75	9,65
0,50	10,25

4.3. Deney Numunesi Üretim Kalıbı İmalatı

Deney numunesinin üretilmesi için 4 parçadan üretilmiş numune üretim kalıbı yapıldı. Deney numunesi üretim kalıbı numune üretiminin hızlı olması için 2 adet yapıldı bu sayede birbirine yakın özellikte deney numuneleri elde edildi. Numune üretim kalıpları çelik (CK-45) malzemeden yapılmıştır.

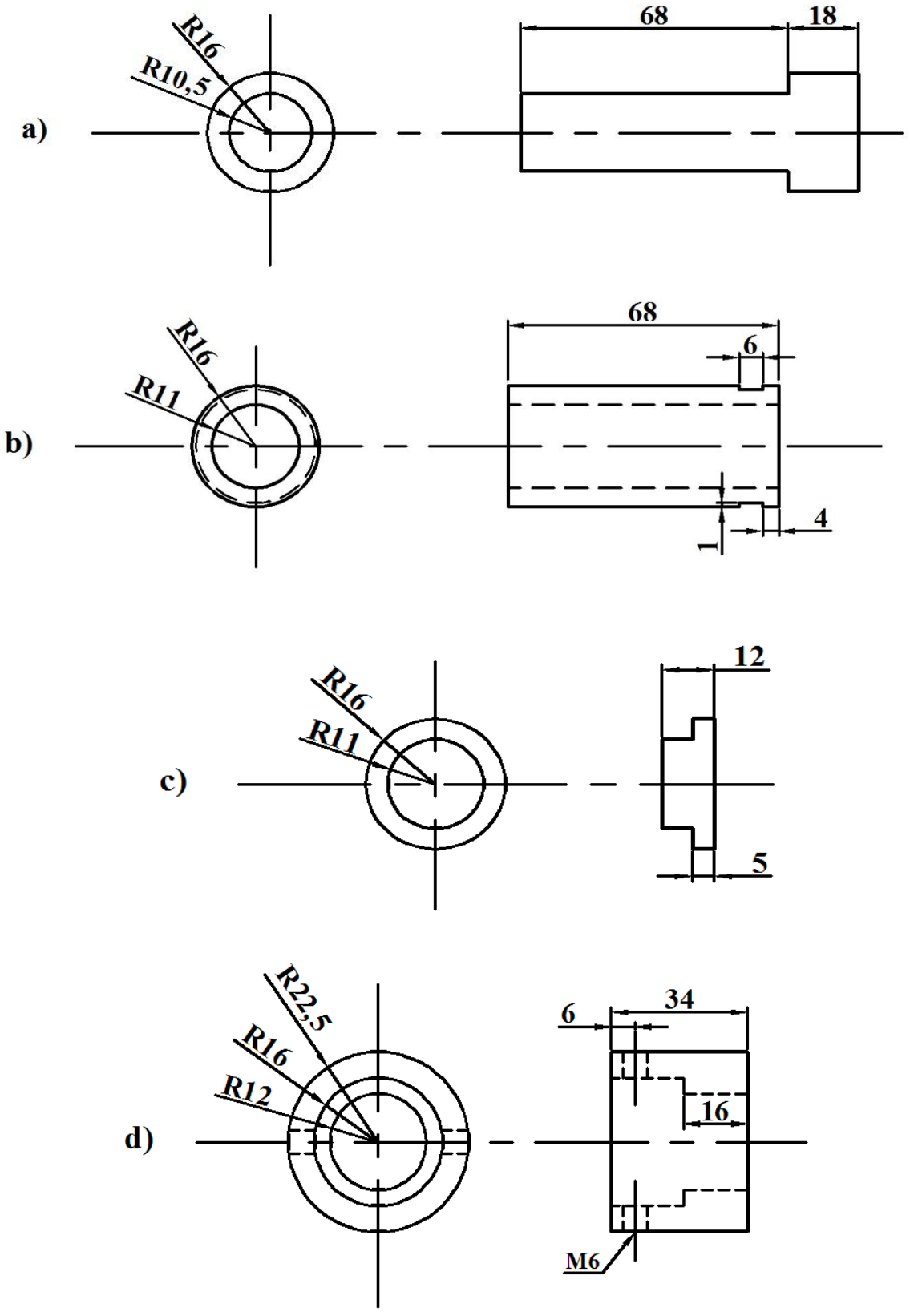
Şekil 4.2'de numune üretiminde kullanılan kalıbın boyutları Şekil 4.3'de ise kalıbın resmi görülmektedir. (a) da görülen kalıp hareketli olan kısımdır. (b) numunenin doldurulduğu kısımdır. (c) de alt durdurma pulu ve (d) çok amaçlı gövde bulunmaktadır.

Montaja başlamadan gövde (d) üzerine pul (c) yerleştirildi. Daha sonra pul ile sınırlandırılan gövdeye dişi kalıp (b) sıkıca geçirildi.

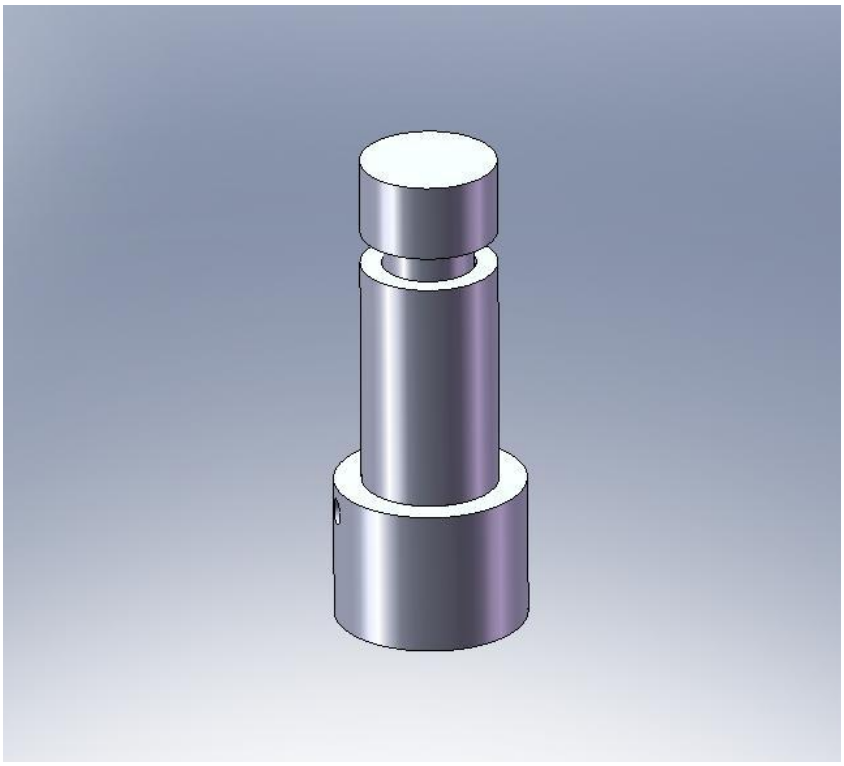
Dişi kalıp ile gövdenin numune üretimi sırasında bir birinden ayrılmaması, aradaki boşluktan malzeme akmaması için sıkıştırma vidaları ile dişi kalıp gövdeye sıkıca sabitlendi.

Kalıba numune harcı doldurulduktan sonra son olarak erkek kalıpta (a) yerleştirilerek, pres altında sıkıldı. Presleme işlemi tamamlandıktan sonra sıra numunenin kalıptan çıkarılmasına geldi. Bunun içinse preslemeden önce yapılan montajdan tek bir farkla pul (c) çıkarıldı. Gövde üzerine pul koymaksızın dişi kalıp içine sıkışmış numune ile birlikte gövdeye yerleştirilir. Önceki gibi erkek kalıpla birlikte (a) preslenir. Bu durumda numunenin altı boş olduğu için dişi kalıptan kayarak bozulmadan gövde içine düşer.

Her numune 22 mm çapında ve 40 mm yüksekliğindedir. Bu değerlere bağlı olarak numune hacmi 15198 mm^3 tür.



Şekil 4.2. Numune üretiminde kullanılan kalıp bileşenleri ve boyutları
a) Erkek kalıp, b) Dişi kalıp, c) Sıkıştırma pulu, d) Gövde



Şekil 4.3. Numune Üretimin Kalıbı

4.3. Deney Numunesi Yapılması

Deney numunesi imalat kalıbı yapıldıktan sonra numunelerin üretimine başlandı. Deneyler numuneleri iki farklı tipte imal edilmiştir. Deney numunelerinde iki farklı takviye malzemesi (granül kauçuk, çelik talaş) kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak da vinil ester reçine kullanılarak önceden belirlenen çeşitli karışım oranlarında sabit sıkıştırma basıncında numuneler üretildi.

Her numuneye ait hacim sabit olmasına rağmen kütleler karışım oranlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Üretim sonrası numune içinde kalan hava hacminin hesaplanması için bilinen talaş kütlesi talaş yoğunluğuna ($d_{Talaş}$ = 7,860 gr/cm³) bölünerek, bilinen granül kauçuk kütlesi granül kauçuk yoğunluğuna ($d_{Kauçuk}$ = 1,150 gr/cm³) bölünerek, bilinen vinil ester reçine kütlesi vinil ester reçine yoğunluğuna ($d_{Reçine}$ = 1,044 gr/cm^3) bölünerek hacimler elde edildi. Bu hacimlerin toplam hacim olan 15198 mm³ ten çıkarılması ile de hava hacmine ulaşıldı.

Deney numunelerinin hazırlanmasının ilk aşamasında daha önceden numune üretimi için hazır hale gelen granül kauçuk ve vinil ester reçine Ek-1'de verilen çizelge 4.2'de belirtilen oranlarda tartılarak karışım yapıldı, bu karışım homojen hale gelinceye

kadar bir mikser yardımıyla karıştırıldı ve kalıbın içi kalıp ayırıcı madde ile film tabaka oluşturacak şekilde kaplandıktan sonra granül kauçuk - vinil ester reçine karışımı kalıbın içine dolduruldu.

1500 kPa presleme kuvvetinde preslendi ve daha sonra numune kalıptan çıkartıldı ve iç kısımlarının da kürlenebilmesi için 15 gün oda sıcaklığında, hava ile temas edecek şekilde kürlenmeye bırakıldı.

Kürlenme süresinin daha kısa olması için vinil ester reçineye granül kauçuk ile karışımı yapılmadan önce kullanmış olduğumuz vinil ester reçine kütlesinin % 1'i oranında Akcobalt CX1-6 Kobalt Oktoat Hızlandırıcı ve yine aynı şekilde kullanmış olduğumuz vinil ester reçine kütlesinin % 1'i oranında Butanox M-60 (MEK-P) serleştirici vinil ester reçine ile iyice karıştırılmış ve daha sonra granül kauçuk bu karışım içine koyulmuştur.

Sonuç olarak aşağıdaki karışım oranlarında deney numunelerinin üretimi yapılmıştır.

- Kütlece % 50 granül kauçuk - % 50 vinil ester reçine karışımlı numune (10Adet)
- Kütlece % 60 granül kauçuk- % 40 vinil ester reçine karışımlı numune (10Adet)
- Kütlece % 70 granül kauçuk- % 30 vinil ester reçine karışımlı numune (10Adet)

Deney numunesi üretiminin ikinci aşamasında ise kullanıma hazır hale gelen çelik talaşı ve vinil ester reçine tartılarak Ek-1'de verilen çizelgede belirtilen oranlarda karışım homojen hale gelinceye kadar bir mikser yardımıyla karıştırıldı ve kalıbın içi kalıp ayırıcı madde ile film tabaka oluşturacak şekilde kaplandıktan sonra çelik talaşı - vinil ester reçine karışımı kalıbın içine dolduruldu. Burada da ilk aşamada anlatıldığı gibi karışım yapılmadan önce vinil ester reçine içerisine hızlandırıcı ve sertleştirici kimyasallar karıştırıldı. Daha sonra 1500 kPa presleme kuvvetinde preslenerek kalıptan çıkartıldı ve numunenin iç kısımlarının da kürlenebilmesi için 12 gün oda sıcaklığında, hava ile temas edecek şekilde kürlenmeye bırakıldı.

Sonuç olarak ikinci aşamada ise aşağıdaki karışım oranlarında deney numunelerinin üretimi yapılmıştır.

- Kütlece % 50 çelik talaşı- % 50 vinil ester reçine karışımlı numune (10Adet)
- Kütlece % 60 çelik talaşı- % 40 vinil ester reçine karışımlı numune (10Adet)
- Kütlece % 70 çelik talaşı- % 30 vinil ester reçine karışımlı numune (10Adet)

Darbe deneyi için, basma deneyi için ve çift noktadan kesme deneyi için toplam 60 adet hatasız numune üretimi tamamlanmış oldu.

Numune içinde bir miktar hava kalması numunenin sıkıştırılabilirliği açısından istendiği için numune üretimi sırasında vakum uygulanmadı. Numunelerde kalan hava hacimleri ve karışımda kullanılan hacimsel değerler ağırlıkça değerlere bağlı olarak teorik hesap ile çıkarıldı. (Çizelge 4.2)

Şekil 4.4'de deney numunelerinin resmi görülmektedir.



a) b)

Şekil 4.4 Deney Numuneleri

a) Granül Kauçuk - Vinil Ester Reçine b) Çelik Talaşı - Vinil Ester Reçine

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney numunesi üretimi tamamlandıktan sonra üretilmiş olan deney numunelerinin darbe davranışlarının, enerji sönümleyebilme davranışlarının incelenmesi için numuneler ile deneyler yapılmıştır.

Numuneler ile ilk olarak düşük hızlı darbe deneyi, ikinci olarak basma deneyi ve son olarak da kesme deneyleri yapılmıştır.

5.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi

Belirli bir yükseklik konumundan belirli bir kütlenin serbest halde test numunesi üzerine düşürülmesi ile oluşan darbe sonucu test numunesinin enerji sönümleme, darbe dayanımı kapasitesinin ölçümü için yapılan bir deneydir.

Genel olarak bu darbeler düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak sınıflandırılırlar. Fakat bu kategoriler arasında açık bir geçiş yoktur. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilmediğini göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan bir kısmı düşük hızlı darbeyi, hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızlar olarak tanımlamışlardır. Düşük hızlı darbeye en basit örnek olarak kompozit malzeme üzerine (uçak kanadı gibi) imalat veya bakım esnasında kaza sonucu bir parçanın (takım aleti) düşmesi verilebilir. Düşük hızlı darbeler normal olarak çarpışma temas anında malzeme içyapısında deformasyon oluşturan darbelerdir. Bazen düşük hızlı darbe düşük enerjili darbe olarak da tanımlanır. Düşük hızlı darbede malzemenin içyapısında darbeye karşı cevap verebilmek için gerekli olan temas süresi yeterlidir ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak absorbe edilir. Bu nedenle hedefin dinamik yapısal cevabı çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek hızlı darbe tepkisi malzeme boyunca yayılan gerilme dalgası tarafından hakim olunur ki bu durumda malzeme darbeye karşı cevap verebilme zamanına sahip olamaz ve çok küçük bir bölgede hasar oluşur. Hasarları oluşturan darbe testleri genel olarak üç kategoride toplanmaktadır, bunlar; ağırlık düşürme testleri, sarkaç testleri (izod ve charpy) ve hava veya gaz silah (düşük hız veya balistik testler) testlerdir (Ceyhun 2003).

5.1.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi Düzeneği

Darbe test cihazı ile yüksek hızlarda deney parçasının kırılmasında soğurulan enerji miktarı ölçülür. Darbe deneyi süresince soğurulan enerji, malzemenin tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Malzemenin darbeye tokluğu, parça tasarımcıları için en önemli özelliklerden biri olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Literatürde darbe genelde hızlarına göre düşük, yüksek ve çok yüksek hız olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırmanın sınırlarında araştırmacılar görüş birliğine sahip değildir. Bazı araştırmacılar hız sınırları vererek sınıflandırma yapmışlar ki bu sınırlarda bile görüş ayrılıkları vardır, bazıları ise kompozit malzemedeki hasar durumuna göre sınıflandırmayı tercih etmişlerdir. Bu ikinci tür sınıflandırmada malzemede sadece tabaka ayrılmaları oluyorsa düşük hız, kompozitte delinme oluyorsa yüksek hız olarak adlandırılır (Abrate 1998).

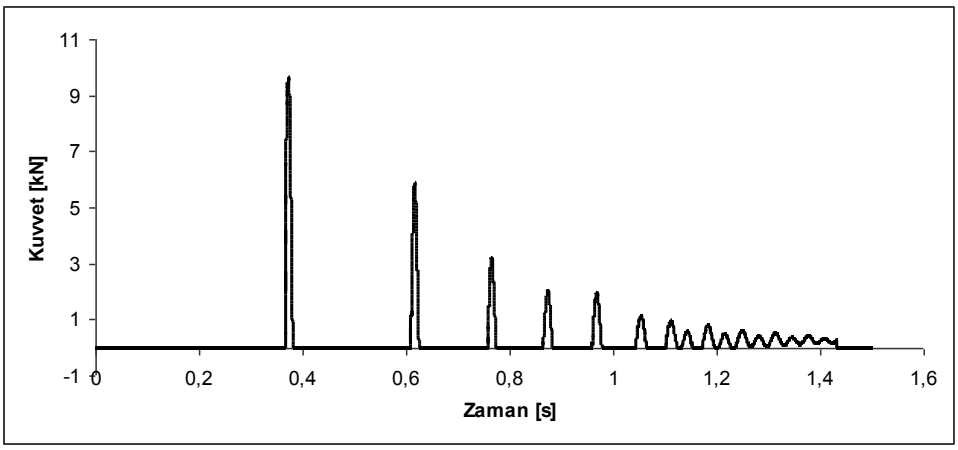
Zamana bağlı olarak darbe kuvveti kuvvetölçer tarafından bilgisayara aktarılır. Bilgisayarda bulunan bir yazılım programı kuvvet-zaman verilerini hız-zaman ve çökme-zaman verilerine çevirir. Bu işlemi yapmak için ağırlığın numuneye çarptığı hız gereklidir. Kütlenin numuneye çarpma hızı hız sensörü vasıtası ile tespit edilir.

5.1.2. Düşük Hızlı Darbe Deneyinde Geri Sekme (Rebound)

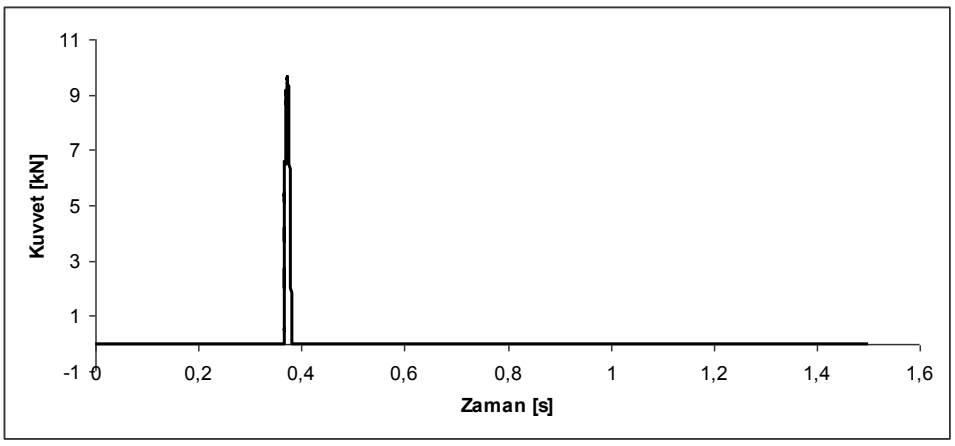
Düşük hızlı darbe deneylerinde geri sekmenin (rebound) kontrolü ve önlenmesi deneyin güvenirliği açısından önem arz etmektedir. Bunun kontrolü genelde pnömatik sistemler sayesinde otomatik kontrolle yapılmaktadır. Bir sensör ve pnömatik bir piston yardımıyla bu sistem oluşturulmaktadır.

Geri sekmenin kontrolü numunenin ilk darbe hasarının gözlemlenmesi için önemlidir. Numuneye yapılan ilk darbenin numune üzerinde yaptığı hasar incelenecekse; numune üzerine yapılan ilk darbenin ardından vurucu ucun tekrarlı darbeler oluşturmaması için anti-rebound sistemi kullanılır.

Şekil 5.1 ve 5.2'de tekrarlı darbelerin engellendiği ve engellenmediği kuvvet-zaman grafikleri görülmektedir.



Şekil 5.1. Tekrarlı darbeye maruz deney numunesinden alınan kuvvet sinyalleri (Kara 2006)



Şekil 5.2. Tekrarlı darbelerin önlendiği deney numunesinden alınan kuvvet sinyalleri (Kara 2006)

5.1.3. Darbe Deneyinde Kullanılan Ağırlık Düşürme Test Cihazı

Dinamik darbe testleri numunelerin düşük hızlı darbe davranışlarını elde etmek için özel olarak imal edilmiş test cihazı ile yapılmıştır. Cihaz farklı darbe enerjilerinde, darbenin başlangıcından sonuna kadar, darbeyi kaydedebilen özel bir kabiliyete sahiptir.

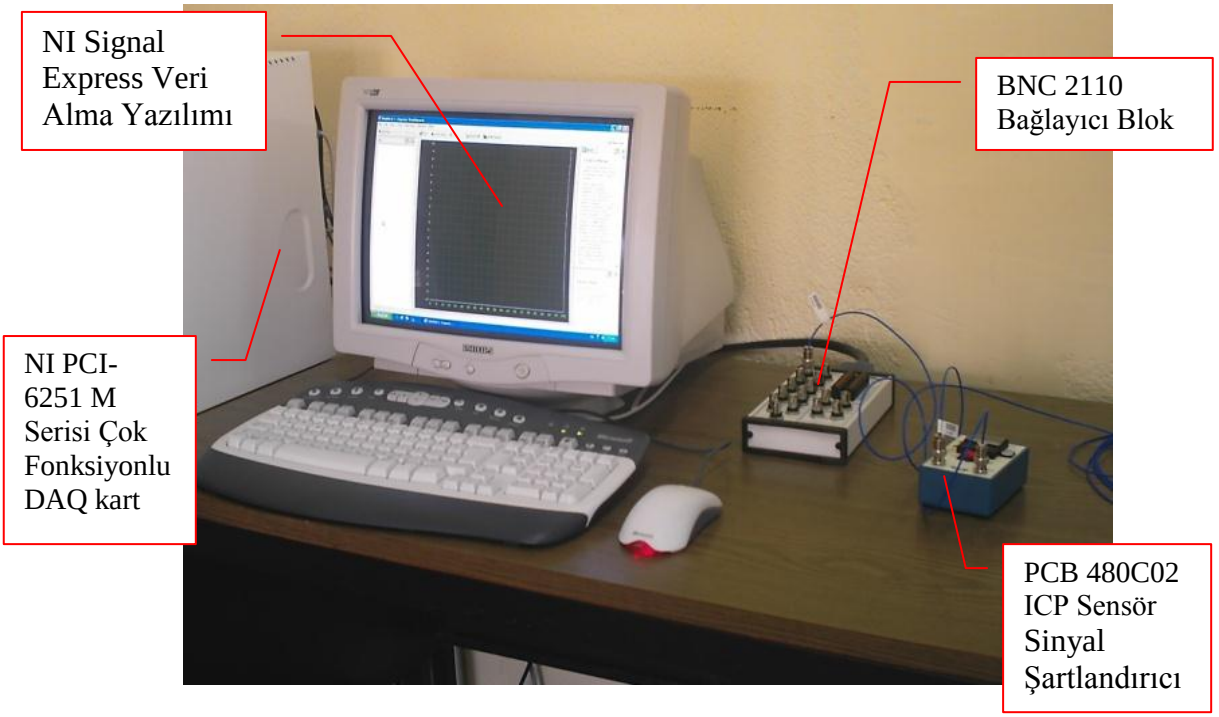
Cihaz 1,5 m yüksekliğindedir. Vurucu 6,35 kg kütleli olup 1 m den serbestçe düşebilmektedir. Ağırlığın istenilen mesafeden bırakılabilmesi için kilit mekanizması vardır. Böylece değişik darbe hızlarında deney yapılabilmektedir. Serbest düşme ile öngörülen en büyük teorik hız 4,0 m/s dir.

Cihaz üç ana elemandan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi bağlama aparatı, çelik raylar ve vurucu kütlesini üzerinde tutan alt tabladır. İkincisi ise çelik ray-vurucu kütlesi

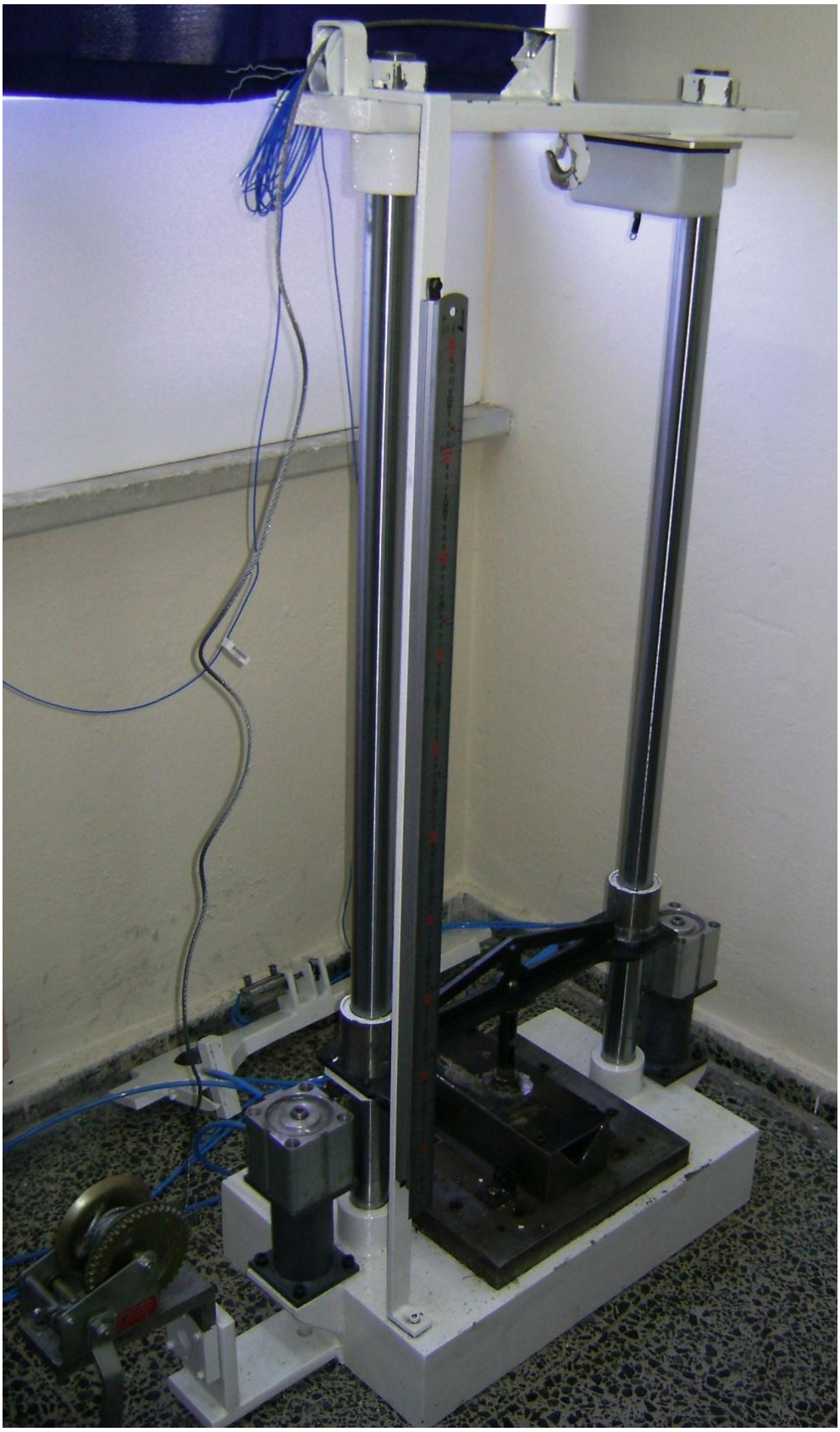
bağlantısı ve numune bağlama aparatı grubudur. Son eleman ise elektronik kontrol ünitesidir. Ağırlık düşürme test cihazı Şekil 5.3, 5.4'de görülmektedir.

Ayrıca cihaz üzerinde vurucu kütlesini istediğimiz yüksekliğe kaldırabileceğimiz bir palanga sistemi mevcuttur. Palanga halatının uç kısmında vurucu kütlesini tutan bir mekanik kanca sistemi vardır. Bu sistemin üzerinde bulunan manüel kol kaldırıldığı anda vurucu kütlesi serbest düşme ile çelik ray üzerinde düşey harekete geçer.

Farklı bileşim oranlarındaki deney numunelerine düşük hızlı darbeler yapılmıştır. Darbe sonucu kuvvetin zamana göre değişimini veren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca absorbe edilen enerjinin zamana göre değişimi, kuvvet - yer değiştirme grafikleri çıkarılmıştır (Erdem 2010).



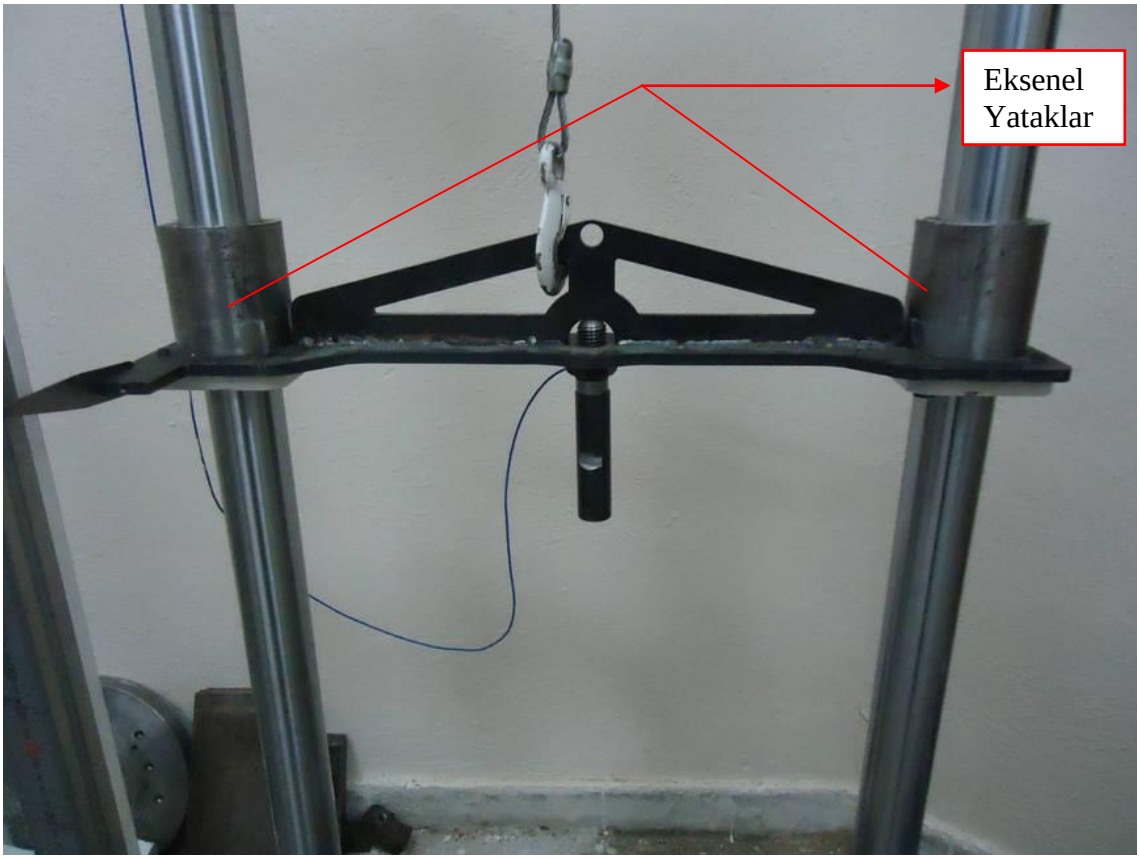
Şekil 5.3. Elektronik kontrol ünitesi (Kara 2006)



Şekil 5.4. Ağırlık Düşürme Test Cihazı

Vurucu kütlesinin en az sürtünmeyle serbest düşmesini sağlayan yatak sistemi çelik ray üzerinde hareket eden karşılıklı iki adet eksenel rulmandan oluşmaktadır. Rulmanlar, Şekil 5.5'de görüldüğü gibi vurucu kütlesinin her iki kenarına da bağlanarak monte edilmiştir.

Deney numunelerine düşük hızlı darbeler yapılmıştır. Darbe sonucu kuvvetin zamana göre değişimini veren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca darbe sonunda ortaya çıkan hasar bölgeleri incelenmiştir.

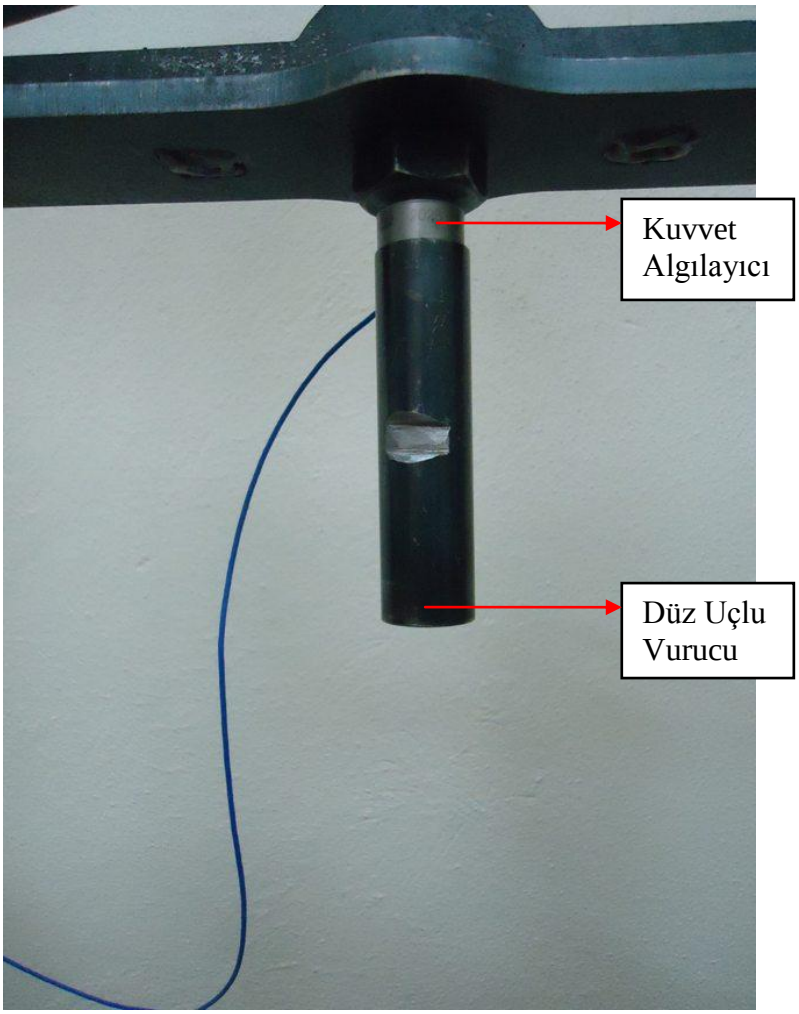


Şekil 5.5. Düz Uçlu Vurucu ve Eksenel Yataklar

5.1.3.1. Vurucu Geometrisi ve Kuvvet Algılayıcı

Deneyde kullanılan vurucu 24 mm çapında, düz uçlu bir geometriye sahiptir. Deneyde kullanılan kuvvet algılayıcı 22,6 kN ölçme kapasitesine sahiptir. (Şekil 5.6)

Vurucu kütlesi ile vurucu arasına monte edilmiştir. Sinyal, kuvvet algılayıcıya bağlı teflon kablo yardımı ile elektronik kontrol ünitesine iletilmektedir. (Kara 2006).



Şekil 5.6. Düz Uçlu Vurucu ve Kuvvet Algılayıcı

5.1.3.2. Elektronik Kontrol Ünitesi

Elektronik aksamda kuvvet algılayıcıdan gelen sinyali algılayıp yükselten bir sinyal şartlandırıcı mevcuttur. Kuvvet algılayıcı ile sinyal şartlandırıcı arasındaki bağlantıda teflon kablo kullanılmıştır.

Sinyal şartlandırıcıda yükseltilen sinyalin DAQ kartına iletilebilmesi için BNC bağlayıcı blok kullanılmıştır. Sinyal şartlandırıcı ile bağlayıcı blok arasında teflon kablo kullanılmıştır.

Ana kart üzerine yerleştirilen DAQ kart ise gelen sinyali algılayıp işleyen karttır.

Kullanılan yazılım ile zamana göre kuvvetin değişim grafiği elde edilmiştir. Bu yazılım sinyalin özelliklerini belirlemeye imkan vermektedir. Örneğin; kaç saniye boyunca sinyal alınacağı, saniyede kaç veri alınacağı ayarlayabilmektedir. Ayrıca

hesaplanan bir katsayı ile alınan verileri çarparak kuvvet (N) olarak hesaplanabilmektedir (Kara 2006).

5.1.4. Deneyin Yapılması

Darbe deneyi uygulamadaki koşullara bağlı kalınarak yapılmalıdır. Bu koşullar:

- Çevre koşulları: ortam sıcaklığı vs. yukarıda anlatılan darbe cihazına eklenecek cihazlarla ayarlanabilir.

- Düşen parçanın kütlesi: istenen kütleyi elde edebilmek için ek kütle kutusunun içerisine ilave ağırlıklar konulabilir.

- Darbe hızı: hızı değiştirmek için ayarlanabilir tutucu parçanın yüksekliği ayarlanabilir.

- Darbe ucunun şekli: yarıçapları farklı yarı küresel, piramit, kesik düz uç şeklinde uçlar kullanılabilir.

- Numunenin sınır koşulları

Çevre koşulları oluşturulduktan sonra düşen parçanın kütlesi ayarlanır. Düz darbe ucu takıldıktan sonra numune yerleştirilir. Hız ayarı için ayarlanabilir tutucu parça uygun konuma getirilir. Artık cihaz deneye hazırdır. Kilit mekanizması açıldığında ağırlık yer çekimi ivmesi ile hız kazanır ve numuneye çarpar.

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi deneyde kullanılan numuneleri tutmak amacı ile düz bir platforma kaynaklanmış 13 mm yüksekliğindeki, 23 mm iç çapı olan halka numunelerin sıkı geçmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Halkanın içine serbestçe oturtulan numunenin dışarıda kalan kısmı, gelen darbe şiddetine göre serbest olarak esneyebilmektedir.



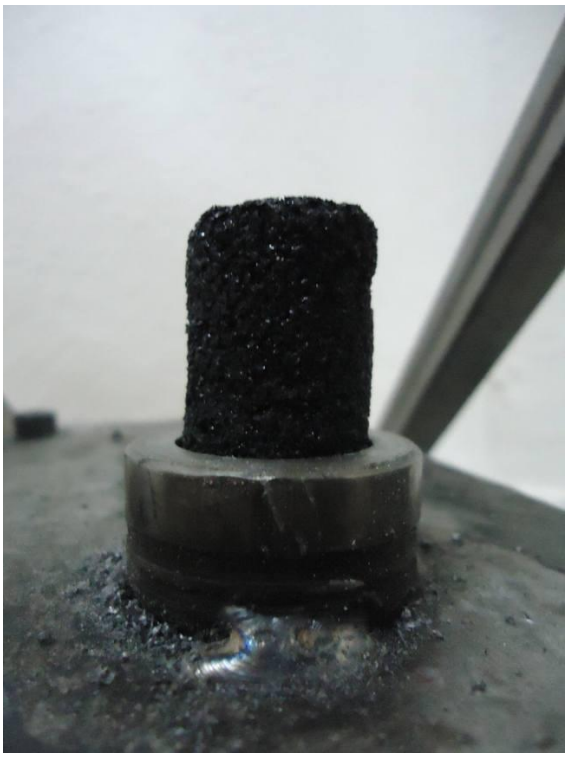
Şekil 5.7. Deney Numunesi Tutucusu

Deneylerlerin 50 Joule sabit potansiyel enerji ile yapılmıştır. 50 Joule potansiyel enerjiyi elde edebilmek için 6,35 Kg. kütlesi olan vurucuyu bırakacağımız yükseklik 80 cm olarak hesaplanmıştır.

Vurucunun çarpma anındaki hızı enerjinin korunumu kanunundan teorik olarak hesaplanmak istenir ise hız 3,96 m/sn olarak bulunur.

Düz uçlu vurucu ile numunelerin merkezine darbe yapılmıştır. Vurucu ilk darbeyi yaptıktan sonra vurucu kütlesi tutularak tekrarlı darbeler engellenmiştir.

Şekil 5.8'de tutucu içerisine yerleştirilmiş bir deney numunesi görülmektedir.



Şekil 5.8. Tutucu içerisine yerleştirilmiş deney numunesi

Darbenin ilk başlangıcından sonuna kadar bütün veriler kuvvet algılayıcı tarafından elektronik aksama iletilmiştir. Bu veriler yazılım ile elde edilen kuvvetin zamana göre değişim grafiğinde gösterilmiştir.

5.2. Basma Deneyi

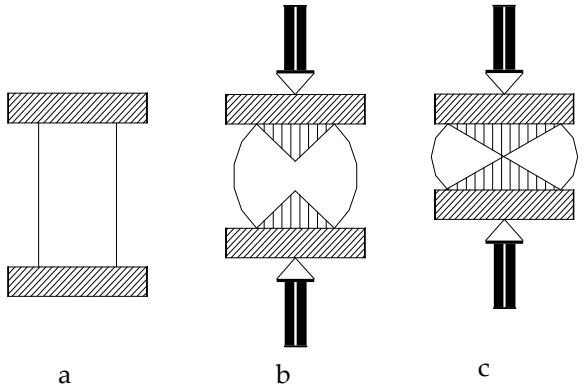
Malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru etkiyen dış kuvvetlere basma kuvvetleri denir ve bu kuvvetler basınç gerilmeleri oluşturur. Çekme deneyinin tersi olarak kabul edilir. Basma deneyi de çekme deneyi cihazlarında yapılır. Basma kuvvetlerinin etkin olduğu yerlerde kullanılan malzemeler genellikle gevrek malzemelerdir ve özellikleri basma deneyi ile belirlenir. Gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik malzemeler ile tuğla, beton gibi metal dışı malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğu için bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin etkin olduğu yerlerde kullanılır ve mekanik özellikleri basma deneyi ile belirlenir.

Basma deneyinde homojen bir gerilim dağılımı sağlamak amacıyla yuvarlak kesitli numuneler tercih edilir. Fakat kare veya dikdörtgen kesitli numuneler de kullanılmaktadır. Basma deneyi numunelerinde, numune yüksekliği (h_0) ile çapı (d_0)

arasındaki h_0/d_0 oranı oldukça önemlidir. Numunenin h_0/d_0 oranının çok büyük olması, deney sırasında numunenin bükülmesine ve homojen olmayan gerilim dağılımına sebep olur. Bu oran küçüldükçe numune ile basma plakaları arasında meydana gelen sürtünme deney sonuçlarını çok fazla etkilemektedir. Bu sebeple numunenin h_0/d_0 oranının $1.5 \leq h_0/d_0 \leq 10$ aralığında olması önerilir. Metalik malzemelerin basma numunelerinde ise genellikle $h_0/d_0=2$ oranı kullanılır.

Basma deneyinde silindirik veya küp şeklindeki numuneler iki paralel tabla arasına yerleştirilir ve uygulanan kuvvetle oluşan şekil değiştirmeler ekstansometre yardımı ile ölçülür.

Basma çenelerinin düz, temiz ve deney numunesine oranla sert olması gereklidir. Basma deneyinde kesit alanı sürekli arttığından çekme deneyinde oluşan boyun verme olayı meydana gelmez. Bu deney özellikle gevrek malzemelerin sünekliğini ölçmede çok faydalıdır. Çünkü bu tür malzemelerin çekme deneyi ile belirlenen % uzama değerleri hemen hemen sıfır olduğu için süneklikleri hassas olarak ölçülemez. Sünek malzemelerin basma deneyinde Şekil 5.9'da görülen fıçılaşma olarak adlandırılan şişme oluşur.

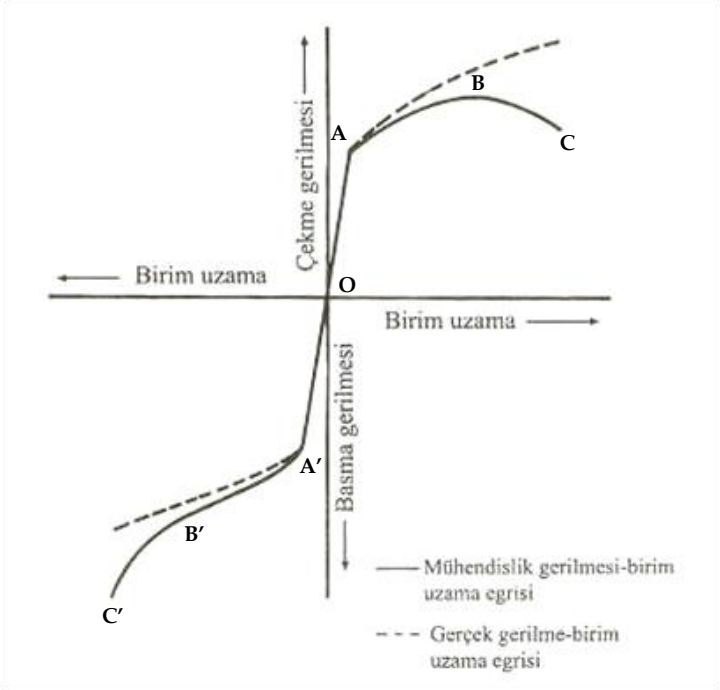


Şekil 5.9. Basma deneyi uygulanan bir sünek malzemede oluşan fıçılaşma (Kayalı 1990).
a) Basma kuvveti yok b) Fıçılaşmanın ilk aşaması c) Fıçılaşmanın tamamlanması

Basma deneyi, uygulanan yükün ters yönde olması nedeniyle çekme deneyinin tamamen tersidir. Uygulanan basma yüküne karşılık numune boyundaki azalma grafik olarak kaydedilir ve çekme deneyindeki benzer hesaplamalarla mühendislik basma gerilmesi-basma birim sekil değişimi diyagramı elde edilir. Basma deneyinde de, çekme

deneyinde olduğu gibi gerçek ve mühendislik gerilme ve birim sekil değişimleri arasında benzer bağıntılar geçerlidir.

Basma diyagramı genel olarak çekme diyagramına benzer (Şekil 5.10). Basma diyagramının elastik deformasyon bölgesini gösteren kısmı ile çekme diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı çok benzemektedir. Basma diyagramında da akma sınırından hemen sonra plastik deformasyon oluşmaktadır ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilmede artış meydana gelir. Bu durum, kesit alanının devamlı artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.10'da OA' bölgesi uygulanan basma gerilmesi ile % birim şekil değiştirmenin orantılı olduğu elastik bölgedir. A' noktası elastik sınır olarak tanımlanır. A'C' bölgesi plastik deformasyon bölgesidir. Basma diyagramında plastik deformasyon bölgesinin ilk kısmı olan A'B' bölgesinin eğimi, çekme diyagramındaki AB bölgesinin eğimine benzerdir. Fakat daha sonra basma eğrisinin eğimi artar, çünkü bu sırada numune kesitindeki artmaya bağlı olarak eğim sürekli artmaktadır.



Şekil 5.10. Bir metal malzemenin çekme ve basma diyagramları

5.2.1. Basma Gerilmesi Hesabı

Mühendislik basma gerilmesi σ_b, basma yükünün (P_i), başlangıçtaki kesit alanına bölünmesiyle elde edilir:

$$\sigma_b = P_i / A_0$$

burada,

σ_b : Mühendislik basma gerilmesi (MPa)

P_i : Herhangi bir andaki basma yükü (N)

A_0 : Başlangıç kesit alanı (mm^2)

Malzemenin basma mukavemeti maksimum basma gerilmesine karşılık gelen değerdir. Akma mukavemeti (σ_a), belirli akma gösteren malzemeler için akma yükünün başlangıçtaki kesit alanına bölünmesiyle elde edilir.

Gerçek basma gerilmeleri, çekme deneyindekine benzer şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{b,g} = P_i / A_i$$

burada,

A_i : P_i yükünün uygulandığı andaki numune kesiti (mm^2) dir.

Mühendislik gerilme değerleri ($\sigma_{b,m}$) kullanılarak, basmadaki gerçek gerilme değerleri ($\sigma_{b,g}$) hesaplanabilir:

$$\sigma_{b,g} = \sigma_{b,m} . (1 + e_b)$$

burada,

$\sigma_{b,g}$: Gerçek basma gerilmesi (MPa)

$\sigma_{b,m}$: Mühendislik basma gerilmesi (MPa)

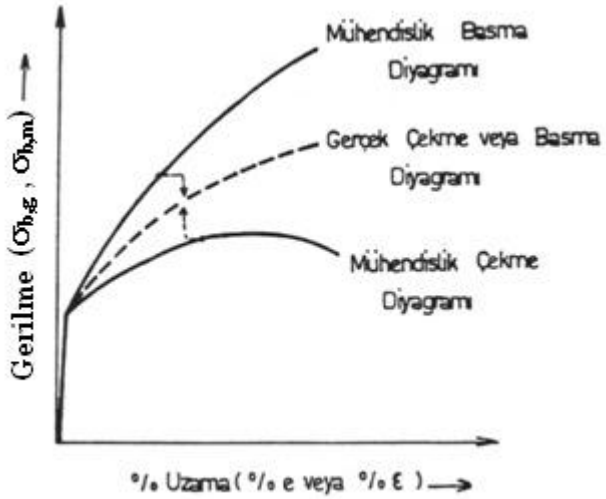
e_b : Basmada mühendislik birim şekil değiştirmesi.

Yukarıdaki bağıntıda e_b değerinin negatif olduğu göz önüne alınmalıdır. e_b'nin mutlak değeri alınarak, gerçek gerilme

$$\sigma_{b,g} = \sigma_{b,m} . (1 - e_b)$$

olarak hesaplanır.

Metalik malzemelerin gerçek çekme ve basma diyagramlarında, gerçek gerilme değerleri birbirine eşittir. Oysa mühendislik çekme ve basma diyagramlarında, plastik bölgedeki mühendislik basma gerilmesi değeri, mühendislik çekme gerilmesi değerinden daha büyüktür (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Gerçek ve mühendislik çekme-basma diyagramları

5.2.2. Ezilme (Yığılma, eb)

Ezilme, parçanın deneyin herhangi bir anındaki boyunun ilk boyuna oranına göre tespit edilir. Çekme deneyindeki uzamanın tersi şeklinde düşünülebilir. Basma deneyinde % birim şekil değiştirme, numunenin yüksekliğindeki azalma miktarının numunenin başlangıçtaki yüksekliğine oranının yüzde olarak ifadesidir. Basma deneyinde numunenin yüksekliği sürekli olarak azaldığından, % birim şekil değişimi negatif bir değerdir. % birim şekil değiştirme, % yığılma olarak da belirtilmektedir. % yığılma,

$$\% e_b = 100 \times (h_0 - h_1) / h_0$$

Burada,

% e_b : Yığılma dayanımı (Ezilme)

h_0 : Malzemenin ilk boyu

h_1 : Malzemenin kısalan boyu

5.2.3. Kesit Büyümesi Hesabı (Şişme)

Deney parçasının ulaşacağı en büyük kesit A_1, ilk kesit A_0 ve bunlara ait çaplar d_1 ve d_0 ise, kesit büyümesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

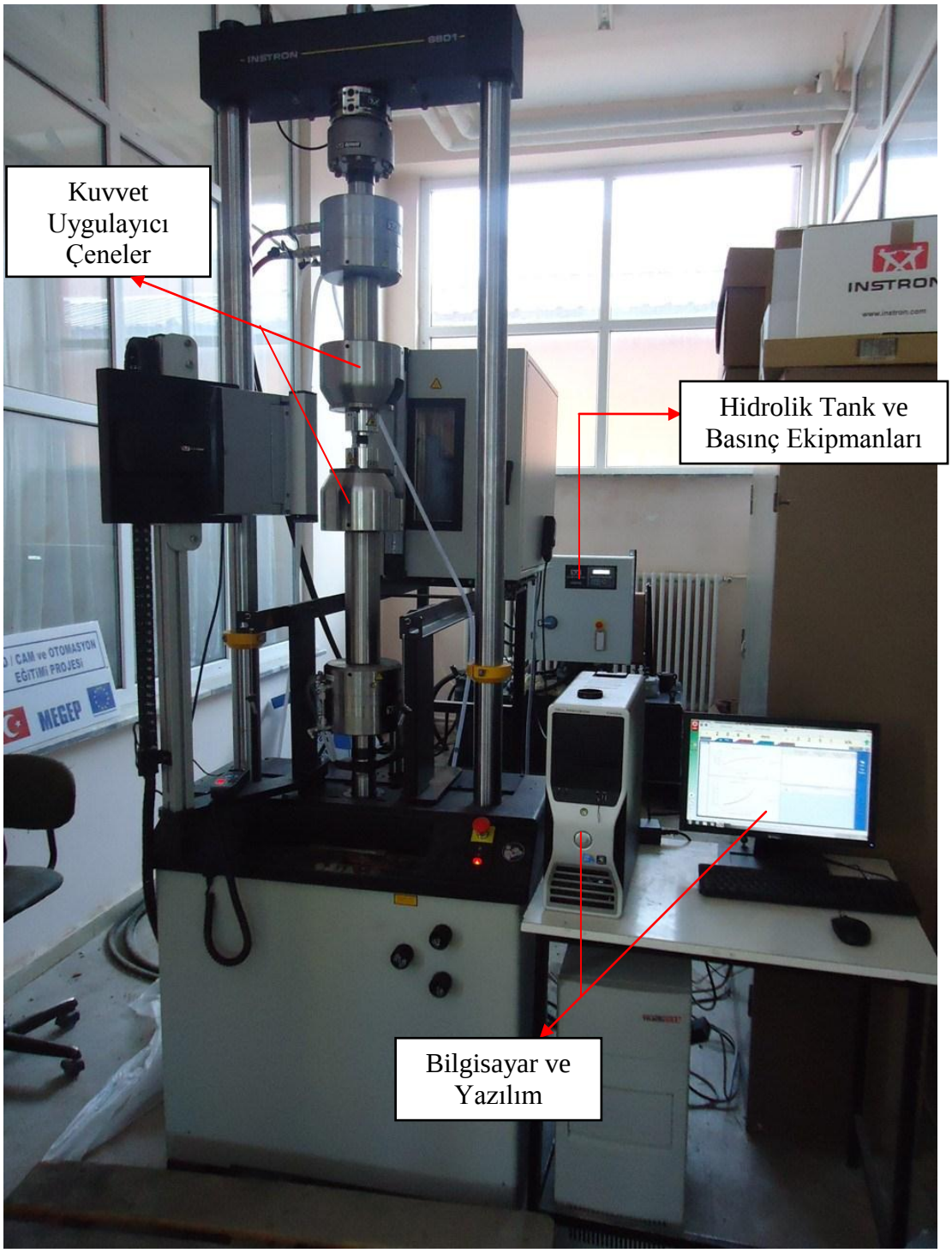
$$\Psi = 100 \times (A_1 - A_0) / A_0$$

veya çaplar cinsinden

$$\Psi = 100 \times (d_{12} - d_{02}) / d_{02}$$

5.2.4. Basma Deneylerinin Yapılması ve Basma Deneyi Test Cihazı

Üretilen numunelerin basma deneyleri okulumuz laboratuarında bulunan INSTRON marka 8801 modelinde 100 kN dinamik yük kapasitesine sahip hidrolik deney cihazında yapılmıştır.



Şekil 5.12 Basma Deneyinin yapıldığı Instron-8801 Test Cihazı

Şekil 5.12'de Basma deneylerinin ve kesme deneylerinin yapıldığı test cihazı görülmektedir.

Test cihazı; eksenel olarak çalışan iki adet kuvvet uygulayıcı çene, çenelere ihtiyacı olan hidrolik basıncı oluşturmak üzere bir hidrolik tank, hidrolik tank üzerinde

hidrolik basınç oluşturucu basınçlandırma ekipmanları, yapılan deneylerde çenelerin hareketini ve çenelerin hareket sırasında uyguladığı kuvveti aynı anda kayıt eden ve grafik halinde kullanıcıya sunan bir yazılımdan oluşmaktadır.

Numuneler 5 mm/dk'lık hızla kuvvet sensorundaki değerler kaydedilmiştir. Hesaplamalarda ve grafiklerde en büyük kuvvetten sonra kuvvet çizgilerinin düşüşe geçtiği an ve daha sonraki kuvvet iniş-çıkışları önemsenmemiştir.

Bunun sebebi malzeme basma direnci en üst noktaya ulaştıktan sonra kuvvetin düşmeye başladığı an bizim için numunenin basmaya karşı göstermiş olduğu direncin yenildiği andır. Bu sebep ile basma deneylerinde kuvvet değeri en büyük kuvvete ulaşınca grafik kesilmiştir.

Sensör tarafından bu anda kaydedilen en büyük değer basma direncidir ve birimi N/mm^2 dir.

Grafikler incelendiğinde yaptığımız basma deneyinde kauçuk esaslı numuneler ile çelik talaşı esaslı numuneler farklı davranış sergilemiştir.

5.3. Kesme Deneyi

Bu bölüme kadar deney numunesi üzerine gelen kuvvetler deney numunesi eksenine paralel konumda olmuştur. Ancak deney numuneleri üzerine eksenel olmayan yüklerin gelmesi durumunda deney numunelerini nasıl bir davranış sergileyeceğini gözlemlemek amacı ile numunelere kesme (kayma) testleri yapılmıştır.

Basma ve darbe deneylerinde numunelere eksenel yükler uygulanmış ve bu eksenel yüklere karşı numunelerin nasıl davrandığı izlenmiştir, ancak numunenin eksenel olmayan yüklere karşı nasıl davrandığı, dayanımının ne olacağı hakkında bir bilgimiz bulunmamaktadır. Bu sebep ile numunelere kesme (kayma) testleri yapılmıştır.

Kesme deneyi ile numunelerin eksenine dik kuvvetler ile testler yapıldığı için malzemelerin farklı mekanik özellikleri tespit edilir. Kesme (kayma) gerilmesi; numunenin kesit düzlemi üzerinde oluşan ve numune kesiti boyunca malzemeyi makas gibi kesmeye çalışan gerilmedir.

Numuneye etkiyen kuvvet, etkilenen kesit doğrultusunda olduğundan numune kesilmeye zorlanır ve numune kesitinde kayma gerilmesi oluşur.

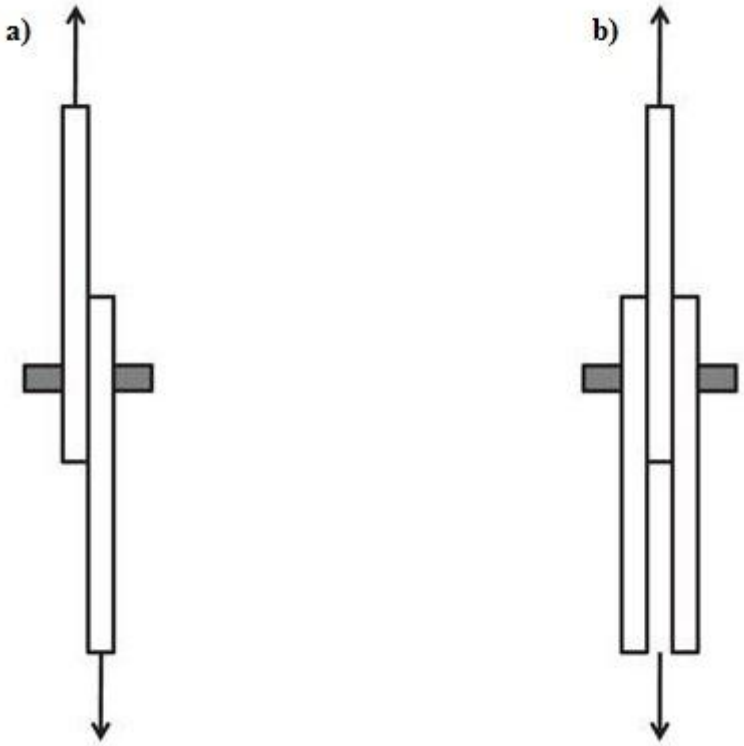
Kesme deneylerinde F kuvveti ile kesilmeye çalışan bir cisimde, F kuvveti kadar bir kuvvet kesilmeye karşı koyar (-F). Kuvvet uygulanan kesitteki birim alana düşen karşı koyma kuvvetine kesme (kayma) gerilmesi denir.

Uygulanan kuvvet numune kesitinde oluşan karşı koyma kuvvetini yendiği zaman numune kesilmeye başlar.

5.3.1. Kesme Deneyi Çeşitleri

Kesme deneyleri tek noktadan ve çift noktadan kesme deneyleri olarak iki ana grupta incelenir.

Şekil 5.13'de kesme deneyi tipleri görülmektedir.



Şekil 5.13 Kesme deneyi tipleri
a) Tek kesme deneyi b) Çift kesme deneyi

Üretilen numuneler çift noktadan kesme testleri yapılmıştır. Kesme deneyleri okulumuz laboratuarında bulunan INSTRON marka 8801 modelinde 100 kN dinamik yük kapasitesine sahip hidrolik deney cihazında yapılmıştır (Şekil 5.2.4).

Numunelerin kesme testlerinin yapılabilmesi için kesme deneyi aparatı yapılmıştır. Kesme deneyi aparatı ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

Kesme deneyleri 5 mm/dk hız ile yapılmış ve kuvvet, zaman ve deplasman değerleri veri olarak test cihazından alınmıştır.

Alınmış olan veriler yardımı ile kuvvet - deplasman grafikleri çizilmiş ve numunelerin maksimum kesme (kayma) gerilmeleri hesaplanmıştır.

Kesme (Kayma) Gerilmesi : $\tau = \frac{P}{2A}$

P : Uygulanan Maksimum Kuvvet (N)

A : Numune Kesiti (mm^2)

τ : Kayma (kesme) Gerilmesi (N/mm^2)

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Numuneler üzerine yapılan deneylerin bu kısımda sonuçları değerlendirilmiştir.

6.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyi

Yapılan çalışmalar neticesinde üretilen deney numunelerine düşük hızlı darbe deneyleri yapılmıştır. Darbe testi yapmamızdaki asıl amaç numunenin enerji yutabilme kabiliyetlerinin araştırılmasıdır. Darbe emicilerin en belirgin özellikleri üzerine gelen enerjinin ne kadarını yutabildiği ne kadarını yansıttığıdır.

Deney yapılırken vurucu serbest düşmeye bırakıldığı yükseklikten deney numunesine temas edinceye kadar geçen sürede kaydedilen kuvvet değeri sıfırdır. Vurucunun deney numunesine temas ettiği andan itibaren kuvvet değeri yükselmeye başlamıştır. Kuvvet değeri azami bir değere ulaştıktan sonra tekrar düşüşe geçmiş ve sıfır seviyesine gelmiştir. Kuvvet değeri sıfır olur olmaz vurucu geriye doğru sıçramış ve numune ile teması kesilmiştir. Belirli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra yerçekiminin etkisiyle tekrar serbest olarak düşmüştür ve deney numunesine ikinci darbeyi yapmıştır. Birinci darbede enerjinin bir kısmı soğurulduğu için ikinci darbe daha düşük bir enerji seviyesinde olmuş ve buna bağlı olarak ikinci azami kuvvet değeri de daha düşük olmuştur. Vurucu numune üzerinde duruncaya kadar tekrarlı darbeler devam etmiştir. Her darbede vurucunun enerjisi azaldığından azami kuvvet değeri zamana göre azalmış vurucu durduğunda sıfır olmuştur. Çalışmamızda sadece ilk darbenin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla ilk darbeden sonraki tekrarlı darbeler engellenmiştir.

Kuvvet - zaman eğrileri incelenecek olursa, en büyük temas kuvvetine ulaşana kadar geçen süre ile en büyük temas kuvvetinden vurucu ile numunenin ayrılmasına kadar geçen süreler birbirinden farklıdır.

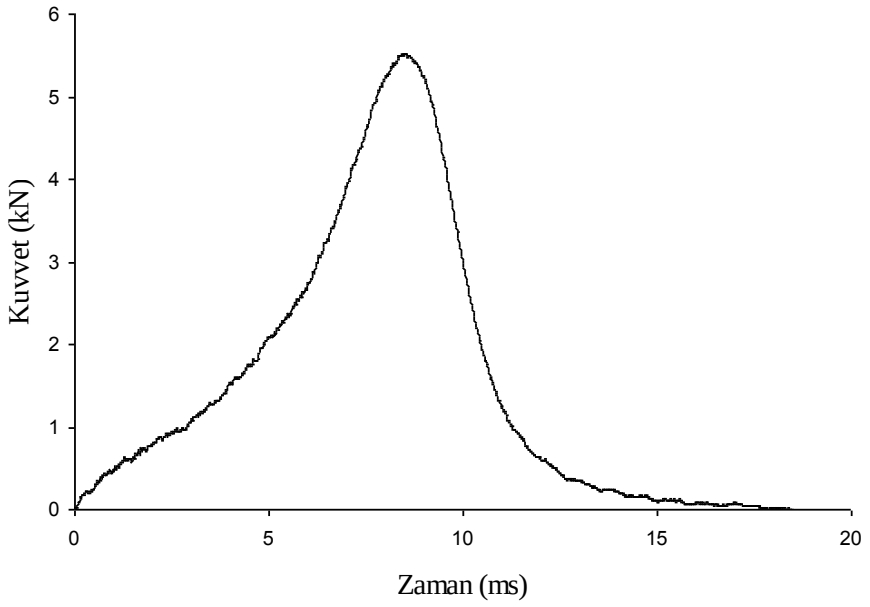
Bu durum tüm numunelerde benzer şekilde olmaktadır. Ancak eğrilerin böyle bir karakteristik göstermesi numunelerin plastik deformasyona uğraması ve viskoelastisite ile açıklanabilir yani plastik deformasyon öncesinde elastik şekil değişimi olmaktadır.

Darbe ile karşılaşıldığı anda malzemedeki hava boşlukları gazların sıkıştırılabilirliği ilkesine göre yastıklama görevi yapmakta bu sönümlemenin yetersiz

kalması durumunda vinil ester reçine devreye girmekte ve darbe yutmaya devam etmektedir. Bu iki darbe emicinin de yetersiz kalması durumunda çelik talaşı/granül kauçuk önce yay gibi (elastik şekil değiştirme) davranarak daha sonra da yerleşim değiştirme, kırılma ve ezilmeye (plastik şekil değişimi) maruz kalarak enerji absorbe etmektedir.

6.1.1. Vurucu ile Deney Numunesi Arasındaki Temas Kuvvetleri

Şekil 6.1'de ağırlıkça % 50 granül kauçuk % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.1 Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - zaman eğrisi

Grafikte gözlendiği gibi başlangıç anında temas kuvveti yavaş artmıştır, bitişte ise temas kuvveti hızlı bir şekilde düzenli azalmıştır.

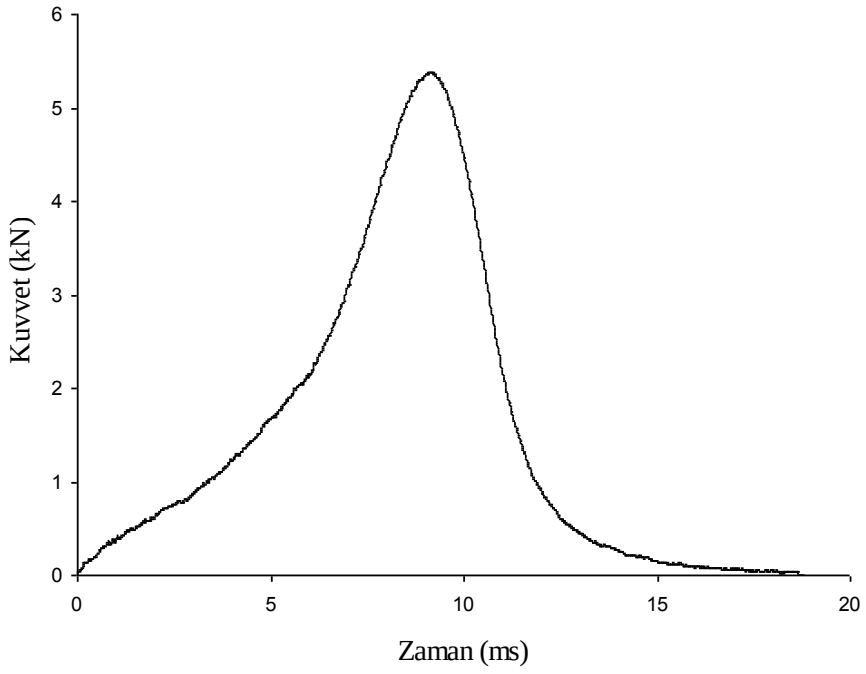
Grafikten de görüleceği üzere en büyük temas kuvveti 5,52 kN, temas süresi 18,46 ms olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.2 Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numunenin darbeden sonraki görüntüsü

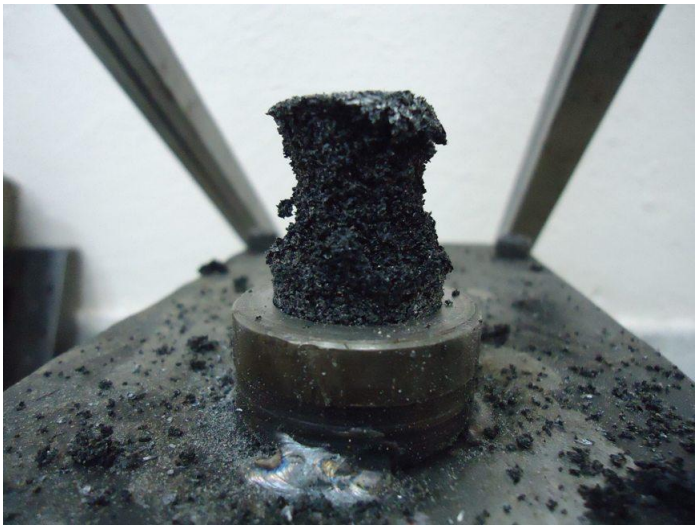
Şekil 6.2'de % 50 granül kauçuk içeren numunenin darbe deneyi sonrasındaki durumu gösterilmiştir.

Şekil 6.3'de ağırlıkça % 60 granül kauçuk % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.3 Ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - zaman eğrisi

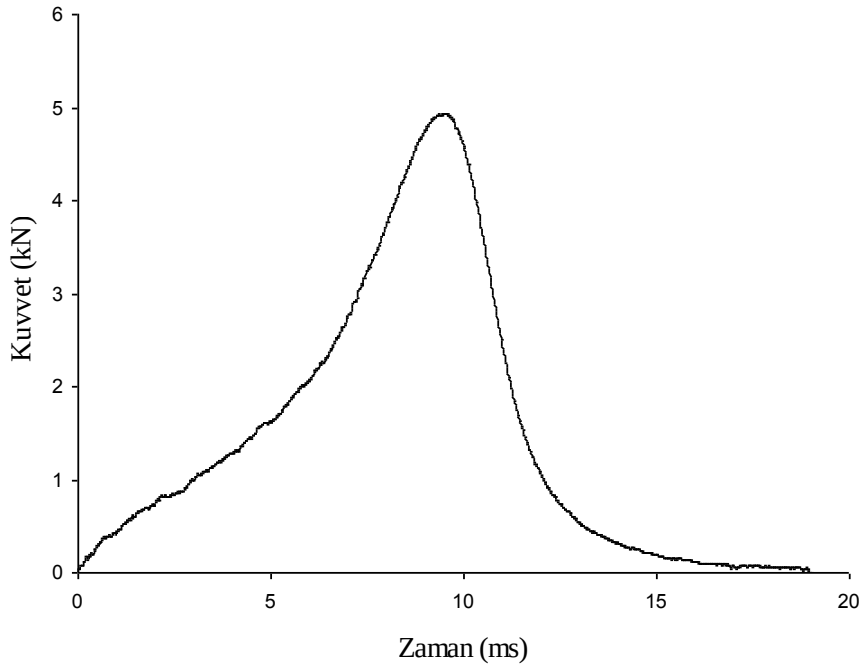
Grafikten de görüleceği üzere en büyük temas kuvveti 5,38 kN, temas süresi 18,78 ms olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.4 Ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numunenin darbeden sonraki görüntüsü

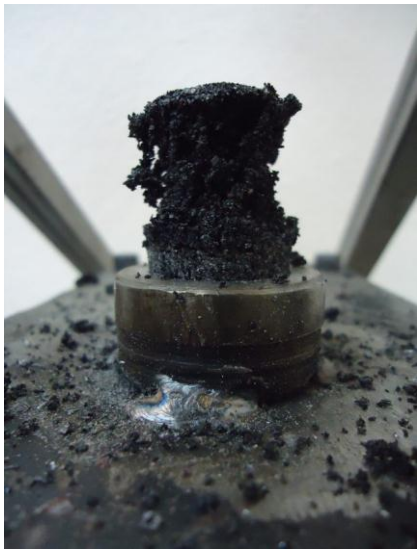
Şekil 6.4'de % 60 granül kauçuk içeren numunenin darbe deneyi sonrasındaki durumu gösterilmiştir.

Şekil 6.5'de ağırlıkça % 70 granül kauçuk % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.5 Ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - zaman eğrisi

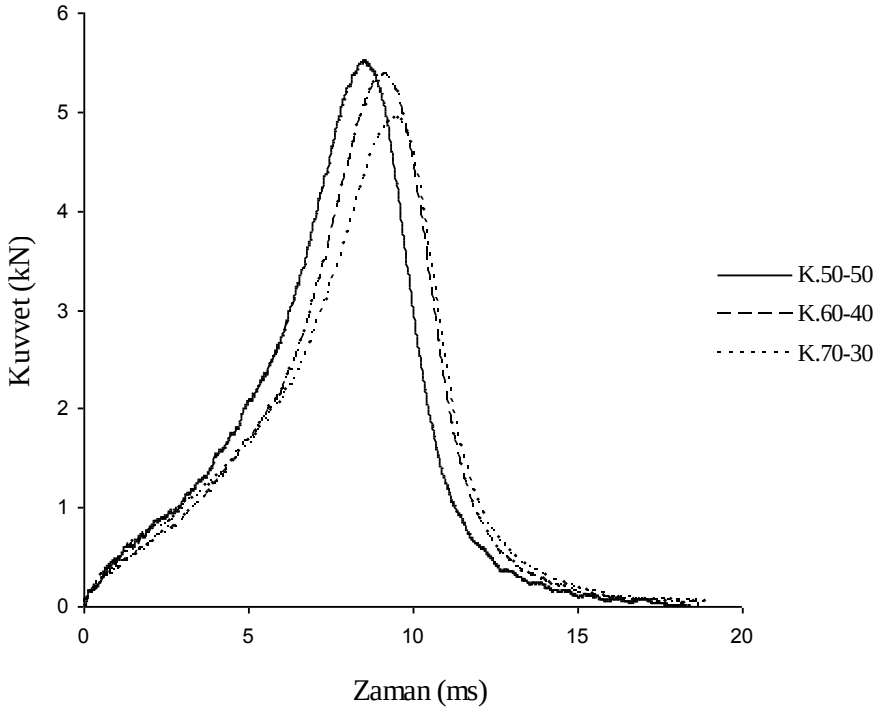
Grafikten de görüleceği üzere en büyük temas kuvveti 4,94 kN, temas süresi 19,02 ms olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.6 Ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numunenin darbeden sonraki görüntüsü

Şekil 6.6'da % 70 granül kauçuk içeren numunenin darbe deneyi sonrasındaki durumu gösterilmiştir.

Şekil 6.7'de ise 3 farklı karışım oranında üretilmiş granül kauçuk - vinil ester reçine karışımının kuvvet - zaman eğrisi birlikte görülmektedir.



Şekil 6.7 Ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren numunelerin kuvvet - zaman eğrisi

Numunelere yapılan darbe sonucu elde ettiğimiz kuvvet-zaman eğrileri altında kalan alandan hesaplanan impuls kuvveti değerleri (J_i) kıyaslanacak olur ise; Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numunenin 28,69 N.s , ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numunenin 28,48 N.s , ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numunenin 27,94 N.s impuls kuvveti değerine sahip olduğu görülmektedir.

1500 kPa presleme basıncı altında imal edilen numunelerin içerisindeki hava oranları incelenir ise; Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numune hacimsel olarak % 3,81, ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numune hacimsel olarak % 7,68, ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numune hacimsel olarak % 11,56 oranında hava içermektedir.

Çizelge 6.1 En büyük temas kuvvetleri ve en büyük temas süreleri

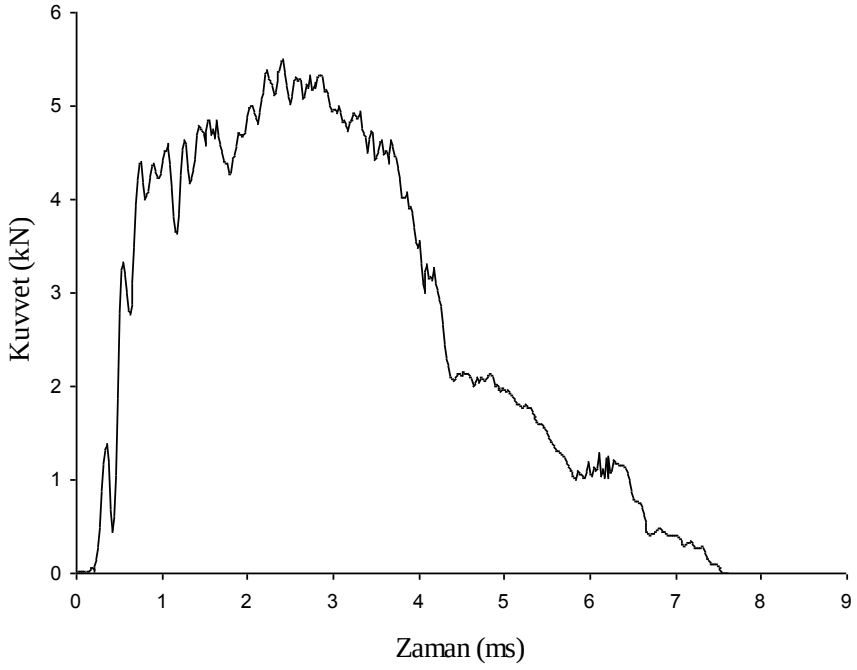
Deney No	Presleme Basıncı [kPa]	G.Kauçuk Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	En Büyük Temas Kuvveti [kN]	Kuvvet Değerinin Standart Sapması	Temas Süresi [ms]
1	1.500	50	3,81	5,52	0,17	18,46
2		60	7,68	5,38	0,13	18,78
3		70	11,56	4,94	0,11	19,02

Karışım oranları en büyük temas kuvvetini etkilemektedir. 1500 kPa presleme basıncında sıkıştırılmış % 50 granül kauçuk içeren bir numunede en büyük temas kuvveti 5,52 kN’ iken % 60'da 5,38 kN, % 70'de 4,94 kN’ a düşmektedir. Numune içerisindeki granül kauçuk oranı arttıkça en büyük temas kuvveti azalmakta; vinil ester reçine oranı arttıkça en büyük temas kuvveti de artmaktadır.

Karışım oranları temas süresini etkilemektedir. 1500 kPa presleme basıncında sıkıştırılmış % 50 granül kauçuk içeren bir numunede bu değer 18,46 ms iken % 60 da 18,78 ms 'ye, % 70 de 19,02 ms 'ye artmaktadır. Numune içerisindeki granül kauçuk oranı arttıkça temas süresi uzamakta; vinil ester reçine oranı arttıkça temas süresi kısalmaktadır.

Çelik talaşı - vinil ester reçine karışımı ile üretilen numunelerin kuvvet zaman grafikleri incelenecek olursa;

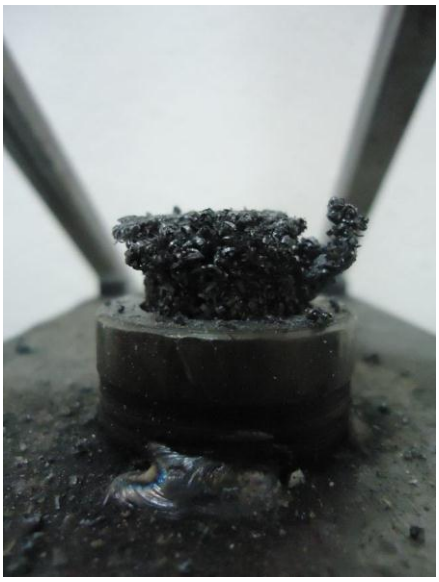
Şekil 6.8'de ağırlıkça % 50 çelik talaşı % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.8 Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - zaman eğrisi

Grafikte gözlendiği gibi başlangıç anında temas kuvveti hızlı bir şekilde artmıştır, bitişte ise temas kuvveti yavaş ve düzensiz bir şekilde azalmıştır. Bu düzensizliklerin sebebi numunedeki hasar oluşumunun devam etmesidir.

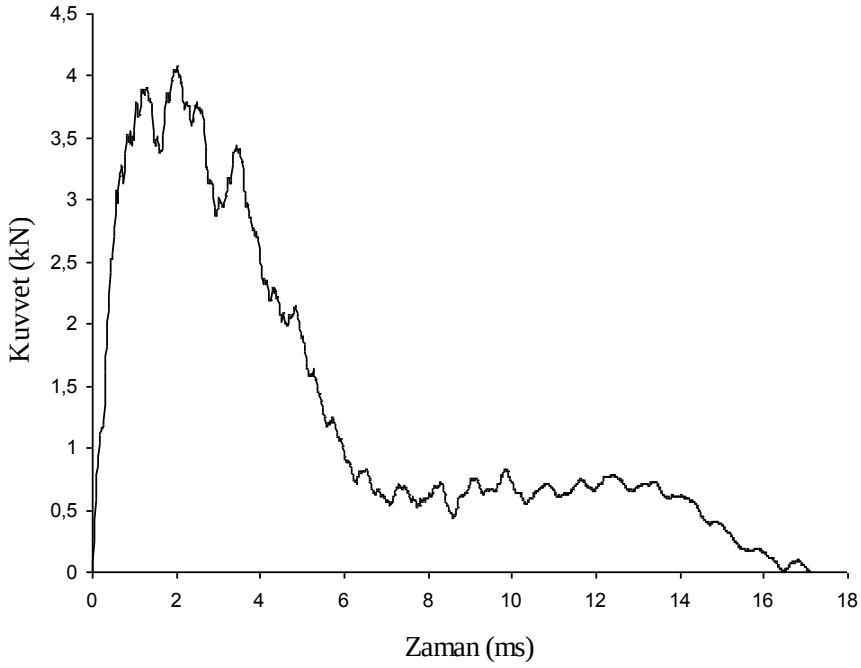
Grafikten de görüleceği üzere en büyük temas kuvveti 5,49 kN, temas süresi 7,62 ms olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.9 Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numunenin darbeden sonraki görüntüsü

Şekil 6.9'da % 50 çelik talaşı içeren numunenin darbe deneyi sonrasındaki durumu gösterilmiştir.

Şekil 6.10'da ağırlıkça % 60 çelik talaşı % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.10 Ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - zaman eğrisi

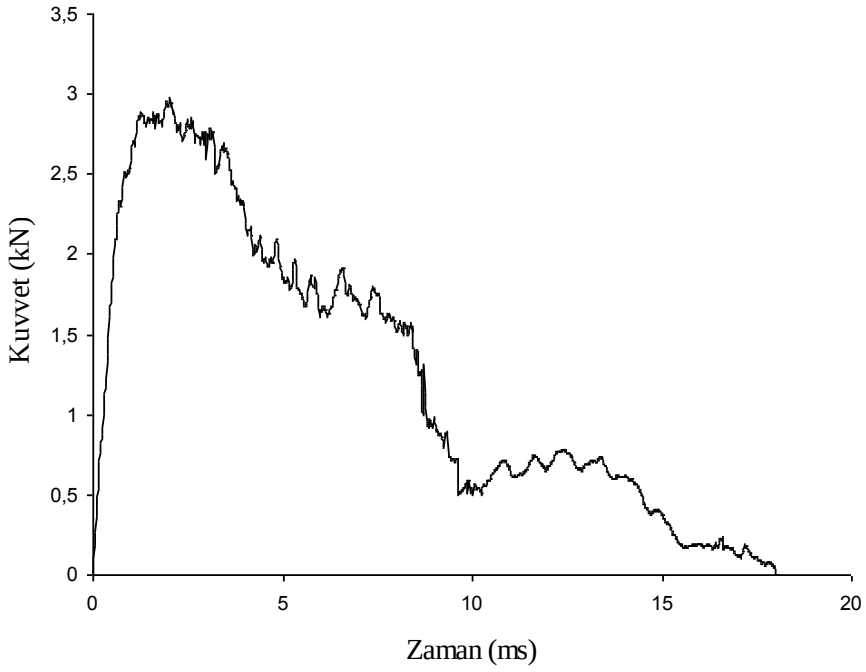
Grafikten de görüleceği üzere en büyük temas kuvveti 4,07 kN, temas süresi 17,1 ms olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.11 Ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numunenin darbeden sonraki görüntüsü

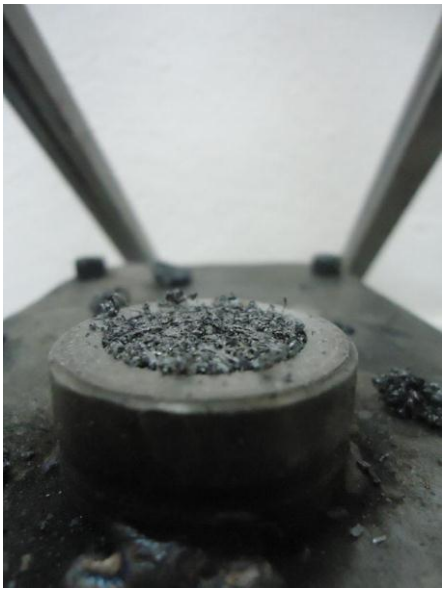
Şekil 6.11'de % 60 çelik talaşı içeren numunenin darbe deneyi sonrasındaki durumu gösterilmiştir.

Şekil 6.12'de ağırlıkça % 70 çelik talaşı % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - zaman eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.12 Ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - zaman eğrisi

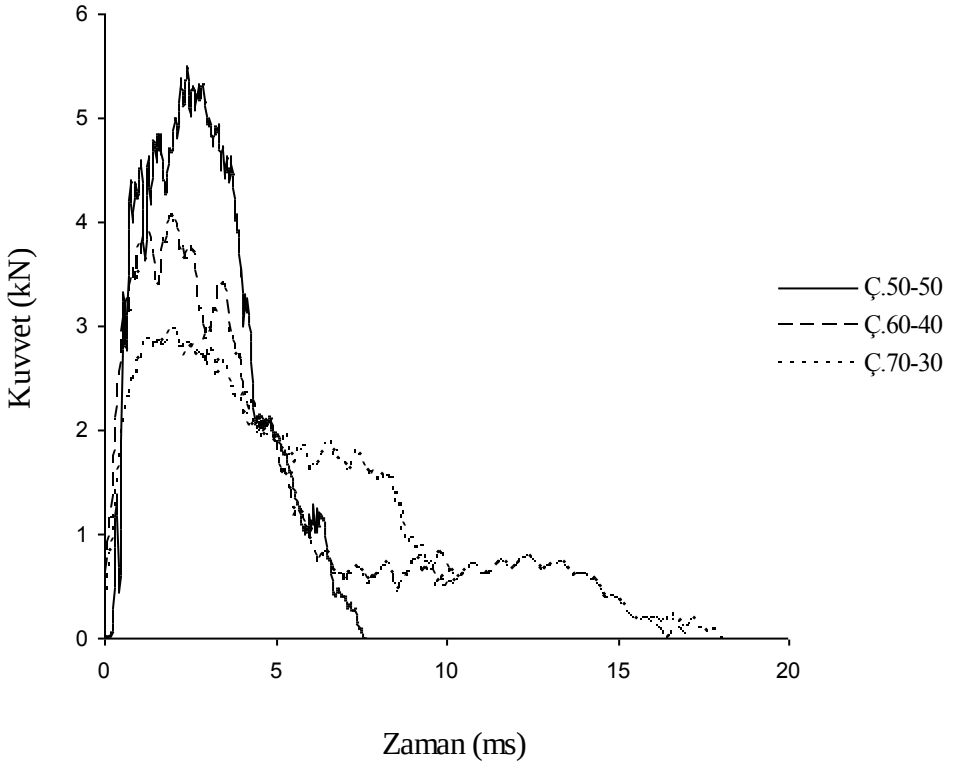
Grafikten de görüleceği üzere en büyük temas kuvveti 2,96 kN, temas süresi 18,08 ms olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.13 Ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numunenin darbeden sonraki görüntüsü

Şekil 6.13'de % 70 çelik talaşı içeren numunenin darbe deneyi sonrasındaki durumu gösterilmiştir.

Şekil 6.14'de ise 3 farklı karışım oranında üretilmiş çelik talaşı - vinil ester reçine karışımının kuvvet - zaman eğrisi birlikte görülmektedir.



Şekil 6.14 Ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren numunelerin kuvvet - zaman eğrisi

Numunelere yapılan darbe sonucu elde ettiğimiz kuvvet-zaman eğrileri altında kalan alandan hesaplanan impuls kuvveti değerleri (J_i) kıyaslanacak olur ise; Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numunenin 21,121 N.s , ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numunenin 22,335 N.s , ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numunenin 22,705 N.s impuls kuvveti değerine sahip olduğu görülmektedir.

1500 kPa presleme basıncı altında imal edilen numunelerin içerisindeki hava oranları incelenir ise; Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numune hacimsel olarak % 7,18, ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numune hacimsel olarak % 15,07, ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numune hacimsel olarak % 23,70 oranında hava içermektedir.

Çizelge 6.2 En büyük temas kuvvetleri ve en büyük temas süreleri

Deney No	Presleme Basıncı [kPa]	Ç.Talaşı Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	En Büyük Temas Kuvveti [kN]	Kuvvet Değerinin Standart Sapması	Temas Süresi [ms]
1	1.500	50	7,18	5,49	0,48	7,62
2		60	15,07	4,07	0,38	17,10
3		70	23,70	2,96	0,34	18,08

Karışım oranları en büyük temas kuvvetini etkilemektedir. 1500 kPa presleme basıncında sıkıştırılmış % 50 çelik talaşı içeren bir numunede en büyük temas kuvveti 5,49 kN' iken % 60'da 4,07 kN, % 70'de 2,96 kN' a düşmektedir. Numune içerisindeki çelik talaşı oranı arttıkça en büyük temas kuvveti azalmakta; vinil ester reçine oranı arttıkça en büyük temas kuvveti de artmaktadır.

Aynı zamanda karışım oranları temas süresini etkilemektedir. 1500 kPa presleme basıncında sıkıştırılmış % 50 çelik talaşı içeren bir numunede bu değer 7,62 ms iken % 60 da 17,10 ms 'ye, % 70 de 18,08 ms 'ye artmaktadır. Numune içerisindeki çelik talaşı oranı arttıkça temas süresi uzamakta; vinil ester reçine oranı arttıkça temas süresi kısalmaktadır.

Çelik talaşı - vinil ester karışımından oluşan numunelere yapılan darbeler sonrası deney numuneleri resimlerde de görüldüğü üzere parçalanmış ve bu yüzden grafiklerde en büyük temas kuvvetinden sonra grafikteki gibi düzensiz kuvvet iniş çizgileri oluşmuştur.

Çelik talaşı - vinil ester karışımlı numunelerin tüm deneylerde kuvvet-zaman ve kuvvet-deplasman grafikleri titreşimli bir grafik eğrisi vermiştir. Bunun sebepleri çelik talaşının yönlenmesi, çelik talaşın kendi içerisinde burkulup tekrar eski haline gelmesi sonucu oluşan küçük deformasyonlardır.

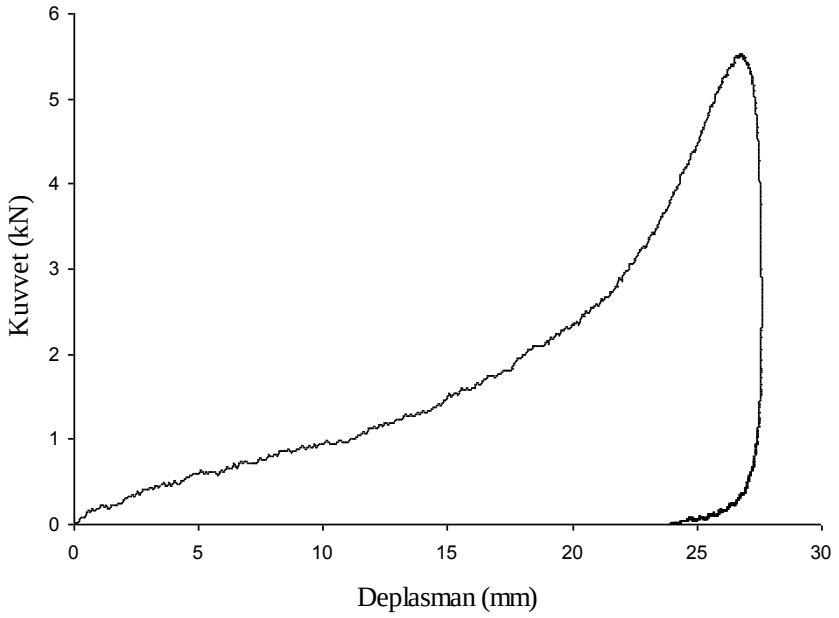
Takviye malzemesi olarak kullanılan çelik talaşı ile granül kauçuktan oluşan numuneler kendi arasında kıyaslanırsa takviye malzemesi granül kauçuk olan numunelerin en büyük temas kuvvetinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır ve aynı şekilde temas süreleri kıyaslanır ise granül kauçuğun temas süresinin daha uzun olduğu görülmektedir.

6.1.2. Kinetik Analiz İle Elde Edilen Kuvvet - Yer Değiştirme Değerleri

Yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi, hız-zaman değerlerinden iki ivme verisi arasındaki değişimin doğrusal olması yaklaşımı ile sayısal entegral yöntemlerinden yamuklar kuralı yardımıyla elde edilmiştir.

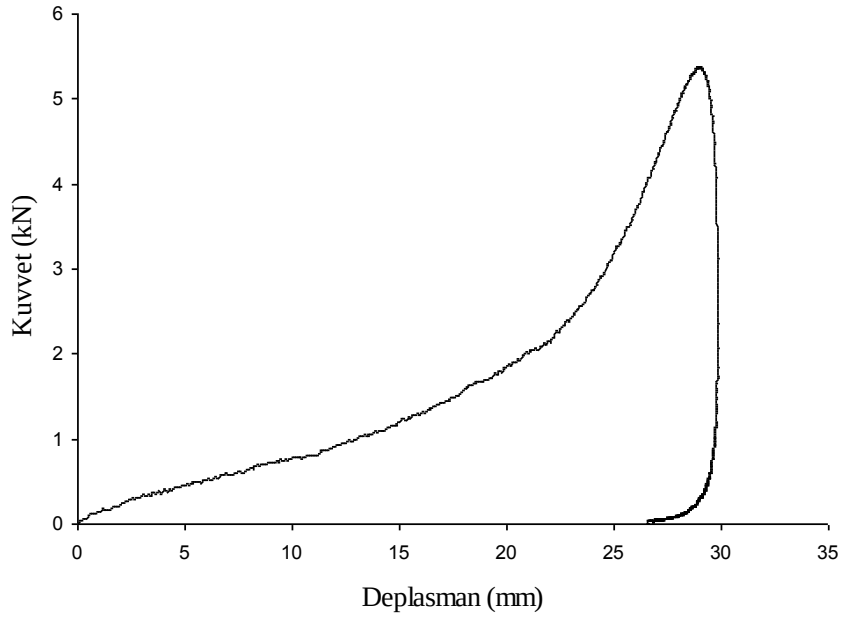
Kuvvetin yer değiştirmeye göre değişimi aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur. Kuvvet - yer değiştirme grafiği altında kalan alan bize numune üzerine yapılan işi; yani numune tarafından yutulan enerjiyi vermektedir.

Şekil 6.15'de ağırlıkça % 50 granül kauçuk % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrisi görülmektedir. Yer değiştirme (deplasman) miktarı 23,87 mm olarak ölçülmüştür.



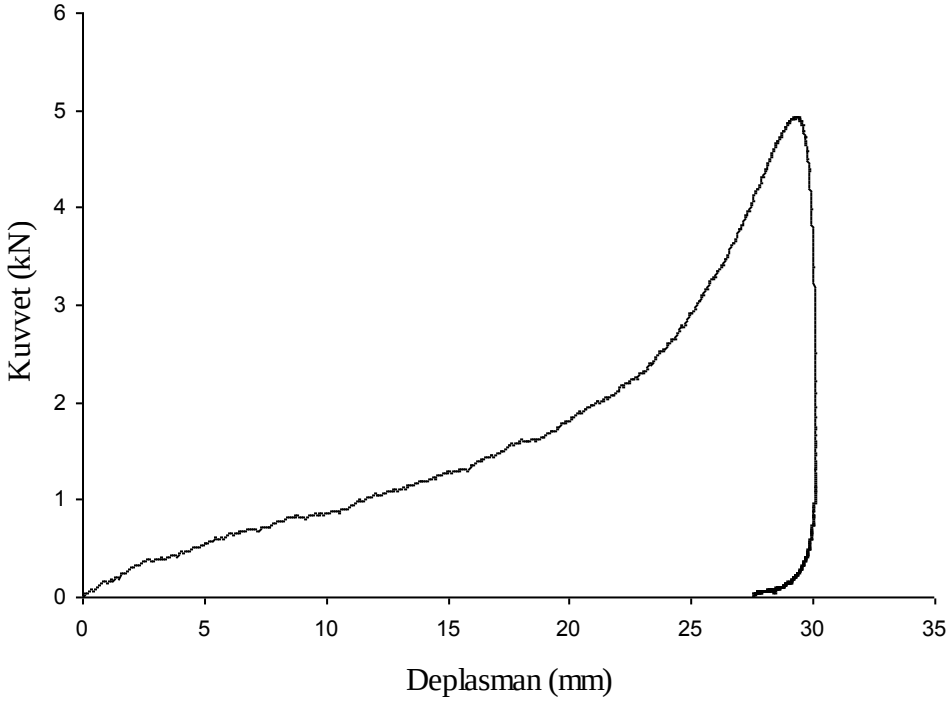
Şekil 6.15 Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - yer değiştirme eğrisi

Şekil 6.16'da ağırlıkça % 60 granül kauçuk % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrisi görülmektedir. Yer değiştirme (deplasman) miktarı 26,50 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.16 Ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - yer değiştirme eğrisi

Şekil 6.17'de ağırlıkça % 70 granül kauçuk % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrisi görülmektedir. Yer değiştirme (deplasman) miktarı 27,52 mm olarak ölçülmüştür.

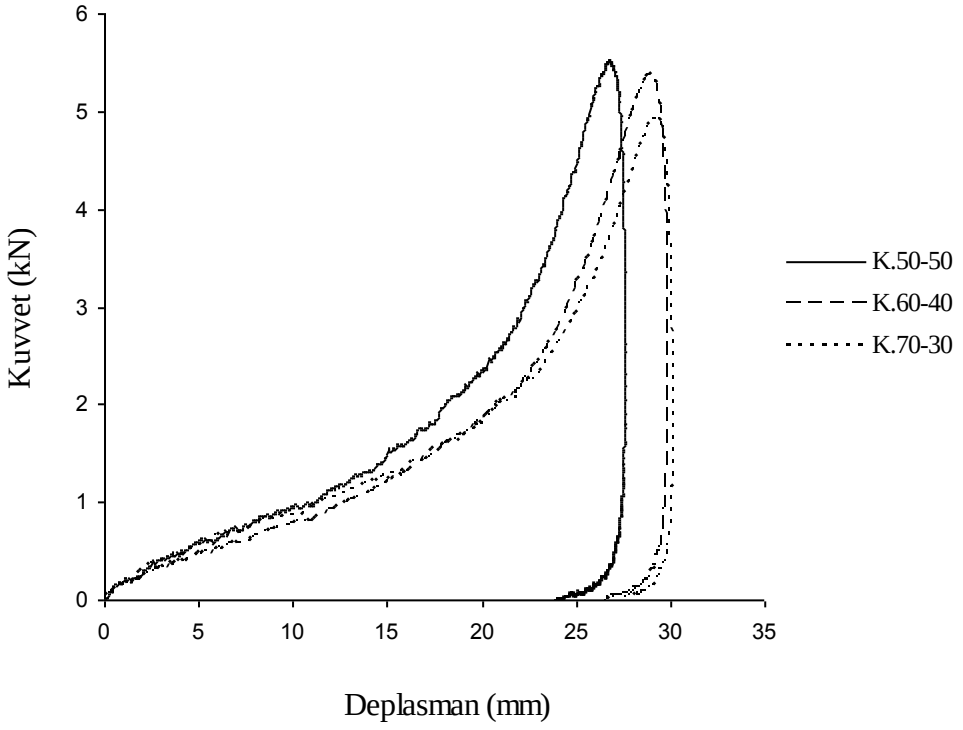


Şekil 6.17 Ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - yer değiştirme eğrisi

Çizelge 6.3 Deplasman miktarları ve en büyük temas kuvvetleri

Deney No	Presleme Basıncı [kPa]	G.Kauçuk Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	En Büyük Temas Kuvveti [kN]	En Büyük Yer Değiştirme [mm]
1	1.500	50	3,81	5,52	23,87
2		60	7,68	5,38	26,50
3		70	11,56	4,94	27,52

Şekil 6.18'de ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren deney numunelerinin kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrileri görülmektedir.



Şekil 6.18 Ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren numunelerin kuvvet - yer değiştirme eğrileri

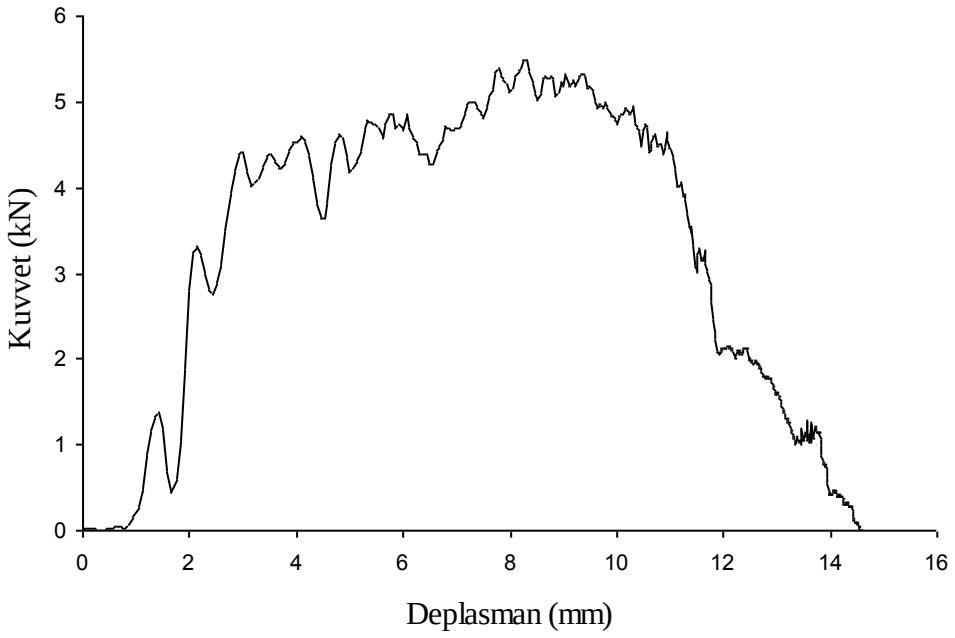
1500 kPa presleme basıncı altında imal edilen numuneler içerdikleri granül kauçuk oranlarına bağlı olarak ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numune hacimsel olarak % 3.81, ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numune hacimsel olarak % 7.68, ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numune hacimsel olarak % 11.56 oranında hava içermektedir.

Karışım oranları grafiklerde de görüldüğü gibi yer değiştirme değerini etkilemektedir. Granül kauçuk oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi

arttığından numune daha çok kısalmakta ve yer değiştirme değeri artmakta, bununla birlikte vinil ester reçine oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi azaldığından numune daha az kısalmakta ve yer değiştirme değeri azalmaktadır.

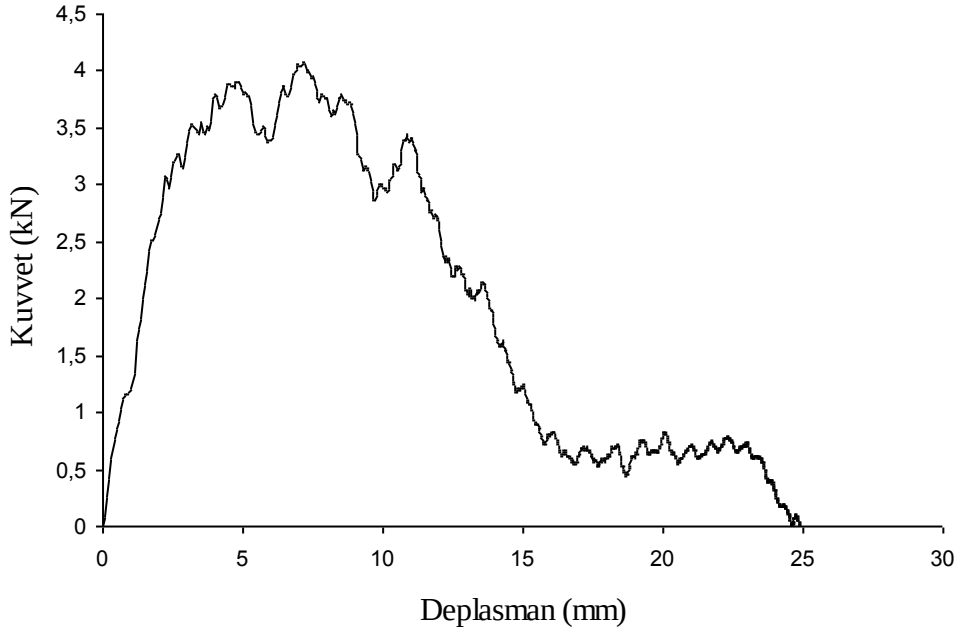
Çelik talaşı - vinil ester reçinde karışımından oluşan numunelerin kuvvet-yer değişimi grafikleri incelenecek olursa;

Şekil 6.19'da ağırlıkça % 50 çelik talaşı % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrisi görülmektedir. Yer değiştirme (deplasman) miktarı 14,59 mm olarak ölçülmüştür.



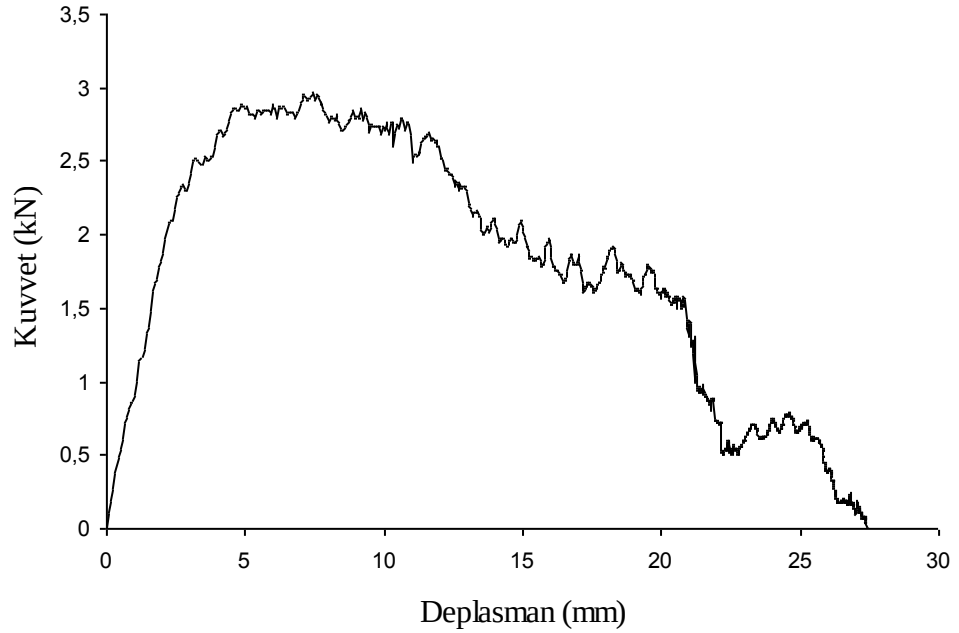
Şekil 6.19 Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - yer değiştirme eğrisi

Şekil 6.20'de ağırlıkça % 60 çelik talaşı % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrisi görülmektedir. Yer değiştirme (deplasman) miktarı 24,87 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.20 Ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - yer değiştirme eğrisi

Şekil 6.21'de ağırlıkça % 70 çelik talaşı % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin için kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrisi görülmektedir. Yer değiştirme (deplasman) miktarı 27,40 mm olarak ölçülmüştür.

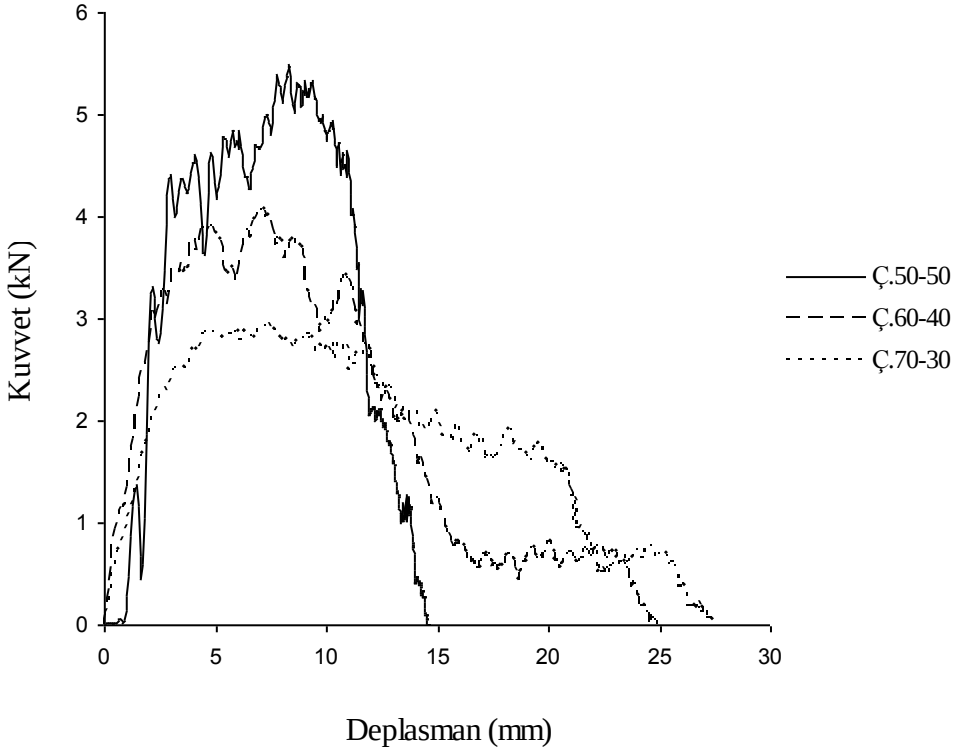


Şekil 6.21 Ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - yer değiştirme eğrisi

Çizelge 6.4 Deplasman miktarları ve en büyük temas kuvvetleri

Deney No	Presleme Basıncı [kPa]	Ç.Talaşı Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	En Büyük Temas Kuvveti [kN]	En Büyük Yer Değiştirme [mm]
1	1.500	50	7,18	5,49	14,59
2		60	15,07	4,07	24,87
3		70	23,70	2,96	27,40

Şekil 6.22'de ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren deney numunelerinin kuvvet - yer değişimi (deplasman) eğrileri görülmektedir.



Şekil 6.22 Ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren numunelerin kuvvet - yer değiştirme eğrileri

1500 kPa presleme basıncı altında imal edilen numuneler içerdikleri çelik talaşı oranlarına bağlı olarak ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numune hacimsel olarak % 7,18, ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numune hacimsel olarak % 15,08, ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numune hacimsel olarak % 23,70 oranında hava içermektedir.

Karışım oranları grafiklerde de görüldüğü gibi yer değiştirme değerini etkilemektedir. Çelik talaşı oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi arttığından numune daha çok kısalmakta ve yer değiştirme değeri artmakta, bununla birlikte vinil

ester reçine oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi azaldığından numune daha az kısalmakta ve yer değiştirme değeri azalmaktadır.

Kuvvet - Deplasman (yer değiştirme) eğrileri darbe olayı esnasında kompozit malzemeye ait darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir tanesidir. Her bir eğri yüklemede bir artma kısmına, ulaşılan bir maksimum kuvvet değerine ve yükten boşaltmada da bir azalma kısmına sahiptir.

Kuvvet-çökme eğrisinde artma kısmı darbe yüküne karşı numunenin göstermiş olduğu dirençten dolayı eğilme rijitliği olarak adlandırılır. Artan darbe enerjisi altında oluşan bu eğriler kapalı tip ve açık tip eğri olarak iki kısma ayrılır.

Kapalı tip eğri vurucunun numuneye temas etmesinden sonra vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesiyle oluşan eğrilerdir. Yani uygulanan darbe enerjisinin büyük bir kısmı numune tarafından yutulmuş ve yutulamayan enerji de vurucunun geri sekmesi için kullanılmıştır.

Eğer bir eğri açık tip ise vurucu numuneye saplanmıştır, numuneyi delmiştir veya numuneyi parçalamıştır.

Buna göre granül kauçuk-vinil ester reçine karışımından oluşan numuneler için oluşan eğriler kapalı tip eğrilerdir.

Bunun yanı sıra çelik talaşı-vinil ester reçine karışımından oluşan numuneler için oluşan eğriler açık tip eğrilerdir.

Deneyler sırasında çelik talaşı-vinil ester reçine karışımından oluşan deney numuneleri aşırı derecede hasar görmüş, numunelerin büyük bir kısmı parçalanmıştır.

6.1.3. Düşük Hızlı Darbede Toplam Enerji Dağılımı

Düşük hızlı darbede vurucu kütlesinin serbest düşmeye başlamadan önce sahip olduğu potansiyel enerji (darbe enerjisi) aşağıdaki mekanizmalara harcanır.

Geri sekme (sıçrama) enerjisi
Kuvvet algılayıcıda tüketilen enerji
Vurucuda harcanan enerji
Mesnet sisteminde harcanan elastik enerji

Bağlama noktasında kayma enerjisi

Parçaya aktarılan enerji (Parçada harcanan elastik enerji + Hasar enerjisi)

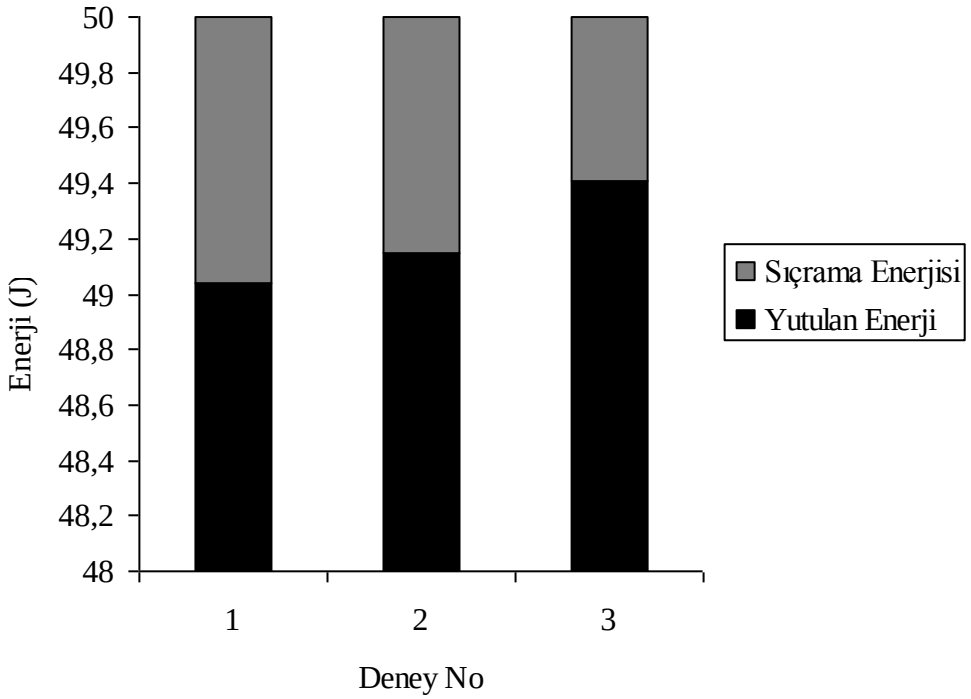
Sürtünme Enerjisi

Kuvvet algılayıcı sisteme bağlanmış ve ön yükleme yapılmıştır. Bu şartlar sağlandığında kalibrasyon eğrisinde garanti edilen değerler içerisinde kuvvet algılayıcıda harcanan enerji dikkate alınmamıştır. Bağlama aparatı ve alt tabla deney numunesine nazaran kalın, ağır ve rijit olduğu için bunlardaki elastik deformasyona harcanan enerji deney numunesine harcanan enerjiye göre çok azdır ve dikkate alınmamıştır. Vurucu Ç4140 malzemesinden yapılıp 63 HRC sertlik derecesinde sertleştirilmiştir. Bu nedenle vurucudaki elastik şekil değiştirme deney numunesine göre oldukça küçük olduğunda burada harcanan enerji ihmal edilmiştir. Numune bağlama aparatına yeterli sıklıkta bağlanarak kayması önlenmiştir. Vurucu kütlesinin hareket ettiği ray ve lineer yatak sistemi 0.001 mm hassasiyetle çalışmakta olduğu için yatakta meydana gelen sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir. Bu nedenlerle toplam enerji, parçaya aktarılan enerji ve sıçrama enerjisi olmak üzere iki kısımda değerlendirilmiştir. Parçaya aktarılan enerji şekil değiştirme enerjisi ve hasar enerjisi olarak harcanmaktadır.

Kinetik analiz ile edilen kuvvet - yer değiştirme grafiklerinin altında kalan alan numune üzerine yapılan işi (numune tarafından yutulan enerjiyi) vermektedir. Bu durumdan yararlanarak sıçrama enerjisi ve numuneye aktarılan enerji tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5 Granül Kauçuk-Vinil Ester Reçine Deneylerindeki yutulan enerji - sıçrama enerjisi değerleri

Deney No	**Presleme Basıncı [kPa]**	**G.Kauçuk Oranı [% Ağırlık]**	**Boşluk Oranı [% Hacim]**	**Yutulan Enerji [J]**	**Sıçrama Enerjisi [J]**
1	1.500	50	3,81	49,040	0,960
2		60	7,68	49,151	0,849
3		70	11,56	49,409	0,591



Şekil 6.23 G.Kauçuk-Vinil Ester Reçine Deneylerindeki yutulan enerji - sıçrama enerjisi paylaşım grafiği

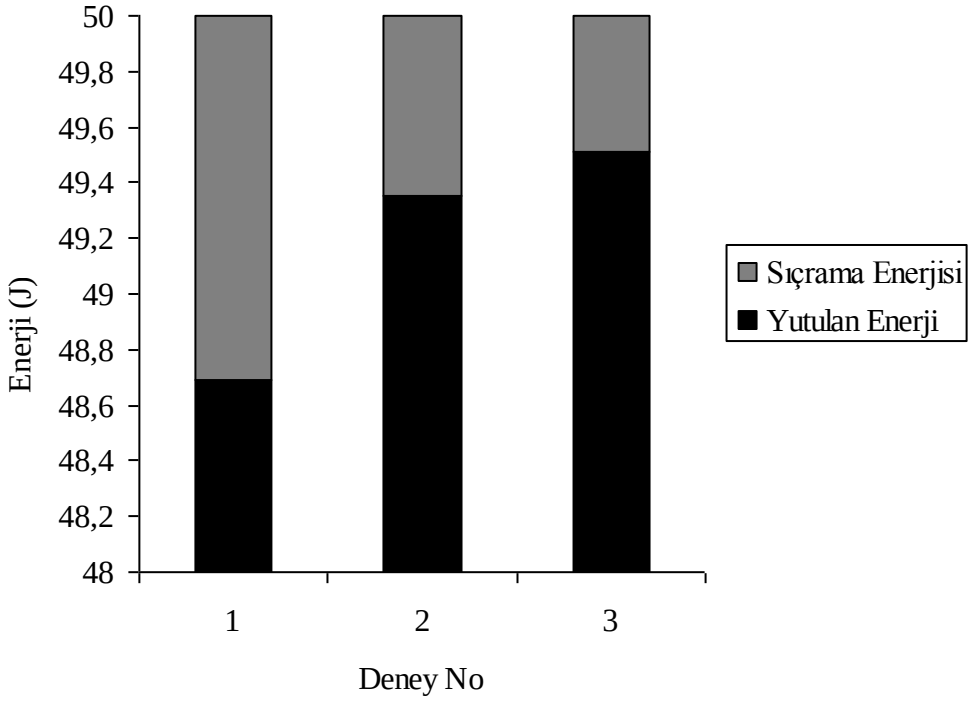
Çizelge 6.5'de Granül kauçuk-vinil ester reçine karışımlı numunelere ait yutulan enerji - sıçrama enerjisi değerleri verilmektedir. Şekil 6.23'de ise bu değerlerin daha kolay yorumlanması için sütun grafiği halinde verilmiştir. Sıçrama enerjisi; hesapla bulunan yutulan enerji değerinden darbe deneyindeki toplam enerji (50J) değerinin çıkarılması ile bulunmuştur.

Karışım oranlarının yutulan enerji değerini etkilediği görülmektedir. % 50 granül kauçuk içeren bir numunenin yuttuğu enerji miktarı 49,040 J' iken % 60'da 49,151 J, % 70'de 49,409 J'e yükselmektedir. Numunelerin enerji yutma yüzdeleri % 98,08 - 98,82 arasında gerçekleşmiştir.

Numune içerisindeki granül kauçuk oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi arttığından numune daha çok enerji yutmaktadır. Vinil ester reçine oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi azaldığından numune daha az enerji yutmaktadır.

Çizelge 6.6 Çelik Talaşı-Vinil Ester Reçine Deneylerindeki yutulan enerji - sıçrama enerjisi değerleri

Deney No	Presleme Basıncı [kPa]	Ç.Talaşı Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	Yutulan Enerji [J]	Sıçrama Enerjisi [J]
1	1.500	50	7,18	48,690	1,310
2		60	15,07	49,354	0,646
3		70	23,70	49,510	0,490



Şekil 6.24 Ç.Talaşı-Vinil Ester Reçine Deneylerindeki yutulan enerji - sıçrama enerjisi paylaşım grafiği

Çizelge 6.6'da Çelik talaşı-vinil ester reçine karışımlı numunelere ait yutulan enerji - sıçrama enerjisi değerleri verilmektedir. Şekil 6.24'de ise bu değerlerin daha kolay yorumlanması için sütun grafiği halinde verilmiştir. Sıçrama enerjisi; hesapla bulunan yutulan enerji değerinden darbe deneyindeki toplam enerji (50J) değerinin çıkarılması ile bulunmuştur.

Karışım oranlarının yutulan enerji değerini etkilediği görülmektedir. % 50 çelik talaşı içeren bir numunenin yuttuğu enerji miktarı 48,690 J' iken % 60'da 49,354 J, % 70'de 49,510 J'e yükselmektedir. Numunelerin enerji yutma yüzdeleri % 97,38-99,02 arasında gerçekleşmiştir.

Numune içerisindeki çelik talaşı oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi arttığından numune daha çok enerji yutmaktadır. Vinil ester reçine oranı arttıkça numune içinde kalan hava hacmi azaldığından numune daha az enerji yutmaktadır.

6.2. Basma Deneyi

Basma deneyleri Instron test cihazının çekme deneyi çenelerine yapılan Şekil 6.25'deki düz plakalar üzerinde montajı yapılmış basma aparatları kullanılarak yapılmıştır. Numuneler şekilde görüldüğü gibi basma aparatlarının merkez konumuna konumlandırılmıştır.

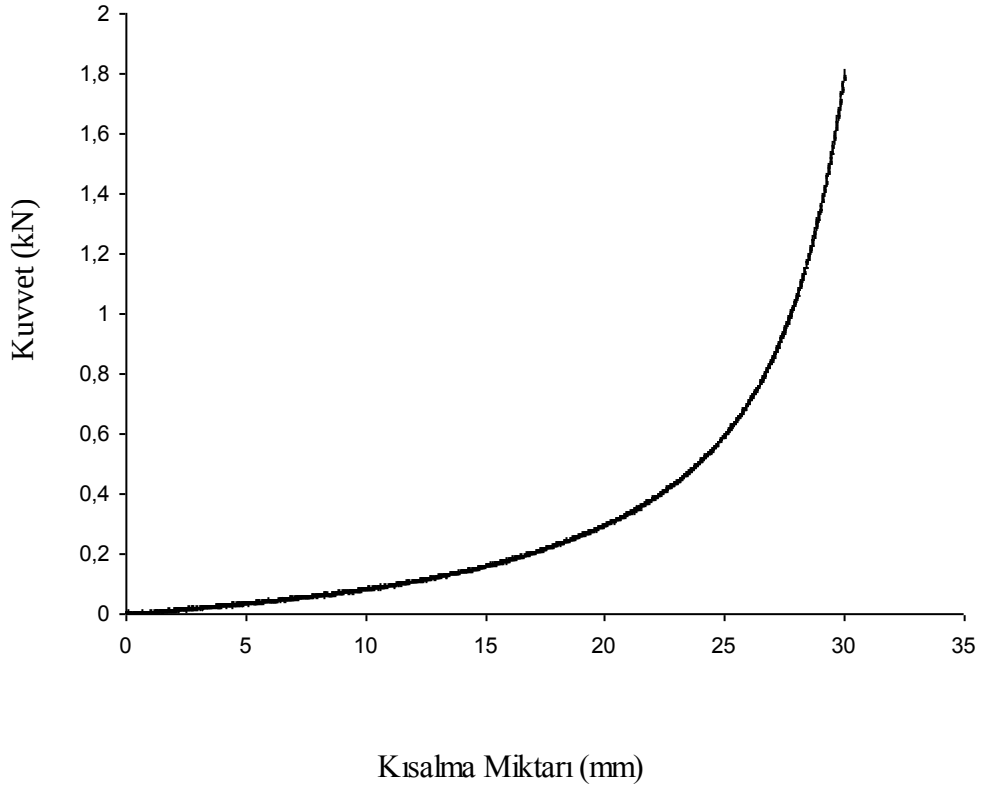
Çenelerin birbirine zarar vermemesi için sıkıştırma çeneleri arası mesafe 10 mm kalıncaya kadar çeneler basma kuvveti uygulayacak ve çeneler arası mesafe 10 mm kalınca makine otomatik olarak duracak şekilde ayarlanmıştır.

Deneyler sonucu kuvvet-deplasman değerleri elde edilmiş ve bu değerler ile Kuvvet-Deplasman grafikleri çizilmiştir. Kuvvet-deplasman grafiklerinde kuvvetin maksimum olduğu noktaya kadar yani malzemenin en büyük basma direncine ulaşıncaya kadar yutmuş olduğu enerjiler hesaplanmıştır.



Şekil 6.25 Basma deneyine hazır test numunesi

Şekil 6.26'da ağırlıkça % 50 granül kauçuk % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarı (deplasman) eğrisi görülmektedir.



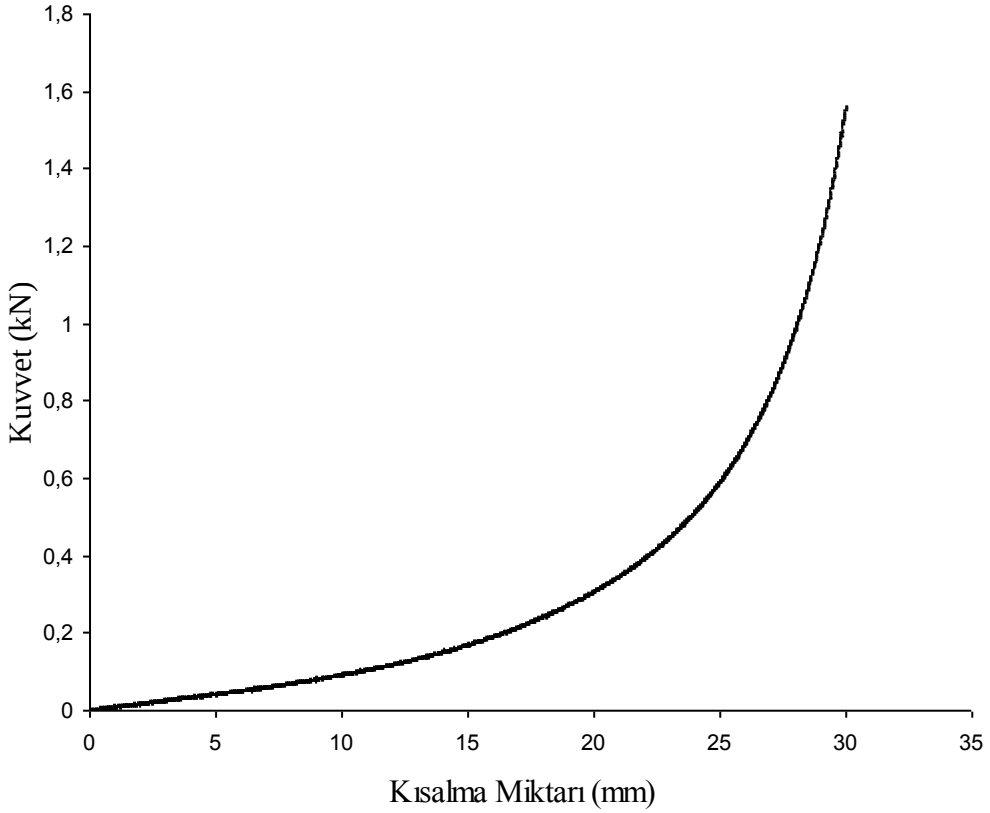
Şekil 6.26 Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - kısalma miktarı eğrisi

% 50 granül kauçuk - % 50 vinil ester reçine içeren numune 10 mm uzunluğuna gelinceye kadar kuvvet uygulanmış ve bunun neticesinde maksimum basma kuvvetinin 1,87 kN olduğu görünmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 9,35 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum basma gerilmesi ise; numuneye uygulanan maksimum kuvvet değerinin, o andaki numune kesitine bölünmesi ile 1,196 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.27'de ağırlıkça % 60 granül kauçuk % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarı (deplasman) eğrisi görülmektedir.



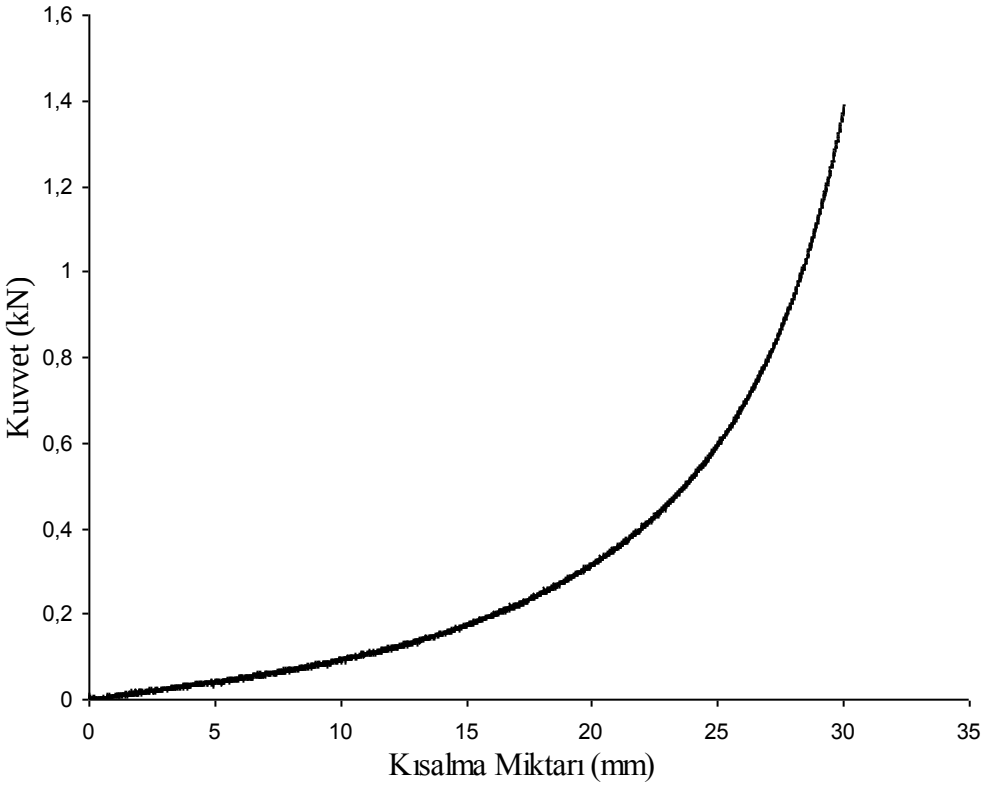
Şekil 6.27 Ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - kısalma miktarı eğrisi

% 60 granül kauçuk - % 40 vinil ester reçine içeren numune 10 mm uzunluğuna gelinceye kadar kuvvet uygulanmış ve bunun neticesinde maksimum basma kuvvetinin 1,56 kN olduğu görünmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 9,17 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum basma gerilmesi ise; numuneye uygulanan maksimum kuvvet değerinin, o andaki numune kesitine bölünmesi ile 1,03 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.28'de ağırlıkça % 70 granül kauçuk % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarı (deplasman) eğrisi görülmektedir.



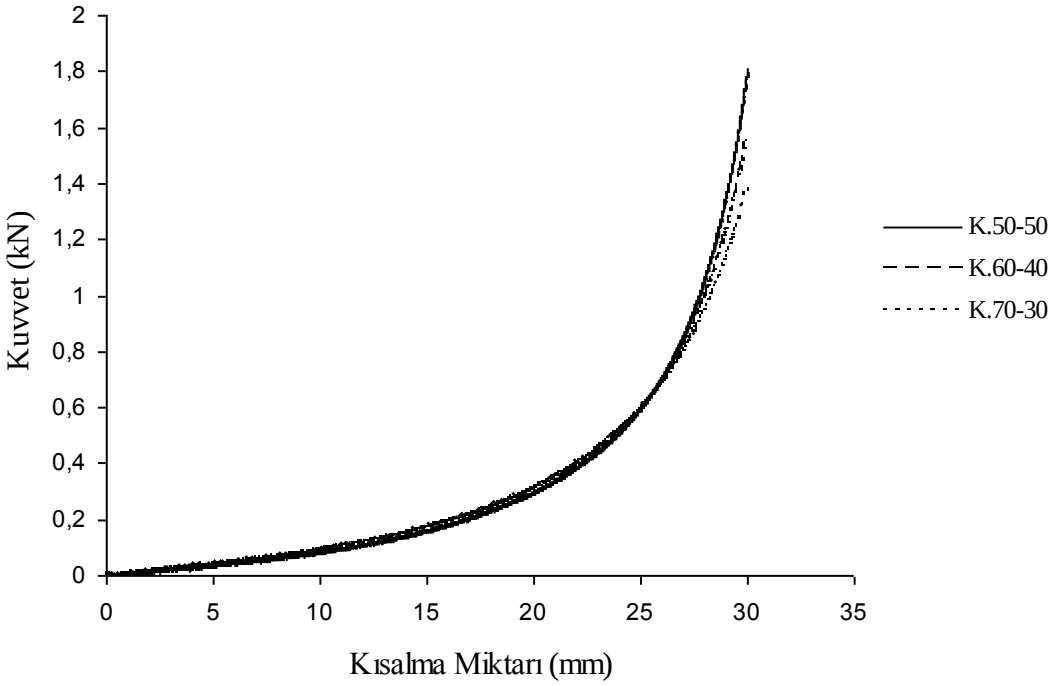
Şekil 6.28 Ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - kısalma miktarı eğrisi

% 70 granül kauçuk - % 30 vinil ester reçine içeren numune 10 mm uzunluğuna gelinceye kadar kuvvet uygulanmış ve bunun neticesinde maksimum basma kuvvetinin 1,39 kN olduğu görünmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 9,02 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum basma gerilmesi ise; numuneye uygulanan maksimum kuvvet değerinin, o andaki numune kesitine bölünmesi ile 0,915 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.29'da ise ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarları (deplasman) eğrisi beraber görülmektedir.



Şekil 6.29 Ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren numunelerin kuvvet - kısalma miktarı eğrileri

Çizelge 6.7 Granül Kauçuk - Vinil Ester Reçine Deneylerdeki Basma Kuvvetleri ve Yutulan Enerjiler

Deney No	G.Kauçuk Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	Maks. Basma Kuvveti [N]	1 kN'da Kısalma Miktarı [mm]	Yutulan Enerji [J]
1	50	3,81	1870	27,74	9,35
2	60	7,68	1560	28,03	9,17
3	70	11,56	1390	28,35	9,02

Granül kauçuk ve vinil ester reçine karışımlı numuneler 40 mm uzunluğundan 10 mm uzunluğuna kadar kısalmıştır, sünek bir karışım olduğu için deney boyunca numunede fıçılaşma devam etmiştir.

Çizelgedeki değerlere bakarak genel olarak aşağıdaki sayısal yorumları yapmak mümkündür. Granül kauçuk - vinil ester reçine karışımlı numunelerde granül kauçuk oranı arttıkça numunenin basmaya karşı dayanımı azalmıştır. Bunun iki sebebi vardır; ilk olarak granül kauçuk oranı arttıkça numune içerisinde kalan hava hacminin artması, ikinci olarak granül kauçuk oranının artması ile beraber bağlayıcı olan vinil ester reçine matrisin azalması numunenin basma kuvvetlerine karşı direncini azaltmıştır. Yani

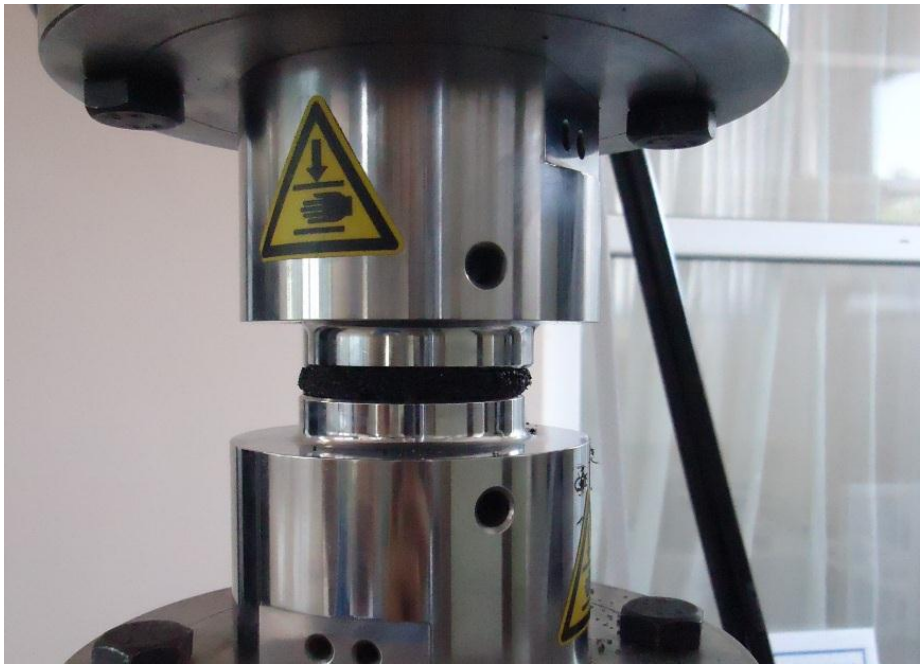
numune içinde kalan hava hacminin azalması ve granül kauçukların birbirine bağlanmasını sağlayan bağlayıcı matris olan vinil ester reçine oranının artması numuneye basma dayanımı kazandırmaktadır.

Ayrıca; granül kauçuk - vinil ester reçine karışımlı numunelerde granül kauçuk oranının artışı numunenin elastikiyetini artırmıştır. Örneğin 1000 N basma kuvvetinde numunelerin kısalma miktarları kıyaslanacak olur ise % 50 granül kauçuk içeren numune 27,74 mm, % 60 granül kauçuk içeren numune 28,03 mm, % 70 granül kauçuk içeren numune 28,35 mm kısalmıştır.

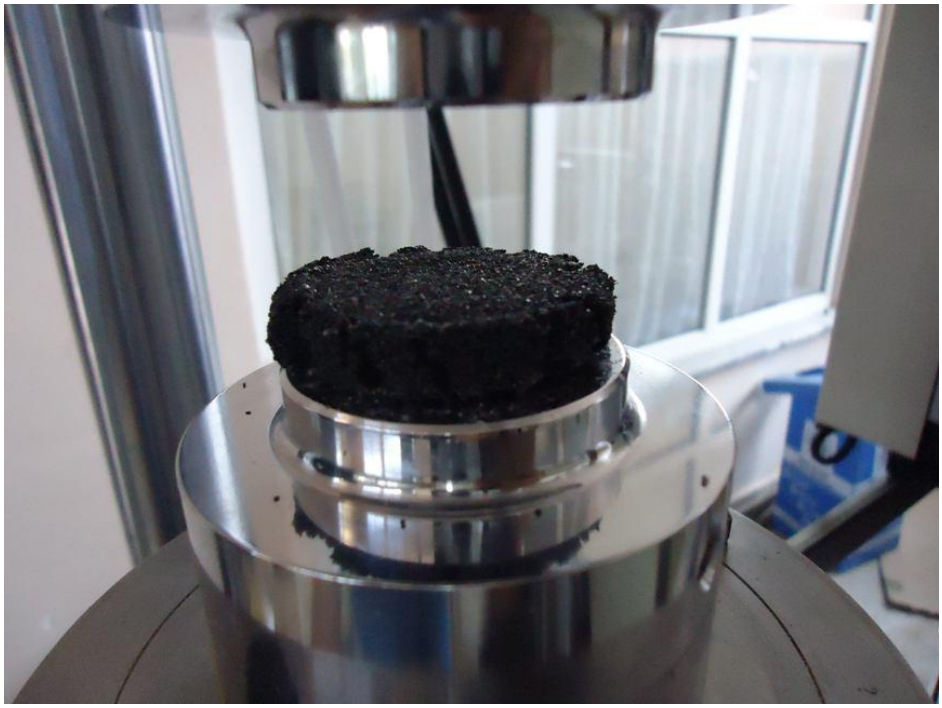
Ayrıca düşük hızlı darbe testindeki (Şekil 6.18) granül kauçuğun kuvvet-deplasman grafiğini basma deneyindeki kuvvet-deplasman grafiği (Şekil 6.29) ile karşılaştırıldığında rijitlik değerlerinin her üç numunede de birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Numunelerin kuvvet - kısalma miktarı grafiklerinin altında kalan alanlardan enerjiler kıyaslanırsa; granül kauçuk oranının artması absorbe edilen (yutulan) enerjiyi azaltmıştır.

Şekil 6.30 ve 6.31'de numunenin basma deneyi sırasında ve basma deneyi sonrası görüntüleri gösterilmiştir.

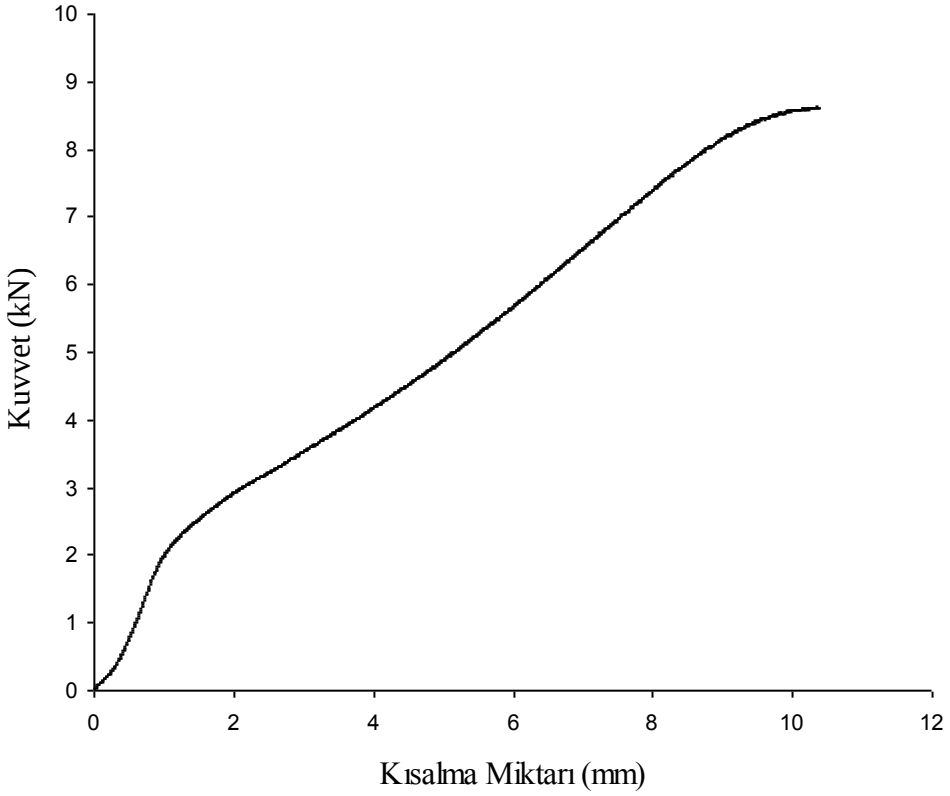


Şekil 6.30 Granül kauçuk esaslı numunenin basma deneyi



Şekil 6.31 Granül kauçuk esaslı numunenin basma deneyi sonrası durumu

Şekil 6.32'de ağırlıkça % 50 çelik talaşı % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarı (deplasman) eğrisi görülmektedir.



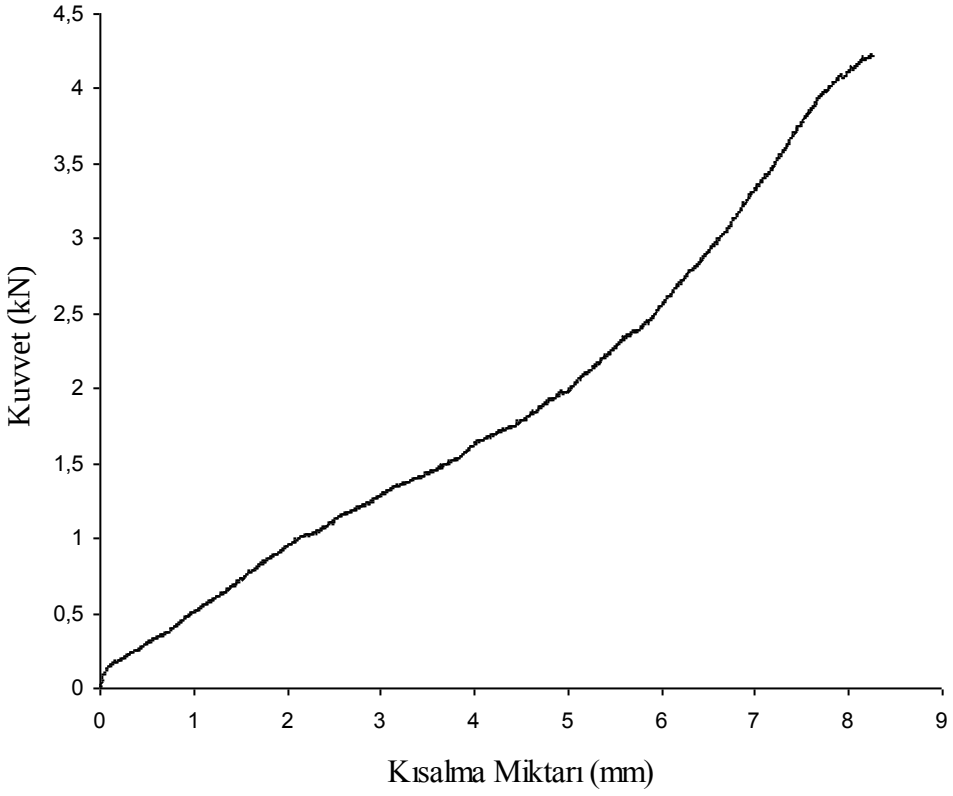
Şekil 6.32 Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - kısalma miktarı eğrisi

% 50 çelik talaşı - % 50 vinil ester reçine içeren numune maksimum basma kuvvetine ulaşıncaya kadar 10,38 mm kısalmış ve maksimum basma kuvveti 8,64 kN olarak kaydedilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 53,0 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum basma gerilmesi ise; numuneye uygulanan maksimum kuvvet değerinin, o andaki numune kesitine bölünmesi ile 16,74 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.33'de ağırlıkça % 60 çelik talaşı % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarı (deplasman) eğrisi görülmektedir.



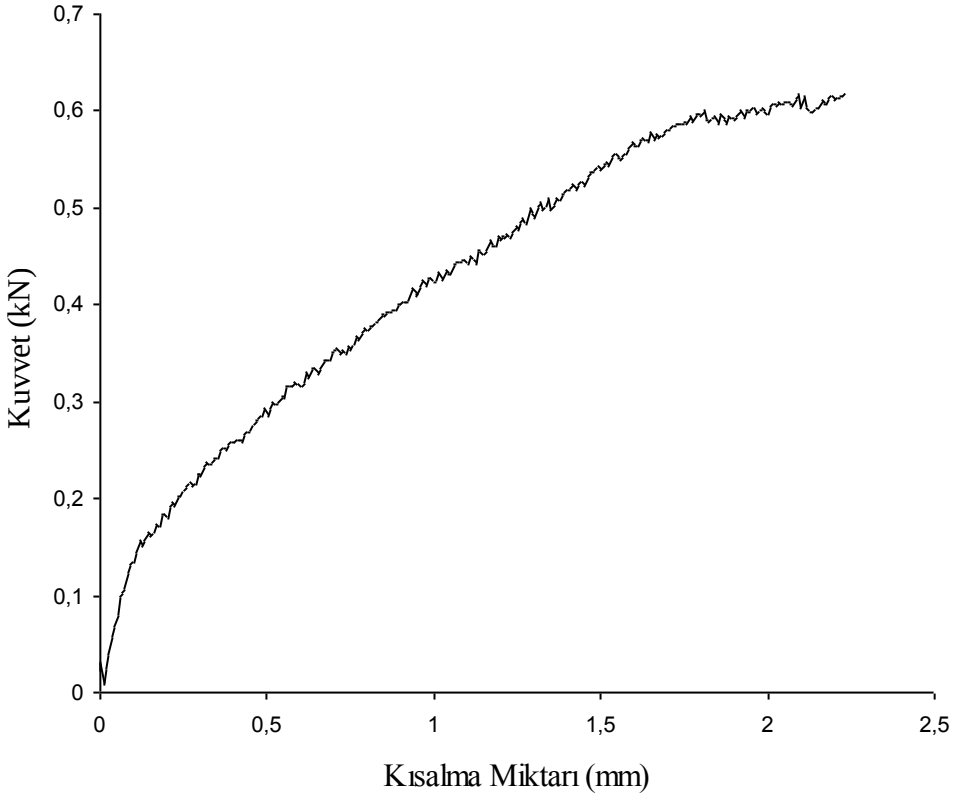
Şekil 6.33 Ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - kısalma miktarı eğrisi

% 60 çelik talaşı - % 40 vinil ester reçine içeren numune maksimum basma kuvvetine ulaşıncaya kadar 8,25 mm kısalmış ve maksimum basma kuvveti 4,23 kN olarak kaydedilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 15,48 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum basma gerilmesi ise; numuneye uygulanan maksimum kuvvet değerinin, o andaki numune kesitine bölünmesi ile 8,84 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.34'de ağırlıkça % 70 çelik talaşı % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarı (deplasman) eğrisi görülmektedir.



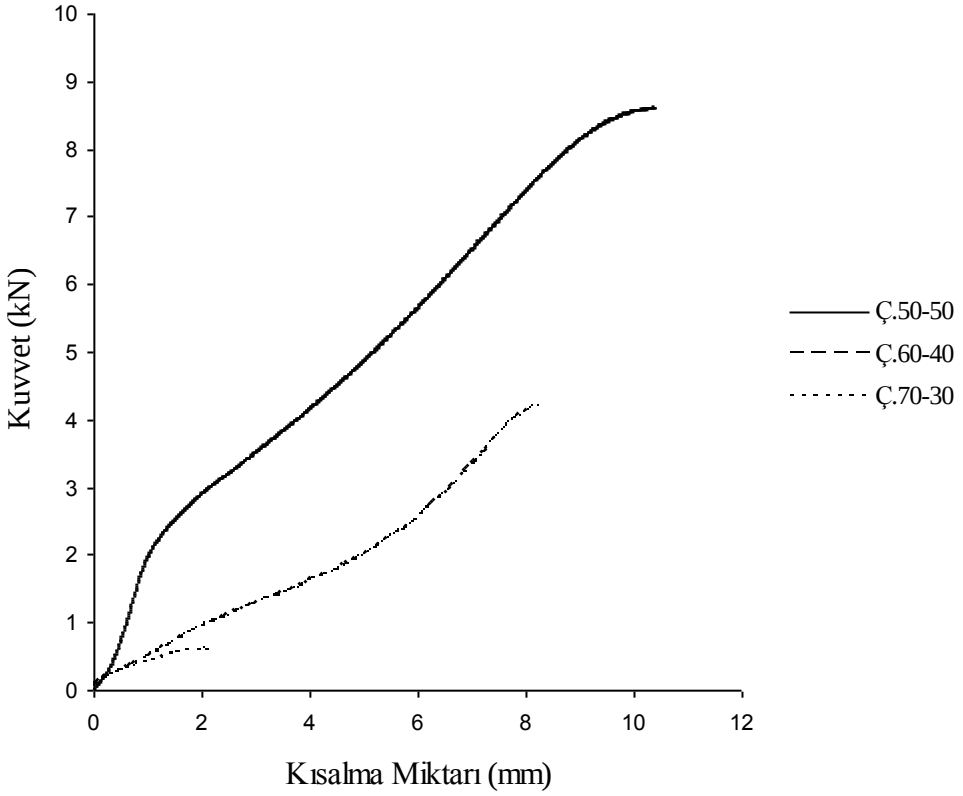
Şekil 6.34 Ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - kısalma miktarı eğrisi

% 70 çelik talaşı - % 30 vinil ester reçine içeren numune maksimum basma kuvvetine ulaşıncaya kadar 2,23 mm kısalmış ve maksimum basma kuvveti 0,620 kN olarak kaydedilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 0,96 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum basma gerilmesi ise; numuneye uygulanan maksimum kuvvet değerinin, o andaki numune kesitine bölünmesi ile 1,52 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.35'da ise ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren deney numunesinin kuvvet - kısalma miktarları (deplasman) eğrisi beraber görülmektedir.



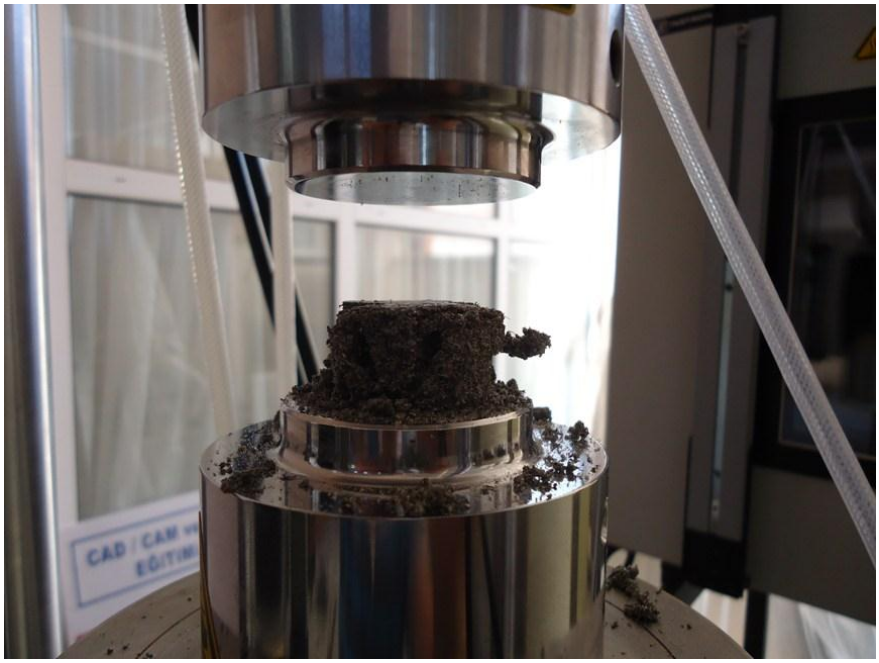
Şekil 6.35 Ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren numunelerin kuvvet - kısalma miktarı eğrileri

Çizelge 6.8 Çelik Talaşı - Vinil Ester Reçine Deneylerdeki Basma Kuvvetleri ve Yutulan Enerjiler

Deney No	Ç.Taşalı Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	Maks. Basma Kuvveti [N]	Kısalma Miktarı [mm]	Yutulan Enerji [J]
1	50	7,18	8639	10,38	53,0
2	60	15,07	4236	8,25	15,48
3	70	23,70	620	2,23	0,96

Çelik talaşı ve vinil ester reçine karışımlı numuneler sünek olmadığı için basma deneyi sırasında maksimum kuvvet sonrası numunenin parçalandığı görülmüştür.

Şekil 6.36'da Çelik talaşı-vinil ester karışımından oluşan numunenin deney sonrası durumu görülmektedir.



Şekil 6.36 Çelik talaşı içeren numunenin basma deneyi sonrası durumu

Çizelgedeki değerlere bakarak genel olarak aşağıdaki sayısal yorumları yapmak mümkündür. Çelik talaşı - vinil ester reçine karışımlı numunelerde çelik talaşı oranı arttıkça numunenin basmaya karşı dayanımı azalmıştır. Bunun iki sebebi vardır; çelik talaş oranı arttıkça numune içerisinde kalan hava hacminin artması, ikinci olarak çelik talaşı oranının artması ile beraber bağlayıcı olan vinil ester reçine matrisin azalması numunenin basma kuvvetlerine karşı direncini azaltmıştır. Yani numune içinde kalan hava hacminin azalması ve çelik talaşlarının birbirine bağlanmasını sağlayan bağlayıcı matris olan vinil ester reçine oranının artması numuneye basma dayanımı kazandırmaktadır.

Ayrıca; çelik talaşı - vinil ester reçine karışımlı numunelerde çelik talaşı oranının artışı numunenin elastikiyetini azaltmıştır. Örneğin % 50 çelik talaşı içeren numune 10,38 mm, % 60 çelik talaşı içeren numune 8,25 mm, % 70 çelik talaşı içeren numune 2,23 mm kısalmıştır.

Numunelerin kuvvet - kısalma miktarı grafiklerinin altında kalan alanlardan enerjiler kıyaslanırsa; çelik talaş oranının artması absorbe edilen (yutulan) enerjiyi azaltmıştır.

Çelik talaşı ile granül kauçuktan oluşan numunelerin basma kuvvetlerine karşı dayanımları kıyaslanacak olur ise; çelik talaşı karışımından oluşan numunelerin daha yüksek basma dayanımlarına dayanabildiği görülmüş, ancak buna rağmen çelik talaşı karışımından oluşan numunelerin ise granül kauçuk karışımlı numunelerdeki gibi yüksek elastikiyet özelliği olmadığı görülmüştür.

6.3. Kesme Deneyi

Kesme deneyleri Instron test cihazının çekme deneyi çenelerine yapılan Şekil 6.37'deki düz plakalar üzerinde Şekil 6.38'deki kesme deneyi aparatı kullanılarak yapılmıştır.

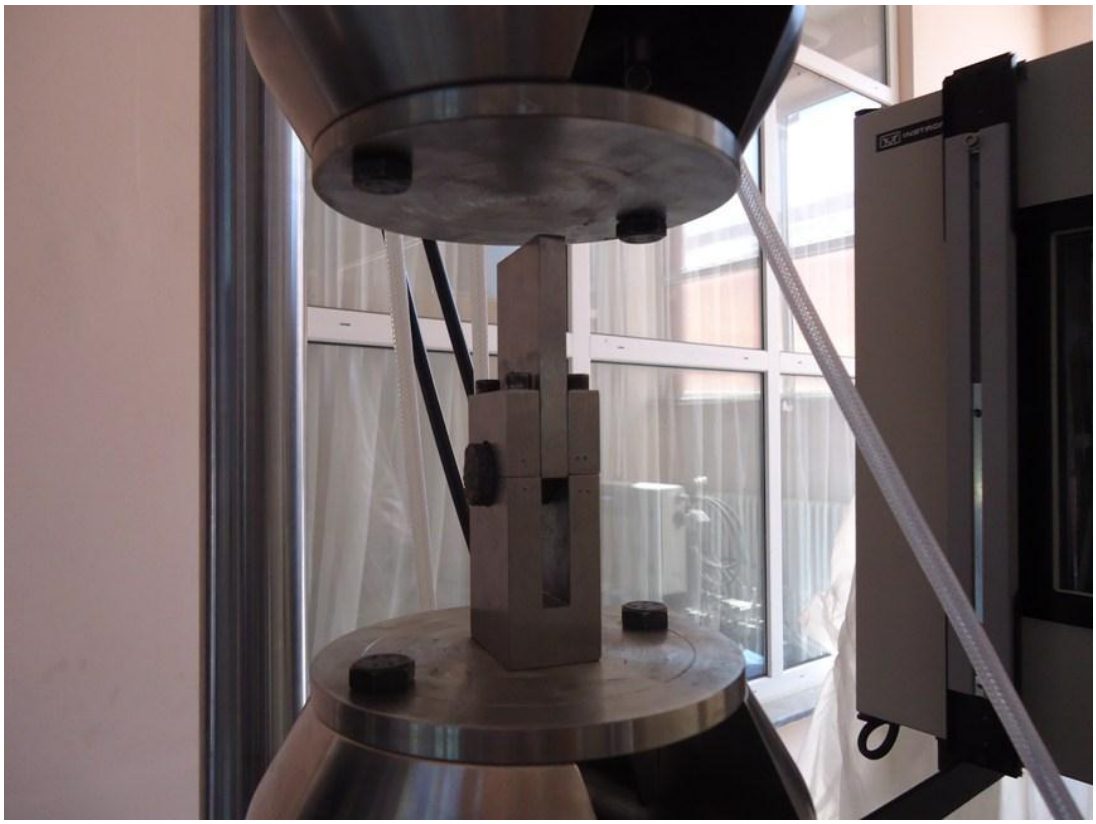
Çenelerin birbirine zarar vermemesi için çeneler arası mesafe 10 mm kalıncaya kadar çeneler basma kuvveti uygulayacak ve çeneler arası mesafe 10 mm kalınca makine otomatik olarak duracak şekilde ayarlanmıştır.

Kesme deneyleri sonucu kuvvet-deplasman değerleri elde edilmiş ve bu değerler ile kuvvet-deplasman grafikleri çizilmiştir.

Kuvvet-deplasman grafiklerinde kuvvetin maksimum olduğu noktaya kadar yani malzemenin en büyük kesme direncine ulaşıncaya kadar yutmuş olduğu enerjiler hesaplanmıştır.



Şekil 6.37 Kesme deneyi için çekme çenelerine takılmış düz plakalar



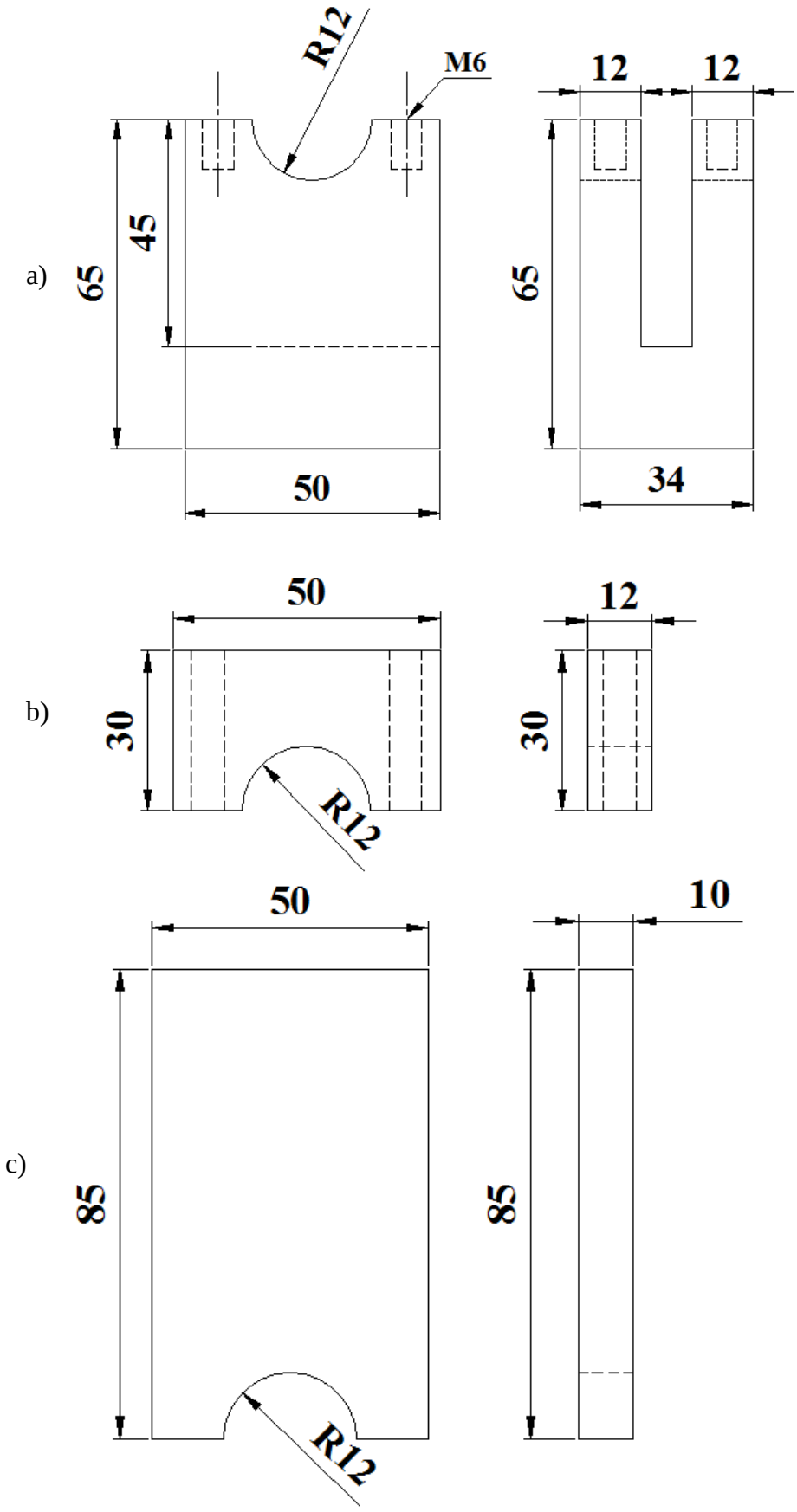
Şekil 6.38 Kesme deneyi düz plakaları arasına konmuş kesme aparatı

6.3.1. Kesme Deneyi Aparatı

Kesme deneylerinin yapılabilmesi için özel bir kesme aparatı imal edilmiştir. Kesme aparatı aşağıda Şekil 6.39'da görüldüğü üzere 1 adet alt gövde (a), 2 adet üst gövde (b) ve 1 adet kesme parçası (c) parçası olmak üzere toplam 4 parçadan oluşmaktadır. Kesme aparatı çelik (CK-45) malzemeden yapılmıştır.

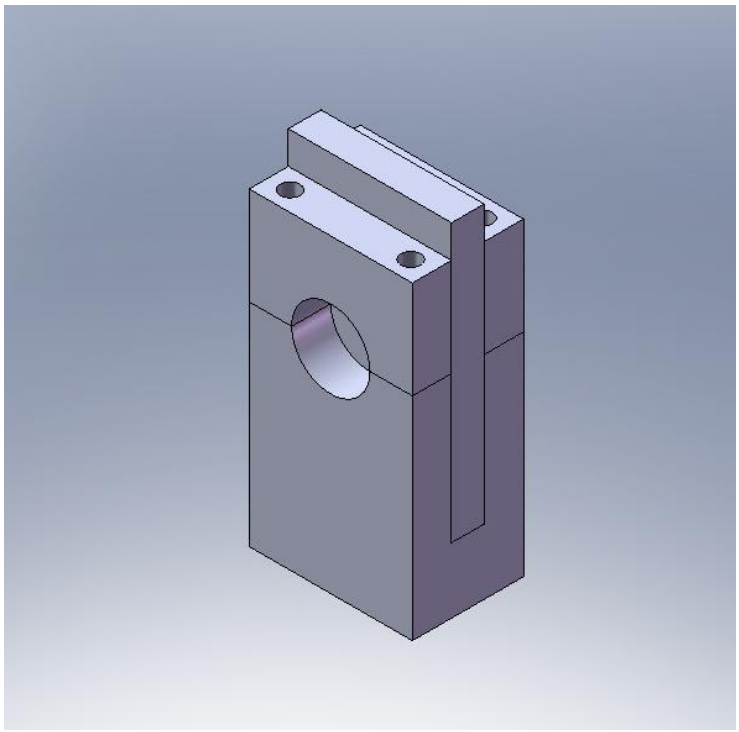
Numune alt gövdede bulunan yarım dairesel kanal üzerine koyulduktan sonra üst gövde numunenin her iki ucundan alt gövdeye vidalar yardımı ile sabitlenir. Bu sayede kesme deneyi sırasında numunenin rijit olarak kalması sağlanmış olur.

Kesme deneyi sırasında en önemli nokta; kesme aparatında alt gövde ile kesme parçası arasında boşluk kalmamasıdır. Eğer alt gövde ile kesme parçası arası boşluk fazla olur ise numune kesme sırasında bu boşluğa sıvanır ve yanıltıcı kesme kuvveti değerleri verir. Alt gövde ile kesme parçası arasında sadece 0,01 - 0,05 mm çalışma boşluğu olacaktır.



Şekil 6.39 Kesme Deneyi Aparatı bileşenleri ve boyutları

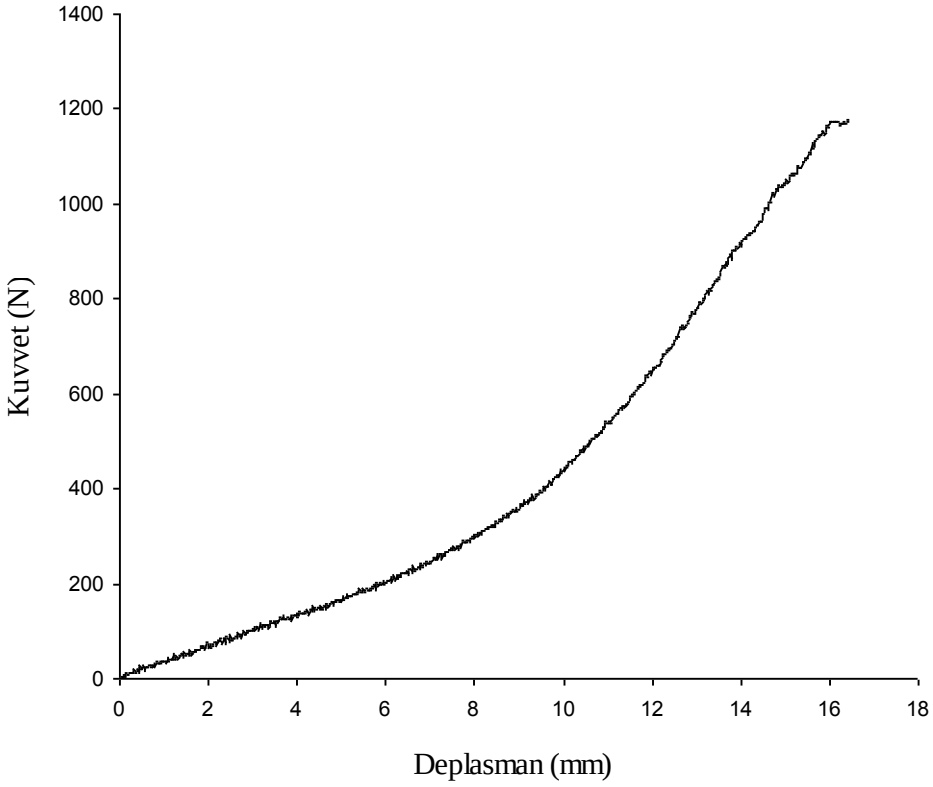
a) Alt Gövde, b) Üst Gövde (2), c) Kesme Parçası



Şekil 6.40 Kesme deneyi aparatı montajlı CAD modeli

Şekil 6.40'da Kesme deneyi aparatı CAD modeli görülmektedir. Kesme deneyleri 5 mm/dk hız ile yapılmıştır.

Şekil 6.41'de ağırlıkça % 50 granül kauçuk % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - deplasman eğrisi görülmektedir.



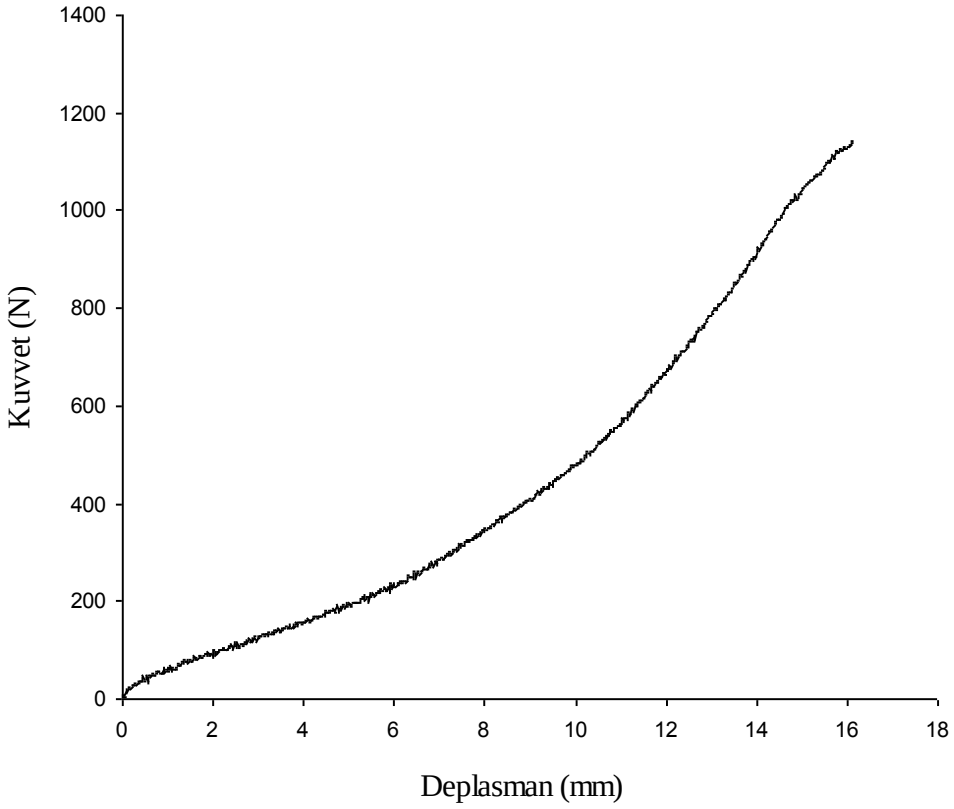
Şekil 6.41 Ağırlıkça % 50 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - deplasman eğrisi

% 50 granül kauçuk - % 50 vinil ester reçine içeren numunenin maksimum kesme kuvveti 1183 N olarak kaydedilmiştir. Maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadar oluşan toplam deplasman miktarı 16,42 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 7,102 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum kesme gerilmesi ise; 1,56 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.42'de ağırlıkça % 60 granül kauçuk % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - deplasman eğrisi görülmektedir.



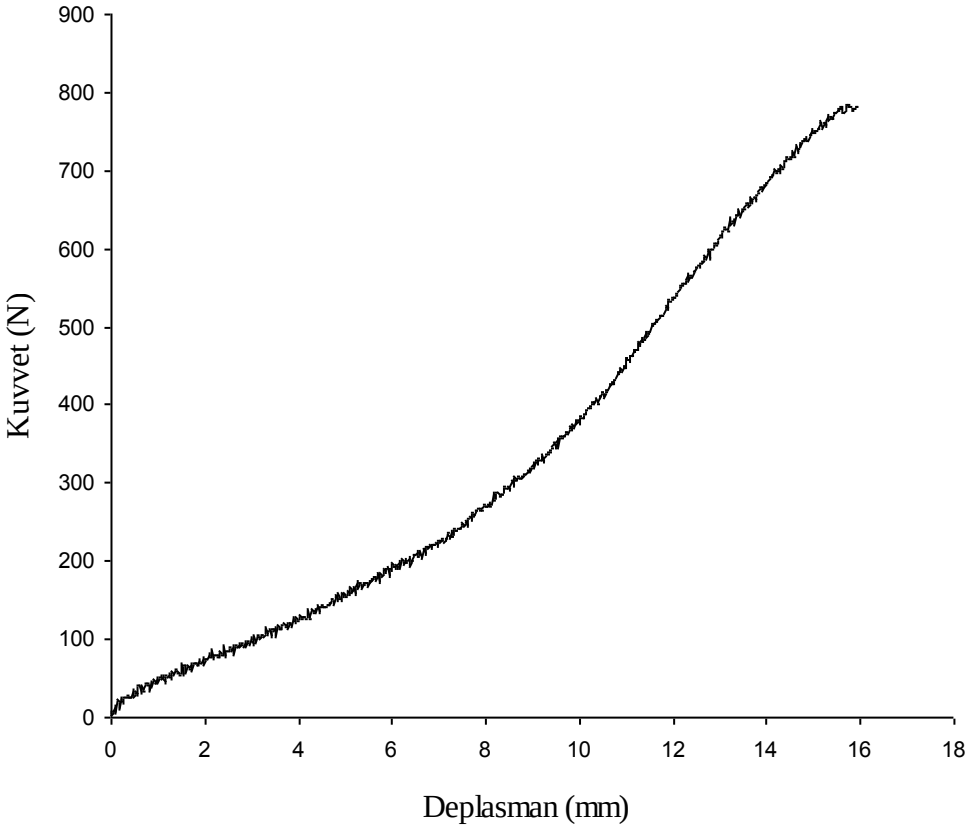
Şekil 6.42 Ağırlıkça % 60 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - deplasman eğrisi

% 60 granül kauçuk - % 40 vinil ester reçine içeren numunenin maksimum kesme kuvveti 1146 N olarak kaydedilmiştir. Maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadar oluşan toplam deplasman miktarı 16,12 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 7,087 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum kesme gerilmesi ise; 1,50 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.43'de ağırlıkça % 70 granül kauçuk % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - deplasman eğrisi görülmektedir.



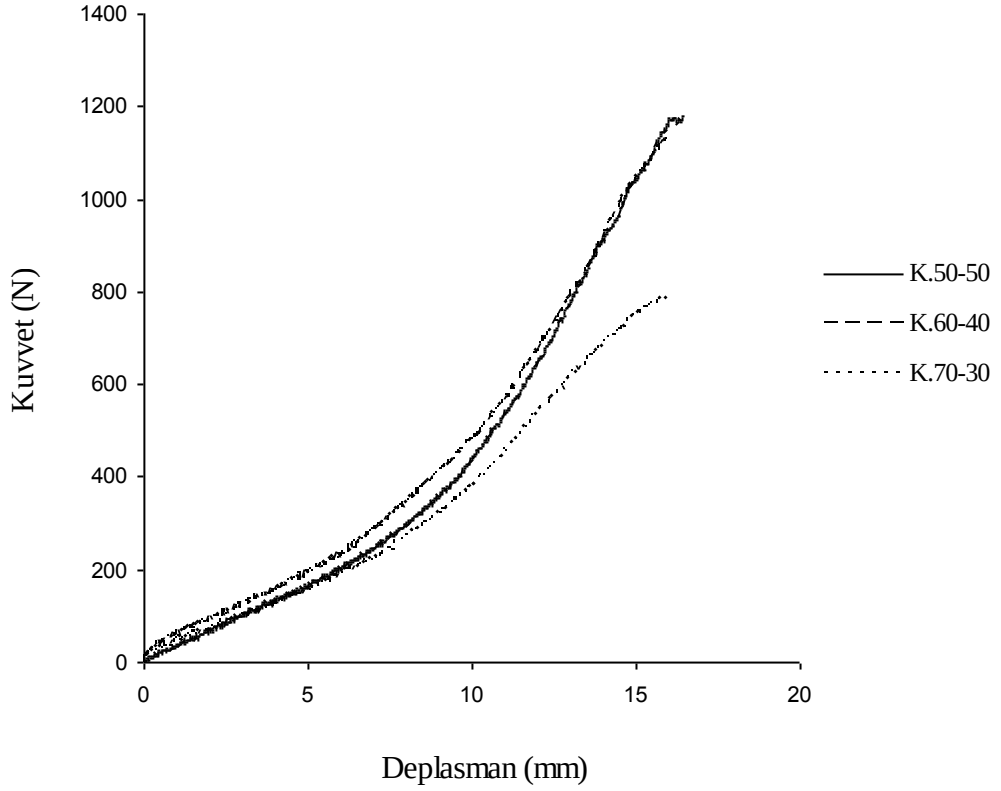
Şekil 6.43 Ağırlıkça % 70 granül kauçuk içeren numunenin kuvvet - deplasman eğrisi

% 70 granül kauçuk - % 30 vinil ester reçine içeren numunenin maksimum kesme kuvveti 784 N olarak kaydedilmiştir. Maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadar oluşan toplam deplasman miktarı 15,95 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 5,30 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum kesme gerilmesi ise; 1,03 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.44'de ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren deney numunelerinin kuvvet - deplasman eğrisi birlikte görülmektedir.



Şekil 6.44 Ağırlıkça % 50-60-70 granül kauçuk içeren numunelerin kuvvet - deplasman eğrisi

Çizelge 6.9 Granül Kauçuk - Vinil Ester Reçine Deneylerdeki Kesme Kuvvetleri ve Yutulan Enerjiler

Deney No	G.Kauçuk Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	Maks. Kesme Kuvveti [N]	Deplasman Miktarı [mm]	Yutulan Enerji [J]
1	50	3,81	1183	16,42	7,102
2	60	7,68	1146	16,12	7,087
3	70	11,56	784	15,95	5,30

Çizelge 6.9'daki değerlere bakarak genel olarak aşağıdaki sayısal yorumları yapmak mümkündür. Granül kauçuk - vinil ester reçine karışımlı numunelerde granül kauçuk oranı arttıkça numunenin kesmeye karşı dayanımı azalmıştır. Bunun iki sebebi vardır; ilk olarak granül kauçuk oranı arttıkça numune içerisinde kalan hava hacminin artması, ikinci olarak granül kauçuk oranının artması ile beraber bağlayıcı olan vinil ester reçine matrisin azalması numunenin kesme kuvvetlerine karşı direncini azaltmıştır. Yani numune içinde kalan hava hacminin azalması ve granül kauçukların birbirine

bağlanmasını sağlayan bağlayıcı matris olan vinil ester reçine oranının artması numuneye kesme dayanımı kazandırmaktadır.

Ayrıca; granül kauçuk - vinil ester reçine karışımlı numunelerde granül kauçuk oranının artışı maksimum kesme noktasındaki deplasman miktarını azaltmıştır.

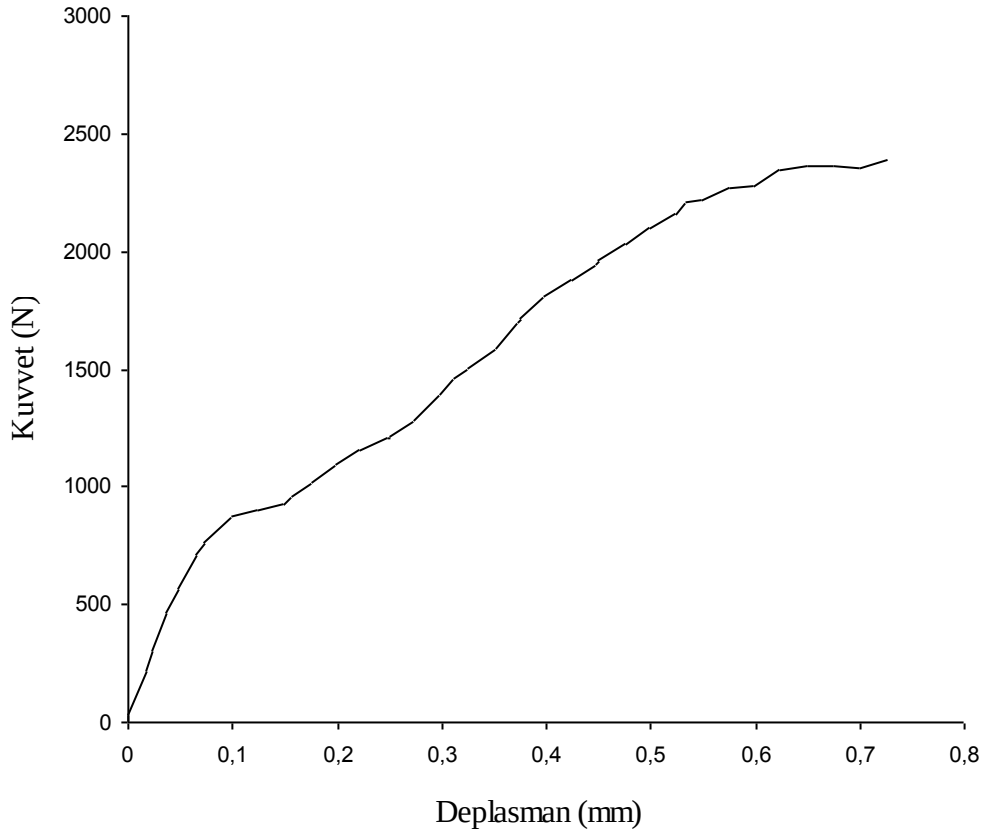
Numunelerin kuvvet - kısalma miktarı grafiklerinin altında kalan alanlardan enerjiler kıyaslanırsa; granül kauçuk oranının artması absorbe edilen (yutulan) enerjiyi azaltmıştır.

Şekil 6.45'de granül kauçuk karışımlı numunenin kesme deneyi resmi görülmektedir.



Şekil 6.45 Granül kauçuk karışımlı numunenin kesme deneyi görüntüsü

Şekil 6.46'da ağırlıkça % 50 çelik talaşı % 50 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - deplasman eğrisi görülmektedir.



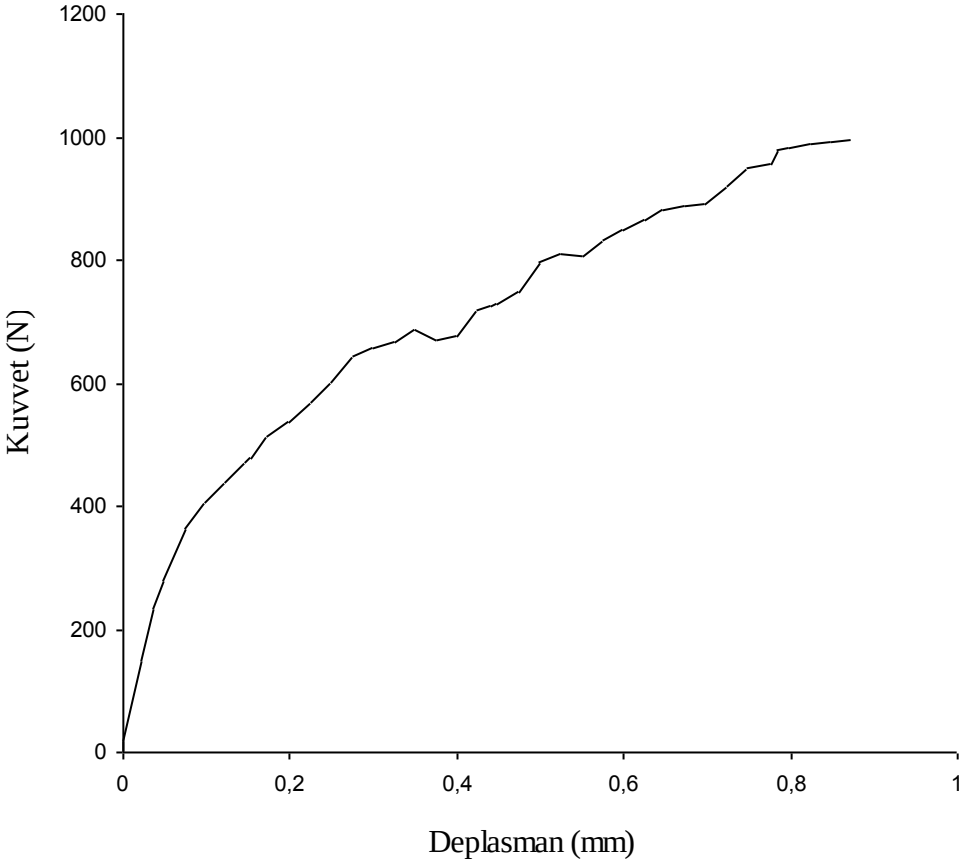
Şekil 6.46 Ağırlıkça % 50 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - deplasman eğrisi

% 50 çelik talaşı - % 50 vinil ester reçine içeren numunenin maksimum kesme kuvveti 2386 N olarak kaydedilmiştir. Maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadar oluşan toplam deplasman miktarı 0,73 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 1,15 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum kesme gerilmesi ise; 3,14 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.47'de ağırlıkça % 60 çelik talaşı % 40 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - deplasman eğrisi görülmektedir.



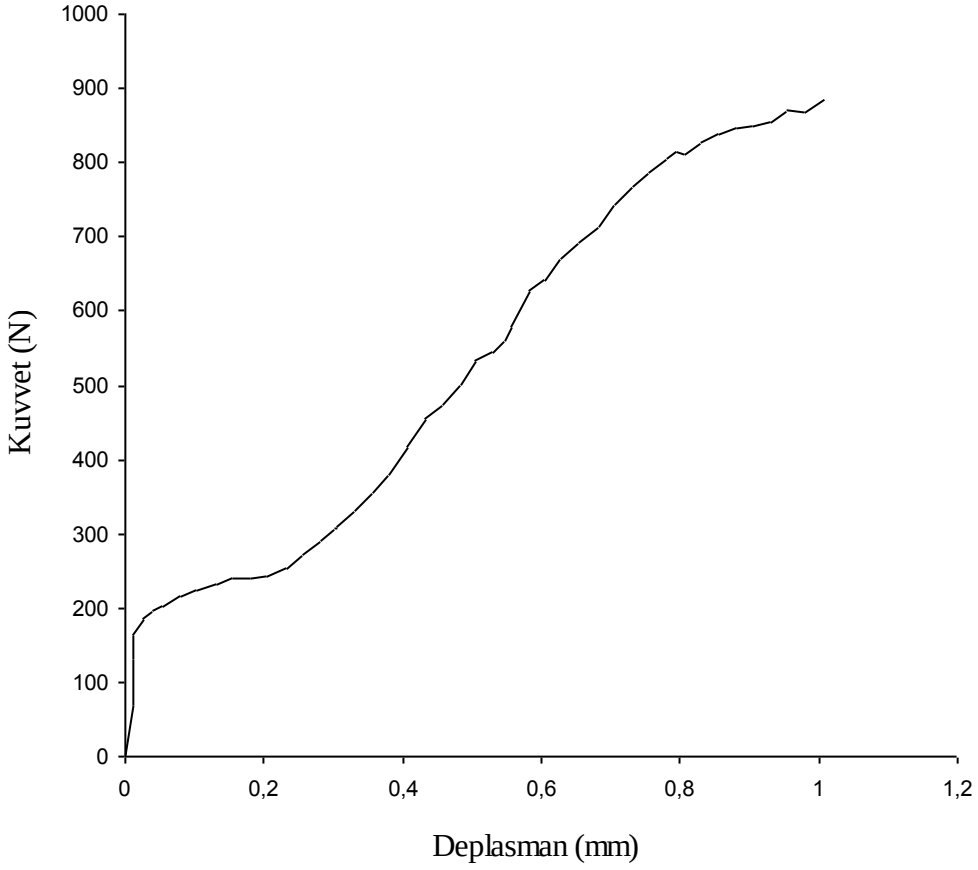
Şekil 6.47 Ağırlıkça % 60 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - deplasman eğrisi

% 60 çelik talaşı - % 40 vinil ester reçine içeren numunenin maksimum kesme kuvveti 995 N olarak kaydedilmiştir. Maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadar oluşan toplam deplasman miktarı 0,87 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 0,61 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum kesme gerilmesi ise; 1,31 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.48'de ağırlıkça % 70 çelik talaşı % 30 vinil ester reçine içeren deney numunesinin kuvvet - deplasman eğrisi görülmektedir.



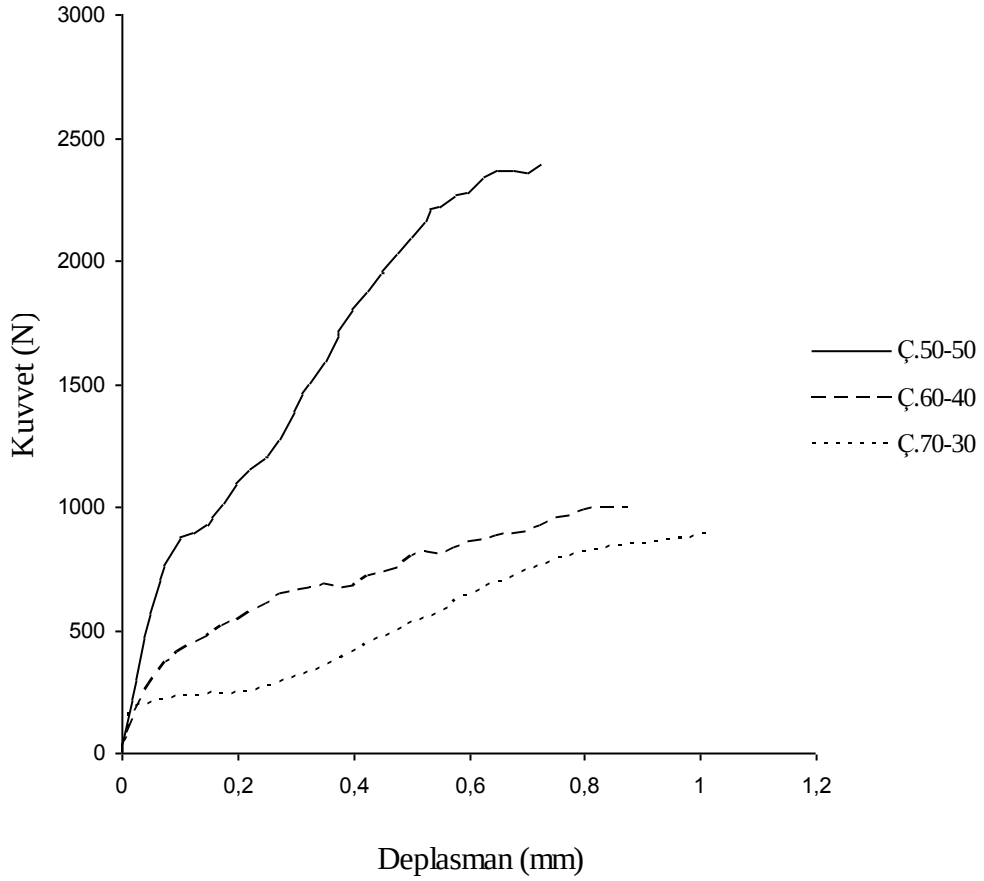
Şekil 6.48 Ağırlıkça % 70 çelik talaşı içeren numunenin kuvvet - deplasman eğrisi

%70 çelik talaşı - % 30 vinil ester reçine içeren numunenin maksimum kesme kuvveti 886 N olarak kaydedilmiştir. Maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadar oluşan toplam deplasman miktarı 1,01 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucu numunenin üzerinde yapılan işin (yutulan enerji) 0,53 Joule olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum kesme gerilmesi ise; 1,16 N/mm^2 (MPa) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.49'da ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren deney numunelerinin kuvvet - deplasman eğrisi birlikte görülmektedir.



Şekil 6.49 Ağırlıkça % 50-60-70 çelik talaşı içeren numunelerin kuvvet - deplasman eğrisi

Çizelge 6.10 Çelik Talaşı - Vinil Ester Reçine Deneylerdeki Kesme Kuvvetleri ve Yutulan Enerjiler

Deney No	Ç.Talaşı Oranı [% Ağırlık]	Boşluk Oranı [% Hacim]	Maks. Kesme Kuvveti [N]	Deplasman Miktarı [mm]	Yutulan Enerji [J]
1	50	7,18	2386	0,73	1,15
2	60	15,07	995	0,87	0,61
3	70	23,70	886	1,01	0,53

Çizelge 6.10'daki değerlere bakarak genel olarak aşağıdaki sayısal yorumları yapmak mümkündür. Çelik talaşı - vinil ester reçine karışımlı numunelerde çelik talaşı oranı arttıkça numunenin kesme kuvvetlerine karşı dayanımı azalmıştır. Bunun iki sebebi vardır; ilk olarak çelik talaşı oranı arttıkça numune içerisinde kalan hava hacminin artması, ikinci olarak çelik talaşı oranının artması ile beraber bağlayıcı olan vinil ester reçine matrisin azalması numunenin kesme kuvvetlerine karşı direncini azaltmıştır. Yani numune içinde kalan hava hacminin azalması ve çelik talaşı birbirine

bağlanmasını sağlayan bağlayıcı matris olan vinil ester reçine oranının artması numuneye kesme dayanımı kazandırmaktadır.

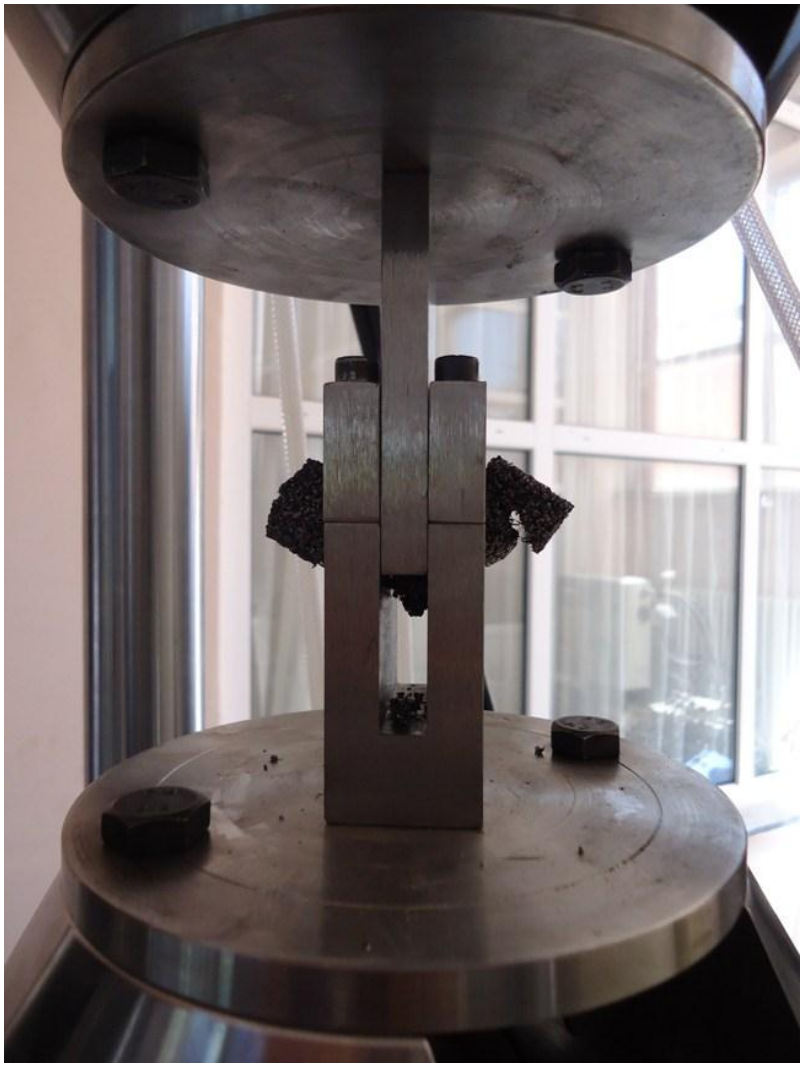
Ayrıca; çelik talaşı - vinil ester reçine karışımlı numunelerde çelik talaşı oranının artışı maksimum kesme noktasındaki deplasman miktarını artırmıştır.

Numunelerin kuvvet - kısalma miktarı grafiklerinin altında kalan alanlardan enerjiler kıyaslanırsa; çelik talaş oranının artması absorbe edilen (yutulan) enerjiyi azaltmıştır.

Çelik talaşı ve granül kauçuk karışımları birbiri ile kıyaslanır ise çelik talaşı karışımlı numunelerin kesme kuvvetlerine karşı dayanımının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra granül kauçuk karışımlı numunelerin ise maksimum kesme kuvvetine ulaşıncaya kadarki deplasman miktarının daha fazla olduğu görülmüştür.

Çelik talaşı numuneye kesme dayanımı kazandırmış, granül kauçuk ise numuneye kesme deneyi sırasında elastikiyet kazandırmıştır.

Şekil 6.50'de çelik talaşı karışımlı numunenin kesme deneyi resmi görülmektedir.



Şekil 6.50 Çelik talaşı karışımlı numunenin kesme deneyi görüntüsü

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çelik talaş takviyeli, vinil ester reçine matrisli ve granül kauçuk takviyeli, vinil ester reçine matrisli iki ayrı malzemenin imalat parametreleri, imalatları, darbeye kuvvetlerine karşı davranışı, basma kuvvetlerine karşı davranışı ve kesme kuvvetlerine karşı davranışını araştırmak amacıyla farklı karışım oranlarındaki 60 adet numuneye düşük hızlı darbe, basma ve çift kesme testleri yapılmıştır. Bu çalışmanın değişkenleri; takviye malzemesinin türü ve takviye malzemesinin matris malzeme ile karışım oranlarıdır. Bu değişkenlerin malzeme üzerinde nasıl etkiler yaptığı incelenmiştir.

7.1. Sonuçlar

Granül kauçuk takviyeli vinil ester reçine matrisli numunelerde granül kauçuk oranı arttıkça;

- Düşük hızlı darbe deneyinde; en büyük temas kuvveti azalmış, temas süresi artmış ve deplasman miktarı artmıştır.
- Basma deneyinde; maksimum basma kuvveti azalmış, deplasman miktarı artmıştır.
- Çift kesme deneyinde; maksimum kesme kuvveti azalmış, deplasman miktarı azalmıştır.

Çelik talaşı takviyeli vinil ester reçine matrisli numunelerde çelik talaşı oranı arttıkça;

- Düşük hızlı darbe deneyinde; en büyük temas kuvveti azalmış, temas süresi artmış, deplasman miktarı artmıştır.
- Basma deneyinde; maksimum basma kuvveti azalmış, deplasman miktarı azalmıştır.
- Çift kesme deneyinde; maksimum kesme kuvveti azalmış, deplasman miktarı artmıştır.

Sonuç olarak numunelerde takviye malzemesi miktarının artması ile bağlayıcı olan matris miktarının düşmesinden dolayı birbirine iyi bağlanamayan takviye malzemesi sonucunda numunenin darbe, basma ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımı azalmıştır.

Aynı zamanda numunelerde takviye malzemesi miktarının artması sonucu numune içerisinde kalan hava hacminin artması sebebi ile numunelerin darbe, basma ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımının azaldığı görülmüştür.

Takviye malzemeleri birbiri ile kıyaslanacak olur ise; granül kauçuğun numuneye elastikiyet, esneklik ve hafiflik kazandırdığı, çelik talaşının ise dayanım, rijitlik kazandırdığı görülmektedir.

Darbe emici olarak tasarımı yapılan bu numunelerden darbelere karşı dayanım istenmesi halinde % 50 çelik talaşı içeren numunenin kullanılması, elastikiyet istenmesi halinde % 50 granül kauçuk içeren numunenin kullanılması tavsiye edilir.

7.2. Öneriler

Çalışmamız 50 J sabit darbe enerjisi değerinde yapılmıştır, belirlenen bu değer artırılıp azaltılarak değişik darbe enerjisi seviyelerinde araştırmalar yapılabilir.

Granül kauçuk ve çelik talaşı geometrisi ve tane büyüklüğü de farklı bir alternatiftir yani kısaca takviye malzemesi tane büyüklüğü değişikliği de farklı bir araştırma konusu olabilir.

Granül kauçuk, çelik talaşı ve vinil ester reçine kullanılarak 3'lü bir karışım ile kompozit malzeme üretimi yapılaması da araştırma konusu olabilir.

Numune üretimi sırasında kullanılan sabit 1500 kPa basınç azaltılıp, çoğaltılarak farklı pres basınçları altında numuneler üretilerek araştırmalar çeşitlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Abrate, S., 1998, Impact on composite structures, Cambridge University Press, New York, 1-289.

ASTM International Standart B769-11: Alüminyum alaşımlarının kesme testi için Standart Test Metodları, *Standard Test Method for Shear Testing of Aluminum Alloys,* Annual Book of ASTM Standards, Reapproved 2010.

Ay, İ., 1992, Plastik Malzemeler, Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, 47-56.

Banhart, J., 2001, Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Materials Science, 46, 559-632.

Ceyhun, V., Turan, M., 2003, Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı, Mühendis ve Makine Dergisi, 516.

Erdem, Y., 2010, Çelik talaşı/silikon kompozit malzeme üretimi ve düşük hızlı darbe özelliklerinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-108.

Erdoğan, M., 1999, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınevi, 2, Ankara, 36-45.

Gary L. Farley, Robert M. Jones, 1992, Journal of Composite Materials, Vol.26, No.3, 388-404.

H.-W. Song et al., 2000, International Journal of Impact Engineering 24, 385-401.

Kara, M., Uyaner, M., 2007, Tabakalı kompozitlerin darbe cevabına vurucu şeklinin etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 415-421.

Kara, M., 2006, Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerin dinamik cevabı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-85.

Kara, M., 2012, Düşük hızlı darbe sonrası yama ile tamir edilmiş filaman sarım ctp boruların iç basınç altındaki hasar davranışı, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-124.

Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Yayınları, Sayı: 1262, 1990.

NASM National Aerospace Standart 1213-13: Çift kesme testi, Shear Test Method, Method 13, 2003.

Öztürk, İ., Kaya, N., 2008, Otomobil Ön Tampon Çarpışma Analizi ve Optimizasyonu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13 (1), 119-127.

Ralph, B., Yuen, H. C., Lee, W. B., 1997, The processing of metal matrix composites - an overview, Journal of Materials Processing Technology, 63, 339-353.

Şenel, M., Kurşun, A., 2009, Düşük hızlı darbe deney düzeneği için geri sekme (rebound) frenleme ve kontrol sistemi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS-2009, Karabük.

Whittingham, B., Marshall, I. H., Mitrevski, T., Jones, R., 2004, The response of composite structures with pre-stress subject to low velocity impact damage, Composite Structures, 66, 685-698.

EKLER

Ek-1

Çizelge 4.2 Numune üretiminde kullanılan boyutsal parametreler

(Hacimsel değerler ağırlıkça değerlere bağlı olarak hesaplanmıştır. Üretimde ağırlıkça değerler baz alınmıştır.)

Çelik Talaşı - Vinil Ester Reçine													
		Ağırlıkça Karışım Oranlar					**Hacimce Karışım Oranları**						
	Basınç	Talaş Kütlesi		Vinil Ester Kütlesi		**Toplam Kütle**	Talaş Hacmi		Vinil Ester Hacmi		Hava Hacmi		**Toplam Hacim**
No	kPa	gr	%	gr	%	**gr**	mm³	**%**	mm³	**%**	mm³	**%**	**mm³**
1	1500	13,00	**50**	13,00	**50**	**26**	1654	**10,88**	12452	**81,93**	1092	**7,18**	**15198**
2		16,75	**60**	11,25	**40**	**28**	2131	**14,02**	10776	**70,90**	2291	**15,07**	**15198**
3		21,50	**70**	9,25	**30**	**30,75**	2735	**18,00**	8860	**58,30**	3602	**23,70**	**15198**

$d_{Ç.Talaşı} = 7{,}860\ gr/cm^3$ ve $d_{Vinilester} = 1{,}044\ gr/cm^3$

Granül Kauçuk - Vinil Ester Reçine													
		Ağırlıkça Karışım Oranlar					**Hacimce Karışım Oranları**						
	Basınç	Kauçuk Kütlesi		Vinil Ester Kütlesi		**Toplam Kütle**	Kauçuk Hacmi		Vinil Ester Hacmi		Hava Hacmi		**Toplam Hacim**
No	kPa	gr	%	gr	%	**gr**	mm³	**%**	mm³	**%**	mm³	**%**	**mm³**
1	1500	8	**50**	8	**50**	**16**	6957	**45,77**	7663	**50,42**	579	**3,81**	**15198**
2		9,25	**60**	6,25	**40**	**15,5**	8043	**52,92**	5987	**39,39**	1168	**7,68**	**15198**
3		10,5	**70**	4,5	**30**	**15**	9130	**60,08**	4310	**28,36**	1757	**11,56**	**15198**

$d_{G.Kauçuk} = 1{,}150\ gr/cm^3$ ve $d_{Vinilester} = 1{,}044\ gr/cm^3$

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Onur ERDİ
Uyruğu	**:**	T.C
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kahramanmaraş - 20.04.1984
Telefon	**:**	0532 340 38 36 - 0533 707 36 11
Faks	**:**	0344 235 11 21
e-mail	**:**	onurerdi@msn.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi, Merkez, K.Maraş	2002
Üniversite	:	Erciyes Üniversitesi, Merkez, Kayseri	2008
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2007 - 2008	İskur Group Tekstil Fabrikaları	Mak.Bakım Şefi
2008 -	Kahramanmaraş Belediye Başkanlığı	Şantiye Şefi

UZMANLIK ALANI

Yol yapım işleri, iş makinesi ve kamyon bakım-onarım işleri, asfalt ve beton parke üretim tesisleri makineleri bakım, onarım ve işletmeciliği. Mekanik Tesisat Uzmanı, C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Enerji Yöneticisi.

YABANCI DİLLER

İngilizce (Orta Seviye)