

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSTRÜZYON TEKNİĞİNİN ÇİMENTO ESASLI MALZEMELERDE
UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aydın SANCAK

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSTRÜZYON TEKNİĞİNİN ÇİMENTO ESASLI MALZEMELERDE
UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aydın SANCAK
(501071012)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Bekir Y. PEKMEZCİ (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL (İTÜ)
Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE (İÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması boyunca bana her konuda yardımcı olan çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ'ye,

Tezimin başından sonuna kadar tüm adımlarında büyük desteğini gördüğüm değerli dostum İnş. Müh. Mehmet ÖZEN'e,

Deneysel çalışmalarım süresince büyük bir özveriyle bana yardımcı olan İnş.Y.Müh. Cengiz ŞENGÜL'e,

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'ndaki hocalarıma ve Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına,

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak her zaman destekleyen sevgili annem Sebahat SANCAK, babam Muharrem SANCAK, ablalarım Şevkiye ATAKAN ve Semra ÖNEL'e ve ailemin diğer tüm fertlerine,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2009

Aydın SANCAK

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Çimento Esaslı Malzemeler	3
2.2 Çimento Esaslı Malzemelerin Üretim Teknikleri	4
2.3 Ekstrüzyon Teknolojisi	7
2.4 Çimento Esaslı Malzemelerde Ekstrüzyon Tekniğinin Uygulanması.....	9
2.5 Ekstrüzyon Tekniği ile Üretilen Çimento Esaslı Malzemelerin Özellikleri.....	11
2.6 Reolojik Özelliklerin Ekstrüzyona Etkileri.....	15
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	19
3.1.1 Çimento.....	19
3.1.2 Silis kumu	19
3.1.3 Kuvars unu	20
3.1.4 Kimyasal katkı maddeleri.....	20
3.1.5 Polipropilen lif	20
3.2 Karışımlar ve Numune Kodları.....	21
3.3 Üretim ve Numunelerin Saklanması	22
3.4 Taze Haldeki Malzeme Deneyleri.....	26
3.4.1 Taze haldeki dayanımın belirlenmesi.....	26
3.4.2 Şekil stabilite faktörünün belirlenmesi	27
3.5 Sertleşmiş Haldeki Malzeme Deneyleri	28
3.5.1 Birim ağırlık deneyi.....	28
3.5.2 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisinin tayini	28
3.5.3 Basınç deneyi	29
4. DENEY SONUÇLARI.....	31
4.1 Taze Haldeki Deney Sonuçları.....	31
4.1.1 Taze haldeki dayanım sonuçları.....	31
4.1.2 Şekil stabilite faktörleri.....	31
4.2 Sertleşmiş Haldeki Deney Sonuçları	32
4.2.1 Birim ağırlık deneyi sonuçları.....	32
4.2.2 Eğilme deneyi sonuçları.....	33
4.2.3 Basınç deneyi sonuçları	35
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	37
5.1 Taze Haldeki Malzeme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	37

5.2 Sertleşmiş Haldeki Malzeme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	43
6. GENEL SONUÇLAR.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

ÇEM	: Çimento Esaslı Malzemeler
SA	: Süperakışkanlaştırıcı
KD	: Kıvam Düzenleyici
PP	: Polipropilen
SIFCON	: Slurry Infiltrated Fibered Concrete
PVA	: Polivinil Alkol
SSF	: Şekil Stabilite Faktörü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri	19
Çizelge 3.2 : Silis kumuna ait özgül ağırlık ve birim ağırlık deney sonuçları.....	19
Çizelge 3.3 : Silis kumu elek analizi sonuçları	20
Çizelge 3.4 : Kuvars unu elek analizi sonuçları.....	20
Çizelge 3.5 : Karışım oranları.....	21
Çizelge 4.1 : Taze haldeki dayanım sonuçları	31
Çizelge 4.2 : Şekil stabilite faktörleri.....	32
Çizelge 4.3 : Birim ağırlık deneyi sonuçları	33
Çizelge 4.4 : Levhalarda eğilme deneyi sonuçları	33
Çizelge 4.5 : Prizmalarda eğilme deneyi sonuçları	34
Çizelge 4.6 : Basınç deneyi sonuçları.....	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Reticem üretim süreci	4
Şekil 2.2 : Pultrüzyon üretim süreci	5
Şekil 2.3 : Slurry infiltration üretim süreci	6
Şekil 2.4 : Spray-Suction üretim süreci	6
Şekil 2.5 : Vidalı ekstüder şeması	7
Şekil 2.6 : Pistonlu ekstüder şeması	8
Şekil 2.7 : Ekstrüzyon işlemi ile ÇEM üretimi	9
Şekil 2.8 : Lif içermeyen, geleneksel lif donatılı ve yüksek performanslı ÇEM' in gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının karşılaştırılması	11
Şekil 2.9 : Lifli ve lifsiz ekstrüde kompozitlerin eğilme gerilmesi-sehim grafiği	14
Şekil 2.10 : Kayma incelmesi ve tiksotropi	16
Şekil 2.11 : Ağız kalıbının şeması	17
Şekil 3.1 : Numune kodlarının açıklaması	22
Şekil 3.2 : Vidalı ekstrüder	23
Şekil 3.3 : Ağız kalıbı	24
Şekil 3.4 : Numune şekilleri ve boyutları	25
Şekil 3.5 : Dikdörtgen kesitli boru numuneler	26
Şekil 3.6 : Taze haldeki dayanımın belirlenmesi	27
Şekil 3.7 : Boru numunenin deformasyon öncesi ve sonrasında şekilleri ve boyutları	28
Şekil 3.8 : Üç noktalı eğilme deneyi	29
Şekil 3.9 : Basınç deneyi	29
Şekil 4.1 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği	34
Şekil 5.1 : Taze haldeki dayanım ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki	37
Şekil 5.2 : Taze haldeki dayanım ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki	38
Şekil 5.3 : KD oranı ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri)	39
Şekil 5.4 : KD oranı ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri)	39
Şekil 5.5 : KD oranı ve x ve y doğrultularındaki ŞSF arasındaki ilişki (1, 2 numuneleri)	40
Şekil 5.6 : KD oranı ve x ve y doğrultularındaki ŞSF arasındaki ilişki (7, 8 numuneleri)	40
Şekil 5.7 : SA oranı ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri)	41
Şekil 5.8 : SA oranı ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri)	41
Şekil 5.9 : SA oranı ve x ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (5, 6 numuneleri)	42
Şekil 5.10 : Polipropilen lif oranı ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri)	42

Şekil 5.11 : Polipropilen lif oranı ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri)	43
Şekil 5.12 : KD oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri)	44
Şekil 5.13 : KD oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri)	44
Şekil 5.14 : KD oranı ve basınç dayanımını arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri)	45
Şekil 5.15 : KD oranı ve eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (1, 2 numuneleri)	45
Şekil 5.16 : KD oranı ve eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (8, 9 numuneleri)	46
Şekil 5.17 : SA oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri)	47
Şekil 5.18 : SA oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri)	47
Şekil 5.19 : SA oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri)	48
Şekil 5.20 : PP lif oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri)	49
Şekil 5.21 : PP lif oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri)	49
Şekil 5.22 : PP lif oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri)	50
Şekil A.1 : 1/12.5/0.0/0.6/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği	59
Şekil A.2 : 2/12.5/0.0/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	59
Şekil A.3 : 3/25/10/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	60
Şekil A.4 : 4/50/50/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	60
Şekil A.5 : 5/100/200/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	61
Şekil A.6 : 6/100/200/1.0/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	61
Şekil A.7 : 7/100/200/0.75/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	62
Şekil A.8 : 8/100/200/0.45/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	62
Şekil A.9 : 9/100/200/0.75/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	63
Şekil A.10 : 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği	63
Şekil A.11 : 11/100/200/0.75/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği	64
Şekil A.12 : 12/100/200/1.25/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği	64
Şekil A.13 : 13/100/200/1.50/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği	65

Şekil A.14 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	65
Şekil B.1 : 1/12.5/0.0/0.6/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	66
Şekil B.2 : 2/12.5/0.0/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	66
Şekil B.3 : 3/25/10/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	67
Şekil B.4 : 4/50/50/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	67
Şekil B.5 : 5/100/200/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	68
Şekil B.6 : 6/100/200/1.0/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	68
Şekil B.7 : 7/100/200/0.75/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	69
Şekil B.8 : 8/100/200/0.45/1.2/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	69
Şekil B.9 : 9/100/200/0.75/1.2/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	70
Şekil B.10 : 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	70
Şekil B.11 : 11/100/200/0.75/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	71
Şekil B.12 : 12/100/200/1.25/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	71
Şekil B.13 : 13/100/200/1.50/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	72
Şekil B.14 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.....	72

EKSTRÜZYON TEKNİĞİNİN ÇİMENTO ESASLI MALZEMELERDE UYGULANMASI

ÖZET

Çimento esaslı malzemeler (ÇEM) hem taşıyıcı hem de koruyucu olarak kullanılan yapı malzemeleridir. Genel olarak geleneksel üretim teknikleriyle üretilen çimento esaslı malzemelerin üretimini hızlandırmak, performansını arttırmak ve lif donatılı kompozitlerin üretimini kolaylaştırmak için son yıllarda yeni üretim teknikleri geliştirilmiştir. Malzemelere plastik şekil vermede kullanılan ekstrüzyon, çimento esaslı malzemelerin üretiminde kullanılan önemli tekniktir.

Bu çalışmada, çimento esaslı malzemelerin üretiminde ekstrüzyon tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, taze haldeki ekstrüde malzemelerde yüksek stabilite elde edilmesi ve sertleşmiş haldeki ekstrüde malzemelerde mekanik özelliklerin araştırılmasıdır. Bu tez kapsamında, süperakışkanlaştırıcı (SA) ve kıvam düzenleyici (KD) katkıların ve polipropilen (PP) liflerin varlığı ve oranlarının, ekstrüde malzemelerin stabilite ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; taze haldeki dayanım arttıkça x ve y doğrultusundaki şekil stabilite faktörünün arttığı belirlenmiştir. KD oranı arttıkça şekil stabilite faktörünün arttığı, x doğrultusundaki şekil stabilite faktöründeki artışın y doğrultusundaki artışa göre daha belirgin olduğu, SA oranı arttıkça şekil stabilite faktörünün azaldığı, x doğrultusundaki şekil stabilite faktöründeki azalmanın y doğrultusundaki azalmaya göre daha belirgin olduğu, PP lif oranı arttıkça şekil stabilite faktörünü azaldığı belirlenmiştir. KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı, SA oranı arttıkça eğilme dayanımında, kırılma enerjisinde ve basınç dayanımında belirgin bir değişim olmadığı, PP lif oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

THE APPLICATION OF EXTRUSION TECHNIQUE TO CEMENT- BASED MATERIALS

SUMMARY

Cement-based materials are used as both bearing and protective construction materials. Cement-based materials are typically manufactured with conventional production techniques. In recent years, to speed up the production of these materials, to improve performance and to facilitate the production of fiber reinforced composites new production techniques have been developed. Extrusion is a plastic-forming method which is an important technique used in manufacturing cement-based materials.

In this study, cement-based materials were produced by the extrusion technique. Aim of the study is to obtain high stability of extruded fresh material and to investigate mechanical properties of in hardened state. Within the scope of this thesis, the effect of the presence and ratio of super plasticizers, consistency modifying agent additives and polypropylene fibers on the stability and mechanical properties of extruded materials were experimentally investigated.

The main results of the experimental study can be drawn as follows; it is obtained that the stability factor increases in both x and y direction with increase in green strength. The stability factor increases more dramatically in x direction than in y direction with increase of consistency modifying agent ratio. The stability factor decreases more dramatically in x direction than in y direction with increase of super plasticizers ratio. The stability factor decreases with increase of polypropylene fibers ratio. The flexural strength and fracture energy increases but the compressive strength does not show a significant difference with increase of consistency modifying agent ratio. The flexural strength, fracture energy and compressive strength do not show a significant differences with increase of super plasticizers ratio. The flexural strength and fracture energy increases but the compressive strength does not show a significant difference with increase of polypropylene fibers ratio.

1. GİRİŞ

Çimento esaslı malzemeler (ÇEM), tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir. Hem taşıyıcı hem de koruyucu sistem malzemesi olarak kullanılan ÇEM' in en önemli avantajları; ekonomik, dayanım ve dayanıklılığı yüksek ve taze halde iken şekil verilebilir bir malzeme olmasıdır. Genel olarak geleneksel üretim teknikleriyle üretilen ÇEM' in üretimini hızlandırmak, performansını arttırmak ve lif donatılı kompozitlerin üretimini kolaylaştırmak için son yıllarda yeni üretim teknikleri geliştirilmiştir. Malzemelere plastik şekil vermede kullanılan ekstrüzyon, ÇEM' in üretiminde kullanılan yeni üretim tekniklerinden birisidir [8]. Ekstrüzyon yönteminde, yüksek viskoz ve hamurumsu plastik karışım kesit şekli verilmiş bir ağızdan geçirilmekte ve ürün ağız şeklini almaktadır [4]. Ekstrüzyon ile üretim işlemi, malzeme karışım birleşiminin belirlenmesi, malzemenin karıştırılması, ekstrüzyon ve kürlemeden oluşmaktadır [4]. Başarılı bir ekstrüzyon işlemi için, ekstrüzyondan önce yapılan karıştırma işlemi, malzemenin reolojik özelliklerinin tasarımı, ve ürün kesitlerini şekillendiren ekstrüderin ağız kısmının tasarımı büyük önem taşımaktadır [4]. Birçok endüstri alanında kullanılan ekstrüzyon, malzeme özelliklerini geliştirmesi, farklı kesitlerde üretim yapılabilmesine olanak sağlaması, sürekli ve ekonomik bir üretim tekniği olması sebebiyle ÇEM' in üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. İnce levhalar, borular ve açık gözenekli paneller başarıyla üretilenmiş olan çimento esaslı ekstrüde ürünlerdir [8,14,16,17].

Bu tez çalışmasının amacı, taze haldeki ÇEM' de yüksek stabilite elde edilmesi ve sertleşmiş haldeki mekanik özelliklerin araştırılmasıdır. Bu özellikler üç grup halinde üretim yapılarak incelenmiştir. Süperakışkanlaştırıcı (SA) ve kıvam düzenleyici (KD) katkıların ve polipropilen (PP) liflerin varlığı ve oranlarının, ekstrüde malzemelerin şekil stabilitesi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Parametrelerin etkisini net olarak belirleyebilmek için her bir parametre farklı dizaynlarda denenmiştir. Malzemelerin stabilitesi üzerinde yapılan çalışmalarda genel olarak, taze haldeki dayanım arttıkça x ve y dorultusundaki şekil

stabilite faktöründeki artışın y doğrultusundaki artışa göre daha belirgin olduğu, sadece SA oranının arttırıldığı durumlarda şekil stabilite faktörünün azaldığı, x doğrultusundaki şekil stabilite faktöründeki azalmanın y doğrultusundaki azalmaya göre daha belirgin olduğu, sadece PP lif oranının arttırıldığı durumlarda ise şekil stabilite faktörünü azaldığı belirlenmiştir. Malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda ise genel olarak, KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı, SA oranı arttıkça eğilme dayanımında, kırılma enerjisinde ve basınç dayanımında belirgin bir değişim olmadığı, PP lif oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Çimento Esaslı Malzemeler

Çimento esaslı malzemeler (ÇEM), çimento, agrega, lif, katkı maddeleri, su ve istenilen malzeme özelliklerine göre ilave edilen farklı bileşenlerle yapılan karışım sonucunda elde edilmektedir. Birçok amaca yönelik olarak üretilen ÇEM, betonarme binaların taşıyıcı sistemlerinden cephe kaplama sistemlerine, yer kaplamalarından şehir mobilyalarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. ÇEM, hem taşıyıcı hem de koruyucu sistem malzemesi olarak yerinde dökme veya hazır ürün olarak üretilmektedir.

Çimento esaslı malzemelerin en önemli bileşeni olan çimento, agrega adını verdiğimiz mineral taneli malzemeleri birbirine bağlayan, bağlayıcı bir malzemedir. Kalker ve kil taşları karışımının yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi sonucu elde edilen ürüne klinker adı verilir. Klinkere, %3 oranında alçı taşı ilave edilmesinden sonra bu karışımın çok ince olarak öğütülmesi sonucu çimento elde edilmektedir. Çimento, su ile karıştırıldığında öncelikle viskoz bir sıvı haline gelir, daha sonra katılaşıp prizini alır ve zaman içinde sertleşerek dayanım kazanır [1].

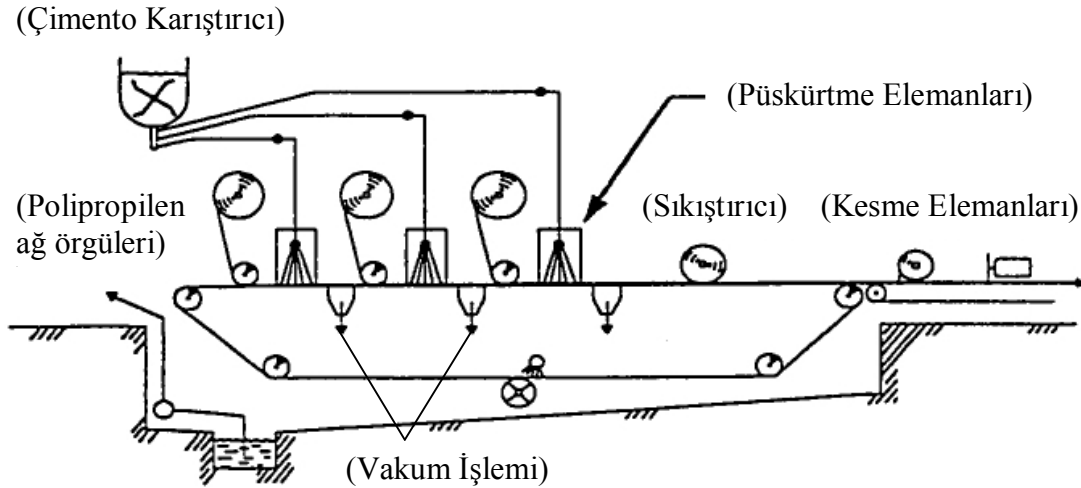
Günümüzde en önemli yapı malzemesi olarak gösterilen beton, çimento esaslı bir malzemedir. Önceden şekil verilebilen yapay bir taş olan beton, yük taşıyan, diğer bir deyişle taşıyıcı bir malzemedir. Çimento-su karışımına çimento hamuru (şerbeti), çimento-su-kum karışımına ise harç denir. Kum, taneleri 4 mm lik elekten geçebilen ince taneli agregadır. Çimento-su-kum ve iri taneli agregadan oluşan karışıma ise beton denir. Betonlara yeni özellikler kazandırmak veya bazı özelliklerini belirgin olarak iyileştirmek için ilave edilen diğer bileşenlere katkı maddeleri denilmektedir. Betonların sahip olması gereken üç önemli nitelik; İşlenebilir, mukavemetli ve dış etkilere karşı dayanıklı olmasıdır [1]. Yüksek dayanımlı reaktif pudra betonları, yüksek performanslı lifli betonlar ve daha çok yalıtım amaçlı olarak kullanılan hafif betonlar, günümüzde üretilen bazı beton çeşitleridir.

ÇEM, ekonomik olması, taze halde iken kolayca şekil verilebilir (plastik) olması, mekanik dayanımının yüksek olması, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması gibi üstünlükleri nedeniyle vazgeçilmez yapı malzemeleridir.

2.2 Çimento Esaslı Malzemelerin Üretim Teknikleri

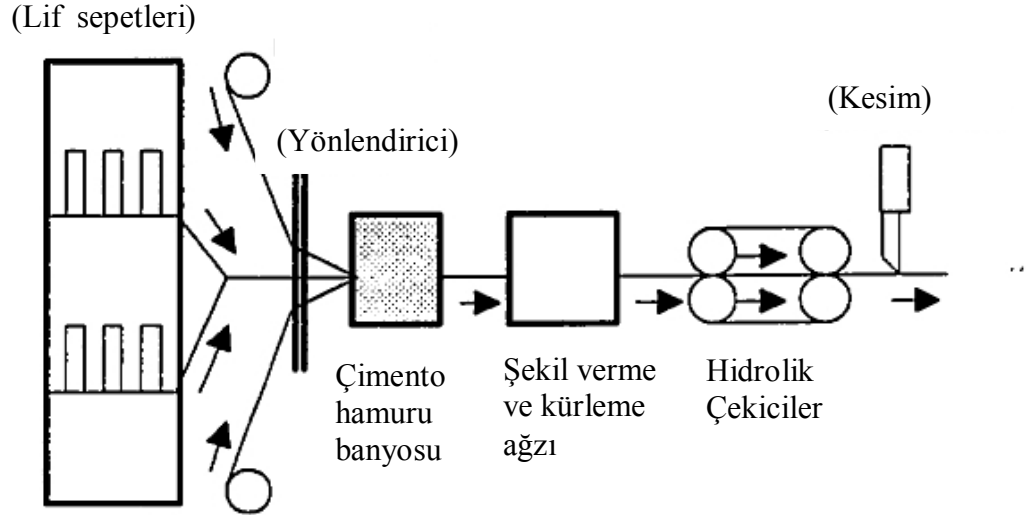
Geleneksel üretim tekniklerinin yanında, üretimi hızlandırmak, performansı arttırmak, lif donatılı kompozitlerin üretimini kolaylaştırmak gibi amaçlarla birçok yeni üretim tekniği geliştirilmiştir. Reticem, pultrüzyon, slurry infiltration, spray-suction (püskürtme) ve ekstrüzyon işlemleri, yüksek performanslı lif donatı çimento esaslı kompozitlerin üretiminde de kullanılabilir. Ekstrüzyon, farklı kesitlerde ve hacimce yüksek oranlarda lif içeren yüksek performanslı kompozit üretimi için ekonomik bir yöntemdir [2].

Reticem işleminde, iki yönde sürekli olarak düzenlenmiş ve polipropilen liflerden (hacim oranı % 4) oluşan ağ tabakası ile hacim olarak yaklaşık %1 oranında, sürekli ve kesilmiş cam liflerinin birleşimi sonucu oluşan ince tabakalarla 36 katman oluşturulur. Çimento hamuru ile doyurulur, sıkıştırılır ve kesilerek düz ya da oluklu levhalar elde edilir [3]. Reticem işleminin üretim süreci Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



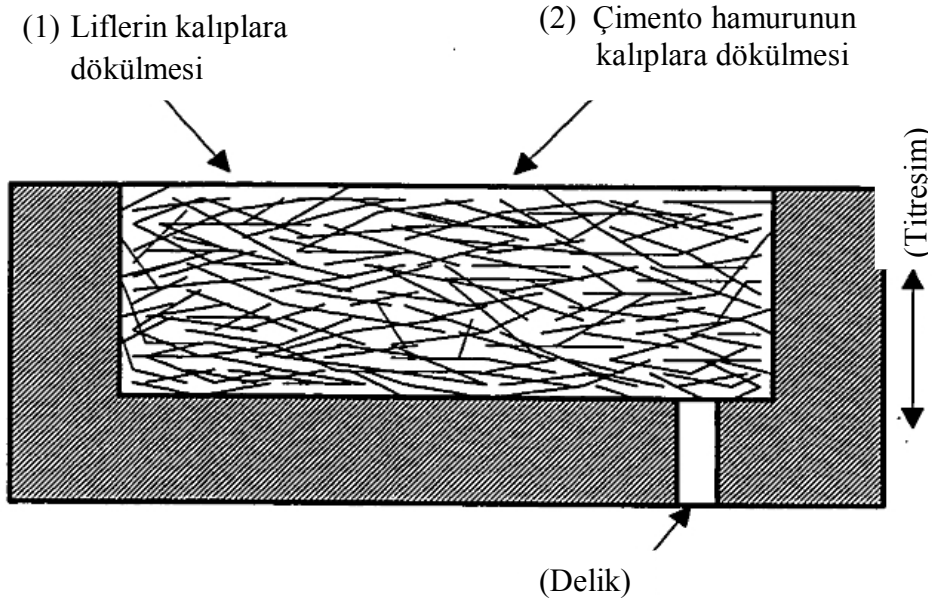
Şekil 2.1 : Reticem üretim süreci [4].

Pultruzyon işlemi, sürekli lifler ile matrisin birleştirilmesidir. Çimento hamuru ile doyurulan lifler, çimento hamurunun fazlalığı alınarak ince bir kesit oluşturabilmek için basınçlı bir ağızdan çekilir [4]. Pultruzyon işleminin üretim süreci Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



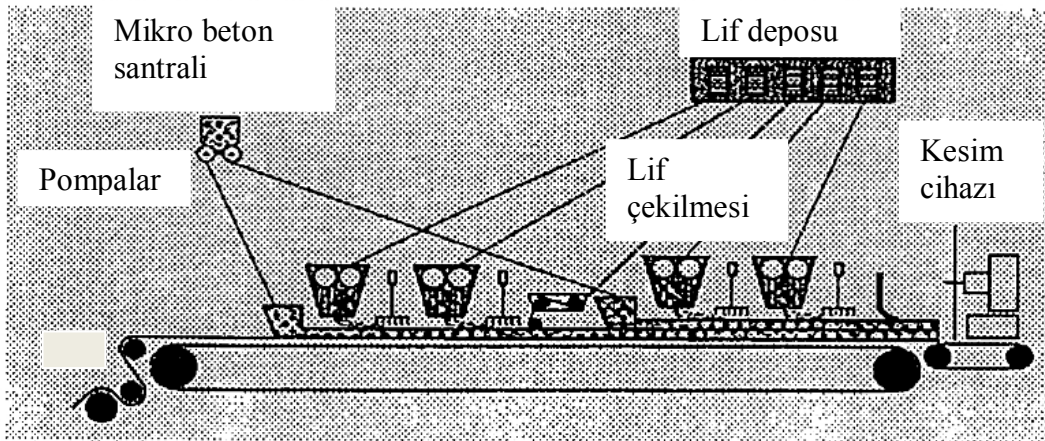
Şekil 2.2 : Pultruzyon üretim süreci [4].

Slurry infiltration tekniği, SIFCON (Slurry Infiltrated Fibered Concrete) olarak bilinen çelik lif donatılı beton ürünlerin ve kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır [5]. SIFCON, önceden kalıplara konulmuş çelik liflerin içerisine çimento hamurunun dökülmesi ve hamurun liflerin arasındaki boşluklara sızabilmesi için titreşim uygulanmasıyla elde edilir [4]. Slurry infiltration işleminin üretim süreci Şekil 2.3’te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Slurry infiltration üretim süreci [4].

Spray-suction (püskürtme) tekniği, kısa cam lif donatılı kompozit üretiminde kullanılmaktadır [6]. Su/çimento oranı 0,4 ile 0,5 arasında olan çimento hamuru püskürtme pompasının içine dökülürken, cam lifi ise püskürtme tabancasının yanına monte edilmiş olan cam kesici alete yerleştirilir. Çimento hamuru ve cam lifi kalıba beraberce püskürtülür. Gerekli olan kalınlığa ulaşıncaya kadar püskürtme işlemine devam edilir. Fazla olan su emme işlemiyle uzaklaştırılır [7]. Spray-suction işleminin üretim süreci Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

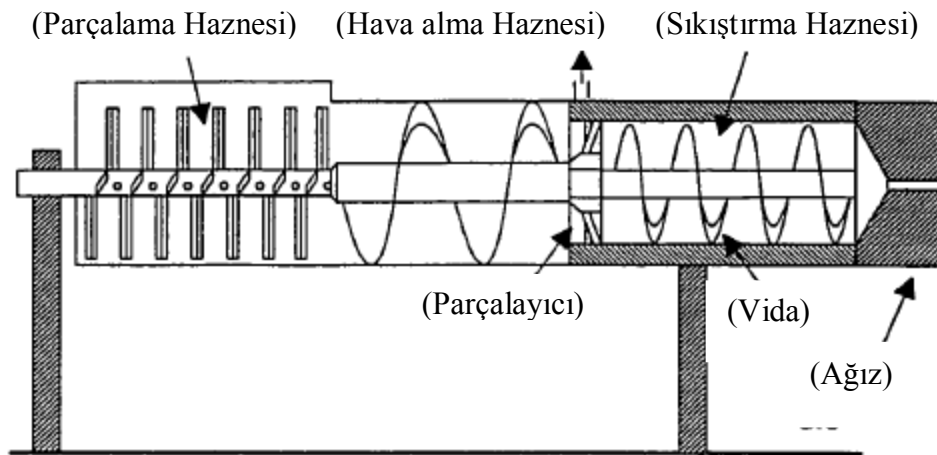


Şekil 2.4 : Spray-Suction üretim süreci [4].

Bu tez kapsamında deneysel olarak incelenmiş olan ekstrüzyon teknolojisi, bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmaktadır.

2.3 Ekstrüzyon Teknolojisi

Ekstrüzyon, malzemelere plastik şekil vermede kullanılan bir üretim tekniğidir [8]. Daha çok ilaç, gıda, polimer gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır [9,10,11]. Bu işlem genellikle sürekli üretim gerektiren mamuller için kullanılmaktadır [12]. İki boyutu sabit ve üçüncü boyutu değişken olan ürünler bu işleme uygundur. Ekstrüzyon yönteminde, yüksek viskoz ve hamurumsu plastik karışım kesit şekli verilmiş bir ağızdan geçirilmekte ve ürün ağız şeklini almaktadır [4]. Ekstrüzyon işleminin gerçekleştirildiği cihazlara ekstrüder denir. Vidalı (Auger) ve pistonlu olmak üzere iki çeşit ekstrüder vardır. Vidalı ekstrüder Şekil 2.5'te, pistonlu ekstrüder ise Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmiştir. Vidalı ekstrüder, malzeme karışımını vidanın dönüş hareketi ile ağızdan geçirmektedir. İlk olarak parçalama haznesine atılan malzeme, haznedeki bıçaklar ve hazne duvarı arasında sıkıştırılır. Bu işlem sırasında malzeme plastikleştirilir ve uygulanan basınç ile içerisindeki fazla hava dışarı atılır. Ekstrüzyonun sonraki aşamalarında uygulanan hava alma ve sıkıştırma işlemleri, daha yoğun sıkıştırılmış ürünler elde etmemizi sağlar. Pistonlu ekstrüderde ise ekstrüzyon işlemi için gerekli olan kuvvet, piston aracılığıyla uygulanmaktadır [2]. Vidalı ekstrüder sürekli üretim için uygun olduğundan, istenilen uzunlukta elemanlar üretilebilir [13]. Vidalı ekstrüderler genellikle büyük çaplı ticari uygulamalarda kullanılırken, pistonlu ekstrüderler ise küçük çaplı laboratuvar çalışmalarında kullanılan ve sürekli üretim yapılamayan ekstrüderlerdir [13].

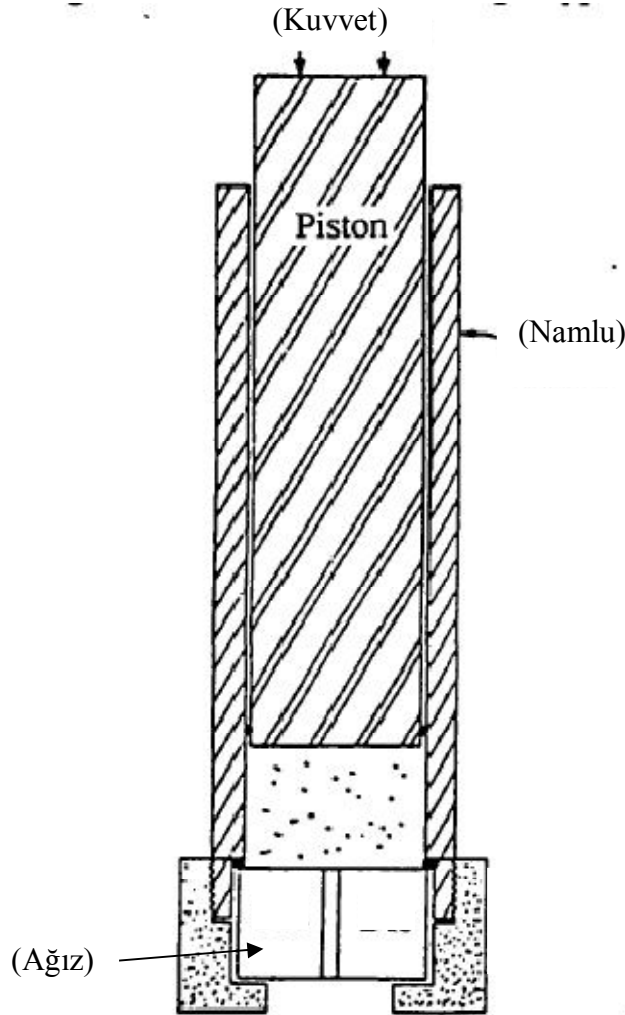


Şekil 2.5 : Vidalı ekstrüder şeması [4].

Ekstrüzyonla üretim işlemi, malzeme karışım birleşiminin belirlenmesi, malzemenin karıştırılması, ekstrüzyon ve kürlemeden oluşmaktadır [4].

Başarılı bir ekstrüzyon işlemi için, ekstrüzyondan önce yapılan karıştırma işlemi, malzemenin reolojik özelliklerinin tasarımı, ve ürün kesitlerini şekillendiren ekstrüderin ağız kısmının tasarımı büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, diğer şekil verme işlemlerinde olduğu gibi ekstrüzyon yönteminde de tane boyutu ve şekli önemlidir. İnce taneli malzemelerin ekstrüde edilmesi genellikle daha kolaydır [4].

Ekstrüzyon teknolojisinin en önemli üstünlükleri; sürekli bir üretim işlemi olması, ekonomik olması, tasarlanan ağızlar ile ürünlere istenilen kesit şekillerinin verilebilmesi, ve ekstrüzyon işleminde uygulanan yüksek basınç ve kayma kuvvetlerinin ürün özelliklerini geliştirmesidir.

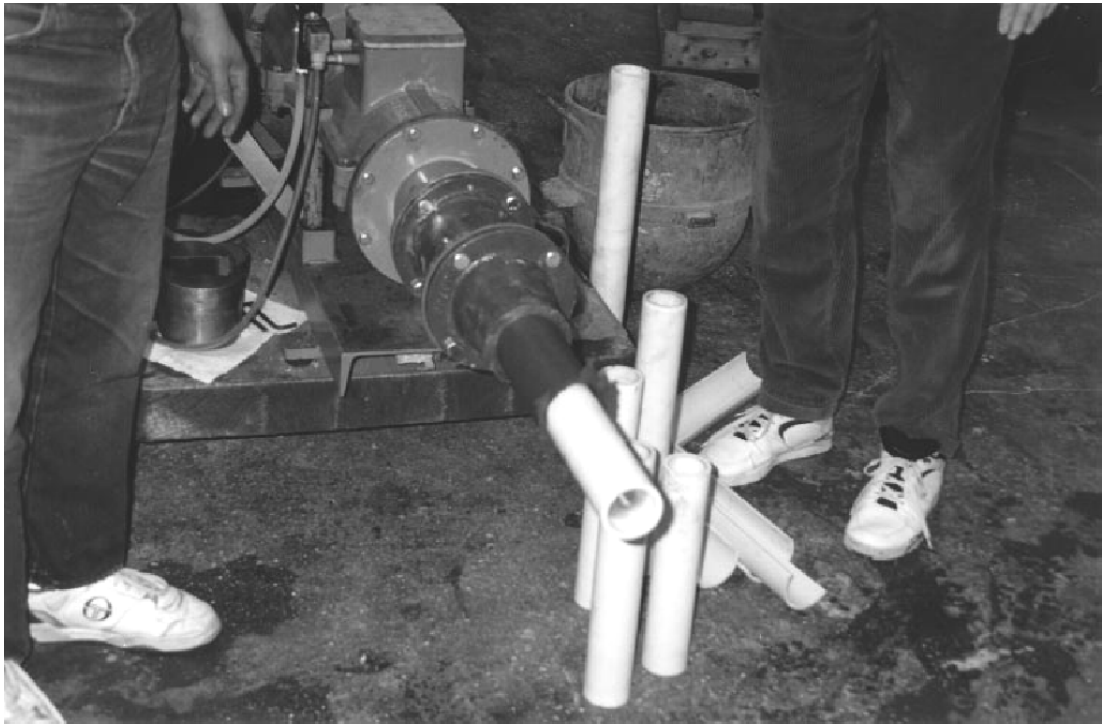


Şekil 2.6 : Pistonlu ekstüder şeması [4].

2.4 Çimento Esaslı Malzemelerde Ekstrüzyon Tekniğinin Uygulanması

Ekstrüzyon tekniğinin, malzeme özelliklerini geliştirmesi, geleneksel döküm yöntemleriyle üretilmesi zor olan bazı formdaki ürünlerin kolayca üretilmesine olanak vermesi ve sürekli üretim yöntemi olması gibi faktörler dikkate alınarak, ekstrüzyonun ÇEM' in üretiminde kullanılmasına başlanmıştır. Tuğlalar ve kiremitler, günümüzde ekstrüzyon tekniği kullanılarak üretilen ve inşaat endüstrisinde kullanılan, çimento esaslı olmayan yapı elamanlarıdır [12].

ÇEM' in ekstrüzyonunda, viskozitesi yüksek ve katı olan hamur, yüksek basınç ve kayma kuvvetleri altında, istenilen kesit şekline sahip bir ağızdan geçirilmektedir [13]. Ekstrüzyon işlemi sırasında uygulanan yüksek kayma ve basınç gerilmelerinin, ürünlerin mekanik özelliklerini geliştirdiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir [14,15]. Vidalı ekstrüder ile yapılan ekstrüzyon işlemi Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Ekstrüzyon işlemi ile ÇEM üretimi [8].

ÇEM' in ekstrüzyonundan önce yapılan karıştırma işlemi, ekstrüzyonun başarılı olabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Karışımdaki tüm tanecikler ve lifler üniform olarak dağılmalıdır. Ancak, karıştırma işleminin son safhalarında elde edilen karışımın çok katı olması üniform dağılım sağlamayı oldukça zorlaştırmaktadır [4].

Başarılı bir ekstrüzyon işlemin için bir başka önemli faktör ise ağız kısmının tasarımıdır. Ağız kısmının tasarım amacı, çimento karışımını son kez sıkıştırmak ve istenilen kesitlerde ürünler üretebilmektir. Ekstrüde ürünlerin burulmaması için karışımın ağız içerisinde üniform olarak akması gerekir. Eğer üniform olarak akmazsa veya ağız içerisinde yapışıp takılırsa, ürün ağızdan çıktığı anda deforme olacaktır [4].

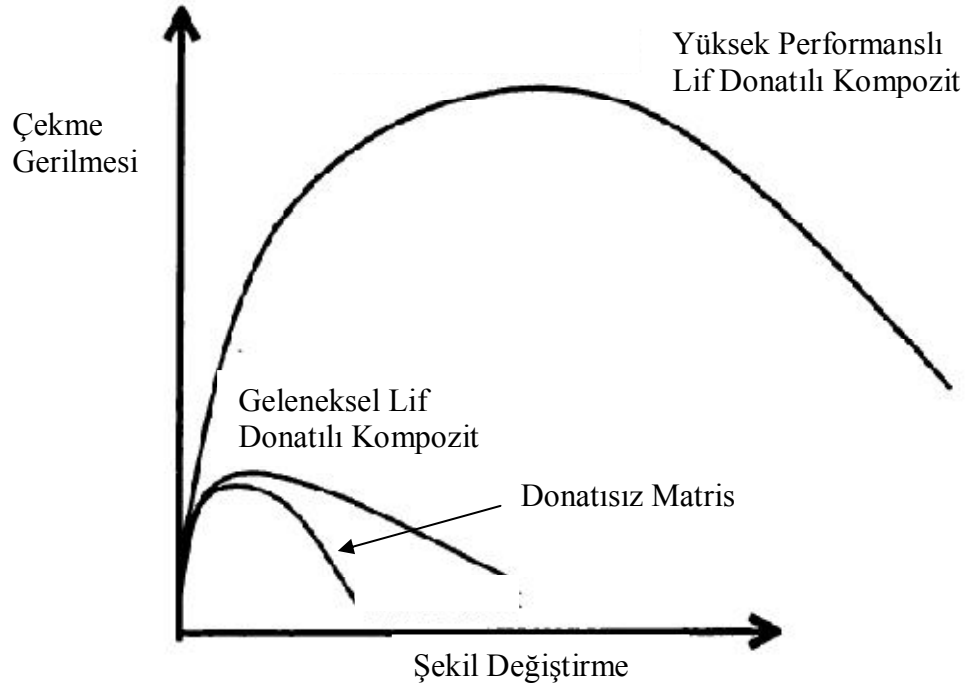
Ekstrüzyon yöntemi, ürün kesit tasarımı açısından birçok farklılıklar sunmaktadır. Ağız değişimi yapılarak farklı kesitlerdeki ürünler ekstrüde edilebilmektedir. İnce levhalar, borular ve açık gözenekli paneller başarıyla üretilmiş olan ekstrüde ürünlerdir [8,14,16,17]. Bazı çalışmalarda, lif donatılı çimento esaslı boruların basınç veya kanalizasyon borusu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır [8,16]. Silis dumanı ve hacimce %3 polivinil alkol (PVA) lif içeren boruların mekanik performansının ince levhalar kadar iyi olmadığını belirleyen araştırmacılar, ağız ve karışımda yapılacak değişimlerle boruların mekanik özelliklerinin geliştirilebileceğini önermektedirler. Ayrıca cam liflerin borular için iyi bir donatı olmadığını saptamışlardır [8]. Yapılan diğer bir çalışmada ise iç çapı 100 mm ve kalınlığı 10 mm olan boruları üretmek için prototip ekstrüder geliştiren araştırmacılar, boruların uygun karışım dozajıyla başarıyla üretilebileceğini belirlemişlerdir [16]. Ekstrüzyon sürecini kontrol edebilmek amacıyla malzeme oranları üzerinde çalışmalar yapan Mori ve Baba, kalınlığı 12 mm, genişliği 60 mm olan çimento esaslı levhaları vidalı ekstrüder ile üretmişlerdir [18].

Ekstrüzyon işleminde, vidanın döndürülme hızının (kayma hızının) belirli bir değere ulaştıktan sonra tekrar arttırılmasının kayma gerilmelerinin düşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminde kayma hızının düşük olması ürünün şişkinliğini etkili biçimde azaltarak düzgün yüzey elde edilmesini sağlamaktadır. Kayma hızının düşük olması, kompozit hamurunun sıkıştırılmasını sağlayan basınç gerilmesinin de düşük olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, ürünün yüzey pürüzlülüğü ve mekanik özellikleri düşünülerek uygun bir dönme hızı ayarlanmalıdır [19].

Uçucu kül, silis dumanı ve cüruf gibi atık malzemeler ekstrüde matrislere başarılı bir şekilde dahil edilmiştir [17,20,21]. Bu malzemelerin puzolanik olmalarından dolayı kısmi olarak çimentonun yerine kullanılabilir olması çevresel ve ekonomik olarak önemli bir avantaj sağlamaktadır [13].

2.5 Ekstrüzyon Tekniği ile Üretilen Çimento Esaslı Malzemelerin Özellikleri

Çimento esaslı malzemeler, çekme dayanımları ve toklukları düşük olan ve şekil değiştirme yumuşaması davranışı gösteren malzemelerdir [2,4]. ÇEM' in çekme dayanımını ve tokluğunu artırmak ve çekme davranışını değiştirebilmek amacıyla malzemeler lifler ile donatılmaktadır [2,4]. Geleneksel döküm yöntemleriyle üretilen lif donatılı kompozitlerde, işlenebilirlik sorunları nedeniyle en fazla %1 oranında (hacim olarak) lif kullanılabilir [2,4]. Geleneksel lif donatılı kompozitlerin çekme dayanımlarında lif içermeyen karışımlara göre önemli bir gelişme sağlanamazken, lif kullanımı sayesinde tokluğun arttığı belirlenmiştir. Geleneksel lif donatılı kompozitlerin zayıf yönlerini geliştirebilmek için farklı üretim işlemleri önerilmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen lif donatılı kompozitler, çekme dayanımları ve toklukları yüksek olan ve şekil değiştirme sertleşmesi davranışı gösteren yüksek performanslı kompozitlerdir [2,4,13]. Yüksek performanslı lif donatılı ekstrüde kompozitlerde %8 oranında (hacim olarak) lif kullanılabilir [13]. Lif içermeyen, geleneksel lif donatılı ve yüksek performanslı ÇEM' in gerilme-şekil değiştirme davranışlarının karşılaştırılması Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Lif içermeyen, geleneksel lif donatılı ve yüksek performanslı ÇEM' in gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının karşılaştırılması [2].

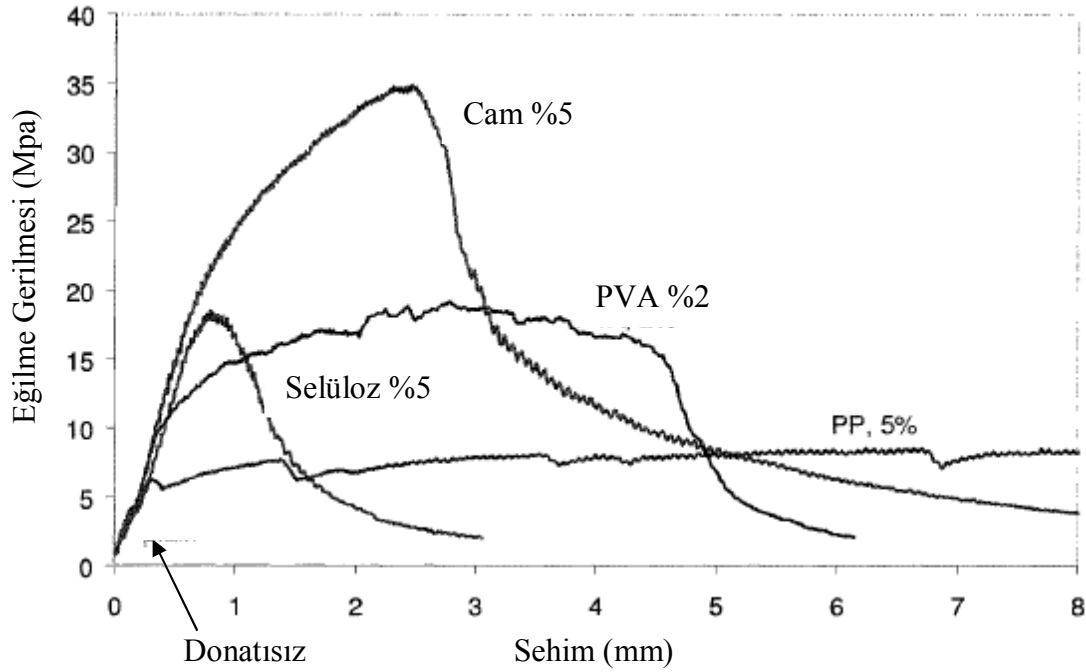
Çimento esaslı ekstrüde malzemelerde, hedeflenen performansa bağlı olarak malzeme bileşenleri belirlenmektedir. Malzemelerin geliştirilebilmesi amacıyla çeşitli tipte ve uzunlukta lif donatıları, kimyasal ve mineral katkı maddeleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı geometrik şekillerde numuneler üretilmiş ve bu numuneler üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır.

Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitler, sürekli liflerin kullanıldığı geleneksel döküm yöntemiyle üretilebilmektedir. Shao, üretimi çok daha zor olan kısa lifli yüksek performanslı kompozitlerin üretiminde, ekstrüzyon yöntemini kullanmıştır. Lif donatısı olarak, uzunlukları 4mm ve 6mm, oranları ise %2,2 ve %4,2 olan (Hacim olarak) PVA lifleri kullanılırken, mineral katkı maddesi olarak ise, malzemenin porozitesinin azaltılmasında ve dayanımının artmasında önemli katkısı olan silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Karışımın işlenebilirliğini geliştirmek ve su içeriğini en düşük miktarlarda tutmak için, yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmada, kenar uzunluğu 25mm olan kare prizma, iç çapı 60mm ve kalınlığı 12mm olan boru ve genişliği 76mm, kalınlığı 5mm olan ince levha başarıyla üretilmiştir. Levhalar üzerinde çekme ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Üç noktalı eğilme deneyi sonuçlarına göre, numunelerin eğilme dayanımları 18Mpa ve 26 Mpa aralığında değiştiği ve lif oranındaki artışın, eğilme dayanımını arttırdığı belirlenmiştir [4].

Akkaya, lif uzunluğunun ve kum oranının lif donatılı çimento esaslı dökme ve ekstrüde kompozitlerin mekanik performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada 2mm,4mm ve 6mm uzunluğunda PVA lifleri kullanılmıştır. Üretimlerde %3 (hacim olarak) oranında lif kullanılmıştır. Boyutları 25.4mm x 4mm olan numuneler üzerinde, çekme ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Ekstrüde kompozitlerde lif uzunluğu kısaldıkça çekme ve eğilme dayanımlarının ve tokluğun arttığı, dökme kompozitlere ise azaldığı belirlenmiştir. Lif uzunluğu 2mm olan liflerle donatılmış kompozitlerin eğilme dayanımı 33Mpa, lif uzunluğu 6mm olan ekstrüde kompozitlerin dayanımı 25Mpa'dır. Araştırma sonucunda, ekstrüde kompozitlerde kısa lif kullanımının, dökme kompozitlerde ise uzun lif kullanımının daha avantajlı olduğu görülmüştür. Kum oranının artırılması ise dökme ve ekstrüde lifli kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımlarını olumsuz olarak etkilediği belirlenmiştir [2].

Lif donatılı çimento esaslı kompozitlerde, ürünlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için liflere ek olarak, silis dumanı, metakaolin ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıları kullanılmaktadır. Mu, kısa lif donatılı kompozitlerin ekstrüzyon ile üretiminde, metakaolin, silis dumanı, cüruf ve uzunlukları 6mm, 12mm olmak üzere, en çok %2 (hacim olarak) oranında PVA lifi ve %4 (hacim olarak) oranında cam lifi kullanmıştır. Su/bağlayıcı oranı genel olarak 0,28 mertebesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, kesit boyutları 300mm x 6mm olan ince levha, çapı 100mm ve kalınlığı 6mm olan boru ve genişliği 300mm ve kalınlığı 30mm olan hücre boşluklu panel olmak üzere üç farklı kesitte ürün üretilmiştir. Üretilen numunelere, çekme, darbe ve donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarında göre, ürünlerin dayanım ve sünekliğinin yüksek olduğu, liflerin büyük oranlarda ekstrüzyon doğrultusunda hizalandığı, metakaolin ve silis dumanının çekme ve darbe dayanımını geliştirdiği görülmüştür. Donma-çözülme deneyleri uygulanan numunelerde çekme dayanımlarının düştüğü belirlenmiştir [12].

Kuder, çimento esaslı malzemelerin, dayanımı yüksek, dayanıklı, çevre dostu ve ekonomik olması gibi üstünlüklerinden ötürü, konut inşaatlarının dış cephe ve çatı kaplamalarında kullanılan mevcut malzemelerin yerine kullanılabilecek en önemli malzemelerden biri olduğunu belirtmiştir. Çimento esaslı malzemelerin kırılgan olması, çekme dayanımlarının ve şekil değiştirme kapasitelerinin düşük olması gibi zayıf yönlerini geliştirebilmek için üretimde ekstrüzyon yöntemini kullanmıştır. Ekstrüde malzemelerde, %2 oranında (hacim olarak) PVA lifi ve %5 oranında (hacim olarak) PP, cam ve selüloz lifleri kullanılmıştır. Kuder, 50.4mm genişliğinde ve 8mm kalınlığındaki dikdörtgen kesitli numune üzerinde üç noktalı eğilme deneyleri yapmıştır. ÇEM' in lif ile donatılmasının eğilme dayanımını ve tokluğu önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Cam lifli ekstrüde kompozitlerin eğilme dayanımının en yüksek olduğu ve polipropilen lifli kompozitin eğilme dayanımının düşük olmasına rağmen en yüksek sünekliğe ve tokluğa ulaştığı Şekil 2.9'da gösterilmiştir [13].



Şekil 2.9 : Lifli ve lifsiz ekstrüde kompozitlerin eğilme gerilmesi-sehim grafiği [13].

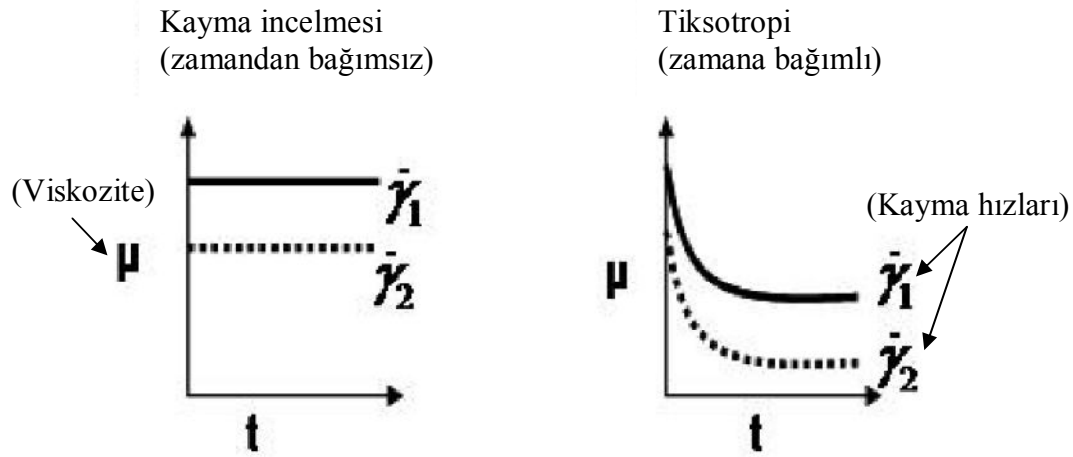
Northwestern Üniversitesindeki çalışma grubu, kısa lif donatılı çimento esaslı kompozit üretiminde tek vidalı ekstrüder kullanarak levha ve boru gibi farklı kesitlerdeki ürünleri başarıyla üretmişlerdir [14]. Kısa lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin özelliklerinin büyük oranda üretim yöntemlerine bağlı olduğu yapılan deneylerle kanıtlanmıştır. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen kısa lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin geleneksel döküm yöntemleriyle üretilen kompozitlere göre dayanımlarında ve tokluklarında önemli bir gelişme sağladığı görülmüştür. Bu gelişimin ana etkenleri olarak, arayüzlerde kuvvetli bağların oluşması ve yüksek kayma ve basınç kuvvetleri altında liflerin hizalanması gösterilmektedir [15]. Liflerin hizalandığı ekstrüzyon doğrultusunda ürünlerin mekanik özellikleri gelişmektedir. Lifli kompozit üretiminde ekstrüzyon yönteminin kullanılmasının diğer bir avantajı ise ekstrüde ürünlerde porozitenin düşük olmasıdır. Porozitenin düşük olması kompozitin dayanımını ve matrisin tokluğunu arttırabilmektedir [22].

Araştırma sonuçları ekstrüde kompozitlerin yoğun olduğunu, lif ve matris arasındaki bağların kuvvetli olduğunu ve içerisindeki liflerin ekstrüzyon doğrultusunda hizalandığını göstermiştir [23-27].

2.6 Reolojik Özelliklerin Ekstrüzyona Etkileri

Ekstrüde malzemelerin reolojik özellikleri, ekstrüzyon işleminde önemli rol oynamaktadır. Ekstrüde malzemelerin, ekstrüder içerisindeki ve dışarısındaki akış özelliklerini kontrol altında tutan reolojinin, doğru olarak tasarlanması başarılı bir ekstrüzyon için büyük önem taşımaktadır. Reolojik parametreler doğru olarak belirlenmemiş ise ekstrüzyon işlemlerinde laminasyon (katmanlaşma) ve yüzey yırtılması gibi kusurlar oluşabilmektedir [12]. Taze haldeki malzemede oluşan kusurlar, sertleşmiş haldeki mekanik özellikleri etkileyebilir ve malzemenin estetik açıdan kötü gözükmesine neden olabilir [13].

Ekstrüzyon işleminde, önceden karıştırılmış çimento esaslı taze karışımın viskozitesi oldukça önemli bir niteliktir. Basınç altında olan karışımın, ağız içerisinde akabilmesi için yeteri kadar plastik olması, ağızdan çıktıktan sonra deforme olmayacak kadar da rijit olması gereklidir. Ayrıca, ekstrüzyon sırasında karışımın katı ve sıvı fazlara ayrışmaması ve ağız çeperlerine yapışıp takılmaması, başarılı bir ekstrüzyonun diğer önemli şartlarıdır. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için basınç altındaki karışımın uygun bir akma karakteristiğine sahip olması gerekmektedir. Ekstrüzyon işlemlerinde, malzemenin kayma incelmesi (shear-thinning) akma davranışı göstermesi tercih edilir [4]. Çimento esaslı malzemeler, reolojik davranış açısından genellikle tiksotropiktir [13]. Tiksotropi, viskozitenin sabit kayma gerilmeleri ya da kayma hızı altında zamanla azalması ve gerilme kaldırıldıktan sonra tekrar yavaşça artmasıdır. Kayma incelmesi davranışı ise, viskozitenin, sabit kayma gerilmeleri ve kayma hızları altında değişmemesi, artan kayma hızları altında azalmasıdır. Tiksotropi ve kayma incelmesi Newtonian olmayan akışkanların davranışlarıdır. Tiksotropi zamana bağımlı, kayma incelmesi ise zamandan bağımsızdır. Tiksotropi ve kayma incelmesi reolojik davranışları Şekil 2.10'da gösterilmektedir [28].



Şekil 2.10 : Kayma incelmesi ve tiksotropi [28].

Çimento esaslı ekstrüde malzemelerde reolojinin karmaşık olması sebebiyle bu konu üzerinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Ekstrüde malzemelerde, viskozitenin tanımlanabilmesi için farklı teknikler kullanılmıştır. Ekstrüzyon basıncını viskozitenin bir göstergesi olarak kullanan bazı araştırmacılar, malzemenin katılığı arttıkça ekstrüzyon basıncının da arttığını, ekstrüzyon basıncının ise lif cinsine ve matris bileşenlerine karşı duyarlı olduğunu belirlemişlerdir [21]. Moras ve Shao ise penetrasyon deneyi sonucunda elde ettikleri penetrasyon sayılarını, viskozitenin göstergesi olarak kullanmışlardır [29]. Penetrasyon sayıları, Standard bir iğnenin belirli bir yükseklikten serbest bırakılarak malzeme içerisine batmasıyla hesaplanır. Penetrasyon sayısı doğrudan iğnenin batma uzunluğuna bağlıdır. Penetrasyon sayısının yüksek olması (>4) hamurun ekstrüde edilemez olduğunu, penetrasyon sayısının düşük olması ise hamurun yumuşak ve kohezif olduğunu belirtir. Malzemenin ekstrüde edilebilir olması için, penetrasyon sayısının 3.0-3.5 aralığında olması gerekir. Reolojik özelliklerin tanımlanmasında ekstrüzyon basıncı ve penetrasyon sayılarının kullanılmasının en önemli dezavantajı, bu yöntemlerle temel reolojik özelliklerin belirlenememesidir [13].

Ekstrüde malzemelerin, temel reolojik özelliklerinin belirlenebilmesi için bazı araştırmacılar tarafından Benbow modeli kullanılmıştır. Srinivasan ve çalışma arkadaşları Benbow modelini kullanarak, lif donatılı ekstrüde malzemelerin temel reolojik özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları ağız kalıbı Şekil 2.11'de şematik olarak gösterilmiştir. Benbow modeli aşağıda verilen 2.1 denklemi ile, ekstrüzyon basıncı ile malzemenin ağızdan çıktıktan sonraki hızı arasındaki bir

bağıntı kurmaktadır. Araştırma sonucunda, Benbow modelinin lif özelliklerine ve matris bileşenlerinin değişimine duyarlı olduğunu ve bu yöntemin lif donatılı çimento esaslı kompozitler için uygun olduğunu belirlemişlerdir [23].

$$P_{tot} = 2 \ln (D_0 / D) (\sigma_0 + \alpha V) + 4 \ln (\tau_0 + \beta V) \quad (2.1)$$

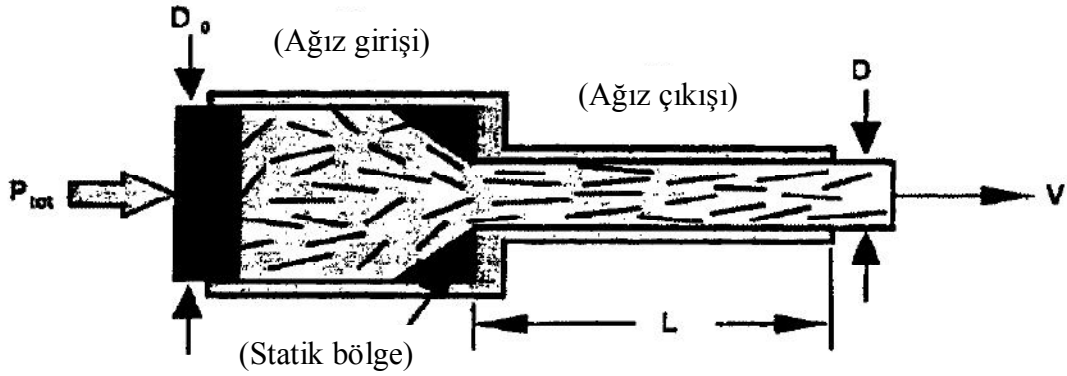
P_{tot} = Toplam ekstrüzyon basıncı V = Malzemenin ağız çıkışındaki hızı

D_0 = Ağız giriş çapı L = Ağız çıkışını uzunluğu

D = Ağız çıkış çapı τ_0 = Ağız çıkışındaki ilk kayma gerilmesi

σ_0 = İlk ölçülen akma dayanımı β = Ağız çıkışındaki hız faktörü

α = Ağız girişindeki hız faktörü



Şekil 2.11 : Ağız kalıbının şeması [23].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Deneylerin tamamında Lafarge-Aslan çimento fabrikasının ürettiği CEM V/A (P-S) 32.5 çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri.

Özgül Yüzey (Blaine) (cm^2/gr)	4850
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,02

3.1.2 Silis kumu

Deneylerde kullanılan silis kumu Camiş Madencilik A.Ş’ den temin edilmiştir. Bu malzemenin birim ağırlık, özgül ağırlık deney sonuçları Çizelge 3.2’ de ve elek analizi sonuçları Çizelge 3.3’ te verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Silis kumuna ait özgül ağırlık ve birim ağırlık deney sonuçları.

Agrega	Özgül Ağırlık (kg/m^3)	Birim Ağırlık (kg/m^3)
Silis Kumu	2640	1510

Çizelge 3.3 : Silis kumu elek analizi sonuçları.

Elek Göz Boyutu (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)
2	100
1	100
0.50	100
0.25	83

3.1.3 Kuvars unu

Deneylerde özgül ağırlığı 2.58 g/cm^3 olan kuvars unu kullanılmıştır. Kuvars ununun elek analizi sonuçları Çizelge 3.4’ te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Kuvars unu elek analizi sonuçları.

Elek Göz Boyutu (μm)	Elekten Geçen Malzeme (%)
75	100
50	70

3.1.4 Kimyasal katkı kaddeleri

Süperakışkanlaştırıcı olarak Epo Yapı Kimya firmasının ürünü olan yüksek oranda su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin yoğunluğu 1.24 kg/dm^3 , katı madde oranı ise %38 olarak belirlenmiştir. Dispersiyon mekanizması iyonik (elektriksel) itme olan katkının pH değeri 9.7 olarak tespit edilmiştir.

Kıvam düzenleyici katkı maddesi olarak Epo Yapı Kimya firmasının ürünü olan selülozik bazlı kıvam düzenleyici kullanılmıştır.

3.1.5 Polipropilen lif

Lif olarak Epo Yapı Kimya firmasının ürünü olan 3mm uzunluğundaki polipropilen lifler kullanılmıştır.

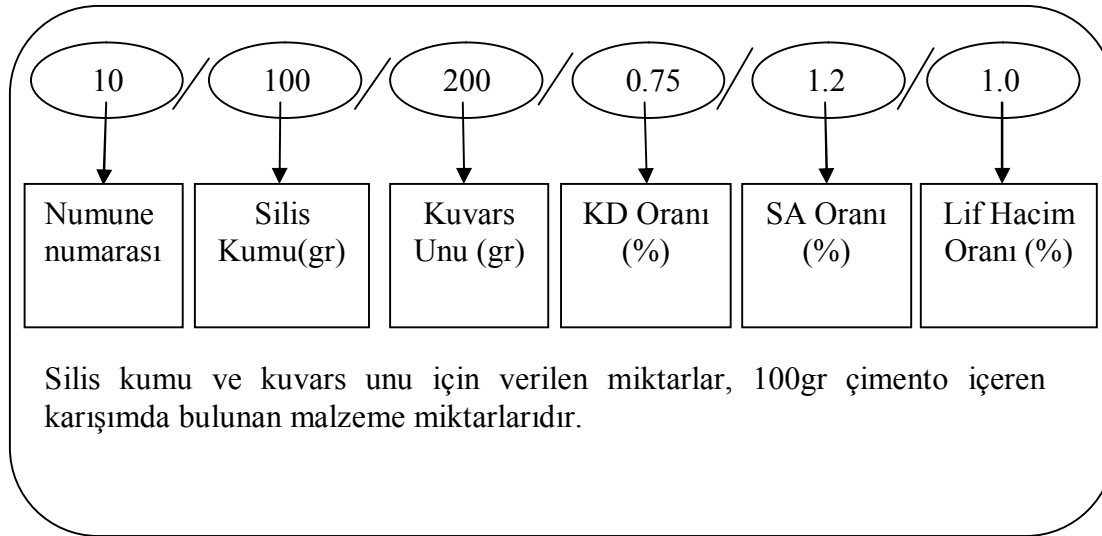
3.2 Karışımlar ve Numune Kodları

Bu çalışma kapsamında 2 adet lifli ve 12 adet lifsiz olmak üzere toplam 14 seri karışım üretilmiştir. Karışım oranları Çizelge 3.5’ te verilmiştir. Bütün karışımların su/ince malzeme (çimento+kuvars unu) oranı yaklaşık olarak 0.28’dir. 100gr çimento içeren bir karışımda; agrega olarak, 12.5gr, 25gr, 50gr,100gr olmak üzere 4 farklı oranda silis kumu, mineral katkı olarak ise 10gr, 50gr, 100gr olmak üzere 3 farklı oranda kuvars unu kullanılmıştır. Karışımlarda 3 farklı oranda SA ve 6 farklı oranda KD kimyasal katkı maddeleri kullanılmıştır. SA/(ince malzeme) oranları %1.2, %1.8, %2.4 ve KD/(ince malzeme) oranları ise %0.45, %0.60, %0.75, %1, %1.25, %1.50’tir. Lifli karışımlarda hacimce %0.5 ve %1 oranlarında ve 3mm uzunluğunda PP lifleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.5 : Karışım oranları.

Numune Kodu	Numune No	Çimento (gr)	Silis Kumu (gr)	Kuvars Unu (gr)	KD Oranı (%) (KD/ince malz.)	SA Oranı (%) (SA/ince malz.)	PP Lif Oranı (%) (Hacimce)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	1	100	12,5	0	0,60	2,4	0
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	2	100	12,5	0	1,00	2,4	0
3/25/10/1.0/2.4/0	3	100	25	10	1,00	2,4	0
4/50/50/1.0/2.4/0	4	100	50	50	1,00	2,4	0
5/100/200/1.0/2.4/0	5	100	100	200	1,00	2,4	0
6/100/200/1.00/1.8/0	6	100	100	200	1,00	1,8	0
7/100/200/0.75/1.8/0	7	100	100	200	0,75	1,8	0
8/100/200/0.45/1.2/0	8	100	100	200	0,45	1,2	0
9/100/200/0.75/1.2/0	9	100	100	200	0,75	1,2	0
10/100/200/0.75/1.2/1.0	10	100	100	200	0,75	1,2	1,0
11/100/200/0.75/2.4/0	11	100	100	200	0,75	2,4	0
12/100/200/1.25/1.8/0	12	100	100	200	1,25	1,8	0
13/100/200/1.50/1.8/0	13	100	100	200	1,50	1,8	0
14/100/200/0.75/1.2/0.5	14	100	100	200	0,75	1,2	0,5

Numune kodlamasındaki sayılar sırasıyla; numune numarasını, 100gr çimento içeren karışımdaki silis kumu miktarını, kuvars unu miktarını, KD/ince malzeme oranını, SA/ince malzeme oranını ve lif oranını göstermektedir. Örnek olarak, 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodu, 100 gr çimento içeren 10 numaralı numunenin 100gr silis kumu, 200gr kuvars unu, %0.75 oranında KD, %1.2 oranında SA ve %1 oranında PP lifi içerdiğini göstermektedir. Numune kodlarının açıklaması şematik olarak Şekil 3.1’ de gösterilmektedir.

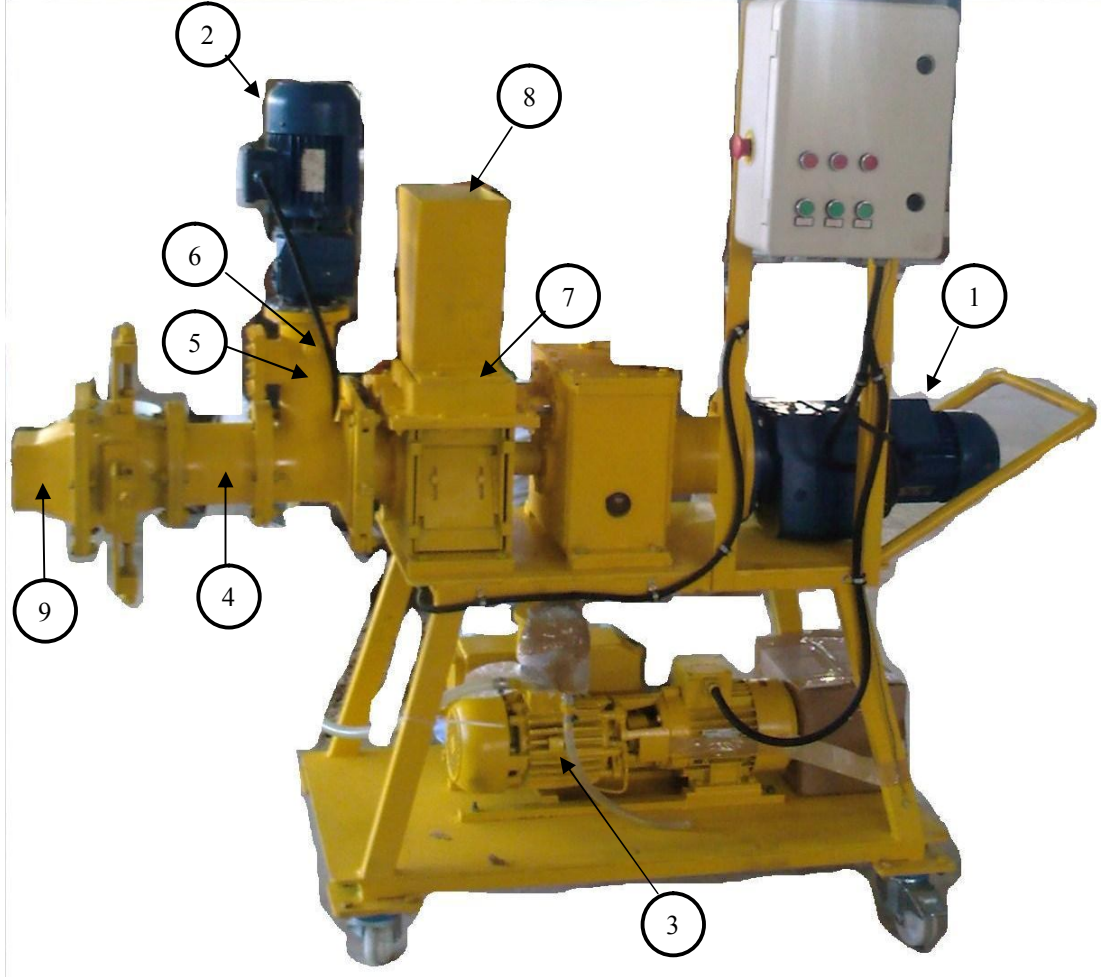


Şekil 3.1 : Numune kodlarının açıklaması.

3.3 Üretim ve Numunelerin Saklanması

Üretimler, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda 45 dm³ kapasiteli düşey eksenli karıştırıcı ve vidalı ekstrüder ile yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan vidalı ekstrüder Şekil 3.2' de gösterilmiştir. Vidalı ekstrüderde 3 adet motor bulunmaktadır. Bu motorların iki tanesi vidaların döndürülmesi için diğer motor ise vakum işlemi için kullanılmaktadır. Ekstrüderin içerisinde yatay ve düşey olarak konumlandırılmış 2 vida bulunmaktadır. Yatay vidanın uzunluğu 100cm, düşey vidanın uzunluğu ise 40cm'dir. Ekstrüderin giriş kovanının altında malzemelerin parçalandığı 2 adet silindir bulunmaktadır. Ekstrüderin çıkışında ise ağız bölümü yer almaktadır. Ekstrüderin ağız, genişliği 50mm, yüksekliği 100mm ve duvar kalınlığı 10mm olan dikdörtgen kesitli boru üretimi için uygun olarak tasarlanmıştır. Ekstrüder ağız Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Malzeme, giriş kovanından ekstrüdere atıldığında ilk olarak girişte yer alan silindirlerle parçalanır. Parçalanmış malzeme, silindirlerin altında bulunan yatay vidanın döndürme kuvveti ile ileriye doğru itilir. Malzeme yaklaşık 40cm kadar ilerledikten sonra düşey vidanın sıkıştırma etkisine maruz kalır. Bu sırada ekstrüderin içerisinde bulunan fazla hava, düşey vidanın bulunduğu borudan dışarı çekilir. Bu işlemlerden sonra malzeme yatay vidanın etkisiyle ağız kısmına doğru ilerler. Malzeme yaklaşık 60cm sonra ağız kısmına ulaşır. Ağız kesitinin dar olması nedeniyle malzemenin ağızdan çıkabilmesi için bir basınç kuvveti gerekir. Ekstrüdere sürekli malzeme girişi olması nedeniyle ekstrüder ağızında zamanla

malzeme birikimi oluşur. Yatay vidanın itme kuvveti biriken malzeme üzerinde yüksek bir basınç oluşturur. Bu basınç kuvvetinin etkisiyle malzeme ekstrüder ağzından yavaşça dışarı çıkar ve kesit şekli bu aşamada verilir.



- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1 Yatay vida motoru | 6 Vakum emiş ağzı |
| 2 Düşey vida motoru | 7 Parçalayıcı silindirler |
| 3 Vakum pompası | 8 Malzeme giriş kovası |
| 4 Yatay vida namlusu | 9 Ağız kalıbı |
| 5 Düşey vida namlusu | |

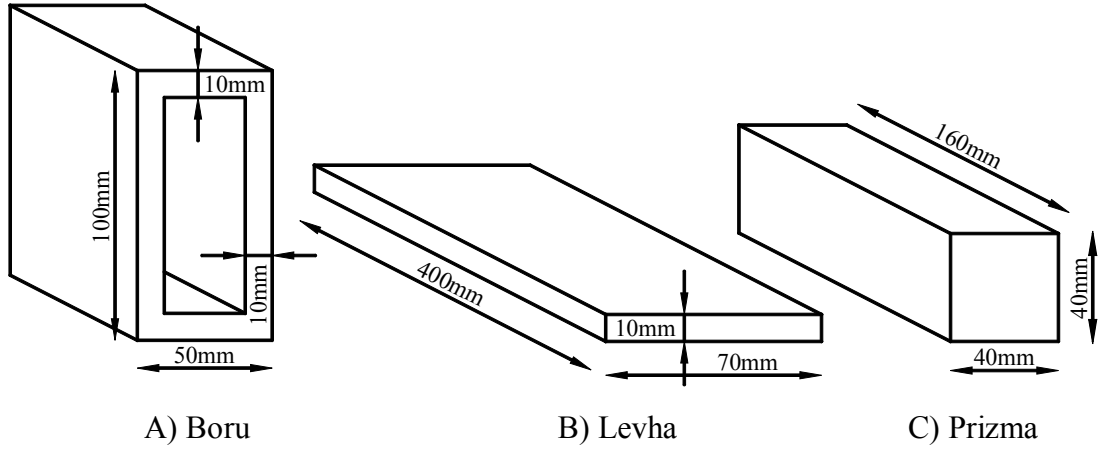
Şekil 3.2 : Vidalı ekstrüder.



Şekil 3.3 : Ağız kalıbı.

Ekstrüzyondan önce karıştırma işlemi yapılmaktadır. Karıştırma kazanının yıkanıp temizlenmesinden sonra, malzemeler (çimento, silis kumu, kuvars unu) harmanlama amacıyla 2 dakika süresince karıştırılır. Karıştırma işlemi devam ederken, karışım suyunun %80'i yavaş yavaş kuru karışıma ilave edilir ve 2 dakika süreyle karıştırılır. Ardından, SA katkı ve kalan karışım suyu karışıma ilave edilir ve karıştırma işlemi 10 dakika devam ettirilir. Son olarak, KD katkı maddesi eklenir ve karışım yeterli kıvamına gelene kadar karıştırma işlemine devam edilir.

Karıştırma işlemi bittikten sonra, ilk olarak malzemenin taze haldeki dayanımı ölçülmüştür. Malzeme 10 dakika kadar bekletildikten sonra vidalı ekstrüder içerisinde ekstrüde edilmiştir. Ekstrüzyon sonucunda, dikdörtgen kesitli boru, levha ve prizma olmak üzere üç farklı numune alınmıştır. Levha ve boru numuneler ekstrüder ağzından çekilen elemanlardır. Prizma numuneler ise ekstrüder ağzından çekilen malzemelerin 40mm x 40mm x160mm' lik kalıplara yerleştirilip vibrasyon uygulanmasıyla elde edilmiştir. Üretilen üç farklı numune Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Numune şekilleri ve boyutları.

Prizma numunelerin üretimi için ekstrüde edilen karışım, daha önceden temizlenip yağlanmış olan 40mm x 40mm x160mm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiştir. Malzemenin kalıplara daha iyi yerleşebilmesi için sarsma tablasında 10 saniye kadar vibrasyon uygulanmıştır. Her bir üretimden 12 adet prizma numune alınmıştır. Prizma numuneler 48 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır.

Genişliği 50mm, yüksekliği 100mm ve duvar kalınlığı 10mm olan dikdörtgen kesitli boru üretiminde, bu boyutlara uygun olan ekstrüder ağzı kullanılmıştır. Her bir üretimden 10 adet kısa ve 1 adet uzun boru numune alınmıştır. Üretilen dikdörtgen kesitli boru numuneleri Şekil 3.5' te gösterilmektedir.

Levha numuneler, dikdörtgen kesitli boru numunelerin uzun kenarlarının kesilmesi ile elde edilmiştir. Her bir üretimden 10 adet levha numune alınmıştır.

Üretilen numuneler deney gününe kadar 20 °C sıcaklıktaki ve % 65 rutubetli laboratuvar ortamında saklanmışlardır. 28 gün laboratuvar ortamında saklanan numuneler üzerinde mekanik deneyler uygulanmıştır.



a) Uzun Boru Numune

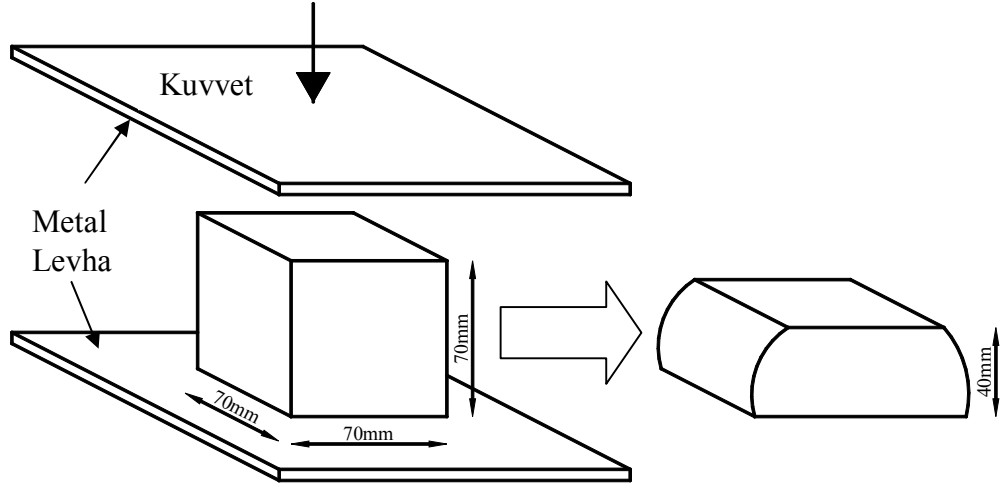
b) Kısa Boru Numune

Şekil 3.5 : Dikdörtgen kesitli boru numuneler.

3.4 Taze Haldeki Malzeme Deneyleri

3.4.1 Taze haldeki dayanımının belirlenmesi

Taze haldeki malzeme dayanımının belirlenmesi için ekstrüzyon işlemi sonucunda üretilen ekstrüde malzeme, 70mm x 70mm x 70mm boyutlarındaki küp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıptan çıkarılan küp şeklindeki taze numune üzerine geniş bir çelik levha yerleştirilerek el kuvveti ile basınç uygulanmıştır. Numunenin 7cm'lik düşey boyutu 3cm kısalma yapıncaya kadar kuvvet sürekli olarak arttırılmıştır. Numune boyunun 3cm kısaldığı andaki kuvvet, numunenin alanına oranlanarak numunenin taze haldeki dayanımı belirlenmiştir. Her üretim için üç deney yapılmıştır. Deney sonuçlarının ortalaması alınarak taze haldeki malzeme dayanımı elde edilmiştir. Taze haldeki dayanımının belirlenmesi için yapılan deney Şekil 3.6' da gösterilmektedir.



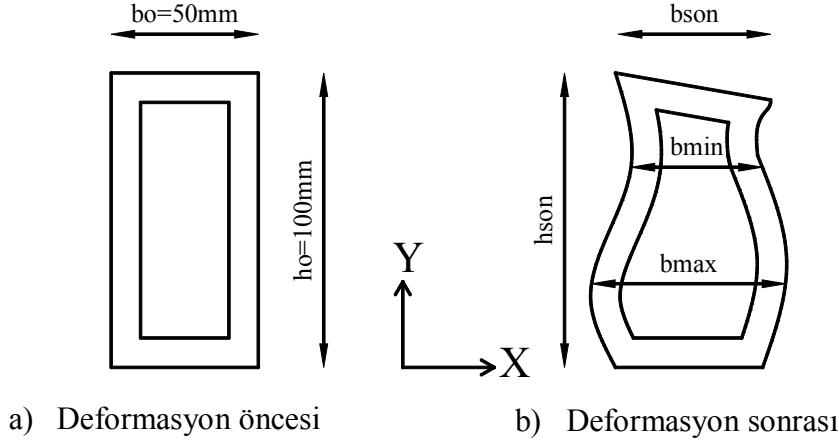
Şekil 3.6 : Taze haldeki dayanımın belirlenmesi.

3.4.2 Şekil stabilite faktörünün belirlenmesi

Dikdörtgen kesitli ekstrüde borular, ekstrüder ağzından çıkarken yaklaşık 10cm boyunda kısa elemanlar halinde kesilmiştir. Her bir üretimden 10 numune alınmıştır. Numuneler sertleştikten sonra numune boyutları kumpas ile ölçülmüştür. Boru numunelerin ekstrüder ağzından çıktıkları andaki boyutları, ilk boyutlar olarak kabul edilmiştir. İlk genişlik (b_0) 50mm, ilk yükseklik (h_0) 100mm ve duvar kalınlığı ise 10mm'dir. Kendi ağırlığı altında deforme olan numunenin boyutları zamanla değişmektedir. Numunenin ekstrüder ağzından çıktığı andaki formu ve numunenin kendi ağırlığı altında deforme olduktan sonraki formu Şekil 3.7' de şematik olarak gösterilmiştir. Dikdörtgen kesitli numunenin son genişliği b_{son} , son yüksekliği ise h_{son} olarak tanımlanmıştır. Numunenin son yüksekliği (h_{son}), numunenin iki yanından yapılan yükseklik ölçümlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Numunenin son genişliği (b_{son}) belirlenirken, numune genişliğinin en az (b_{min}) ve en çok (b_{max}) olduğu kısımlar ölçülmüş ve numunenin ilk genişliği (b_0) ile arasındaki fark mutlak değer olarak en büyük olan genişlik, son genişlik (b_{son}) olarak kabul edilmiştir. Aynı üretimden alınan numunelerin b_{son} genişliği ve h_{son} yüksekliği ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır. Numunelerin x ve y doğrultularındaki şekil stabilite faktörleri (ŞSF), 3.1 ve 3.2 denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{X doğrultusundaki ŞSF} = \left[1 - \left| \frac{b_0 - b_{son}}{b_0} \right| \right] \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Y doğrultusundaki ŞSF} = \left[1 - \frac{h_0 - h_{son}}{h_0} \right] \times 100 \quad (3.2)$$



Şekil 3.7 : Boru numunenin deformasyon öncesi ve sonrasında şekilleri ve boyutları.

3.5 Sertleşmiş Haldeki Malzeme Deneyleri

3.5.1 Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlığın hesaplanmasında dikdörtgen kesitli uzun boru numuneler kullanılmıştır. Numune boyutları ölçülmüş ve hacimleri hesaplanmıştır. Numune ağırlığının, numune hacmine bölünmesiyle numunelerin birim ağırlıkları elde edilmiştir.

3.5.2 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisinin tayini

Üç noktalı eğilme deneyi, 28 günlük prizma ve levha numuneler üzerinde uygulanmıştır. Bu deneyde, maksimum kapasitesi 100 kN olan Instron 5500 R kapalı çevrimli deplasman kontrollü deney makinesi ile kullanılmıştır. Deneyler, her üretimden 4 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyinde, 40mm x 40mm x 160mm boyutlarında prizma ve kalınlığı 10mm, genişliği 70mm ve uzunluğu 400mm olan levha numuneler kullanılmıştır. Numuneler, dakikada 0.0175mm sehim yapabilecek hızda ve açıklık ortasından yüklenmiştir. Mesnet açıklığı 12cm olarak kullanılmış ve her numune için mesnet açıklığı sabit tutulmuştur. Levha ve prizma numuneler üzerinde uygulanan üç noktalı eğilme deneyi Şekil 3.8’ de gösterilmektedir.



a) Levha numunelerde eğilme deneyi b) Prizma numunelerde eğilme deneyi

Şekil 3.8 : Üç noktalı eğilme deneyi.

3.5.3 Basınç deneyi

Prizma numunelerde yapılan eğilme deneyi sonucunda elde edilen parçalar üzerinde basınç deneyleri yapılmıştır. Deney aleti olarak 300 tonluk hidrolik pres kullanılmıştır. Basınç deneyinde yükleme hızı 0.5 kN/sn' dir. Basınç deneyi uygulaması Şekil 3.9' da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 : Basınç deneyi.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Taze Haldeki Deney Sonuçları

4.1.1 Taze haldeki dayanım sonuçları

Ekstrüder ağzından alınan malzemenin 70mm x 70mm x 70mm boyutlarındaki küp kalıplara yerleştirilmesiyle elde edilen numuneler üzerinde yapılan taze dayanım deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Taze haldeki dayanım sonuçları.

Numune Kodu	Taze Haldeki Dayanım (kPa)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	-
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	-
3/25/10/1.0/2.4/0	-
4/50/50/1.0/2.4/0	2,7
5/100/200/1.0/2.4/0	3,1
6/100/200/1.0/1.8/0	3,4
7/100/200/0.75/1.8/0	3,0
8/100/200/0.45/1.2/0	3,7
9/100/200/0.75/1.2/0	4,3
10/100/200/0.75/1.2/1.0	-
11/100/200/0.75/2.4/0	3,6
12/100/200/1.25/1.8/0	4,3
13/100/200/1.50/1.8/0	4,2
14/100/200/0.75/1.2/0.5	3,6

4.1.2 Şekil stabilite faktörleri

Boru numuneler üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin, bölüm 3.4.2’ de ayrıntılı olarak açıklanan hesap yönteminde kullanılması sonucunda elde edilen ŞSF değerleri x (yatay) ve y (düşey) yönleri için Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Çizelgede verilen değerler 10 numunede yapılan deney sonuçlarının ortalamasıdır.

Çizelge 4.2 : Şekil stabilite faktörleri.

Numune Kodu	b_{min}	b_{max}	b_{son}	h_{son}	X doğrultusu Ş.S.F	Y doğrultusu Ş.S.F
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	*	99,94	99,94	46,74	0,13	46,74
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	23,90	66,00	23,90	68,18	47,80	68,18
3/25/10/1.0/2.4/0	22,36	75,40	22,36	86,96	44,72	86,96
4/50/50/1.0/2.4/0	*	58,17	58,17	91,94	83,66	91,94
5/100/200/1.0/2.4/0	43,73	55,62	43,73	95,74	87,47	95,74
6/100/200/1.0/1.8/0	45,70	53,25	45,70	96,79	91,40	96,79
7/100/200/0.75/1.8/0	*	56,09	56,09	96,31	87,82	96,31
8/100/200/0.45/1.2/0	44,12	54,88	44,12	97,47	88,24	97,47
9/100/200/0.75/1.2/0	46,80	52,45	46,80	97,74	93,60	97,74
10/100/200/0.75/1.2/1.0	44,20	55,10	44,20	94,46	88,40	94,46
11/100/200/0.75/2.4/0	37,66	55,35	37,66	94,20	75,32	94,20
12/100/200/1.25/1.8/0	46,09	53,20	46,09	96,96	92,18	96,96
13/100/200/1.50/1.8/0	46,88	53,23	53,23	98,03	93,53	98,03
14/100/200/0.75/1.2/0.5	38,70	**	38,70	92,66	77,40	92,66

(*) Bu numunelerde x yönündeki deformasyon b_{max} doğrultusunda olduğundan, b_{min} ölçülmemiştir.

(**) Bu numunede x yönündeki deformasyon b_{min} doğrultusunda olduğundan, b_{max} ölçülmemiştir.

4.2 Sertleşmiş Haldeki Deney Sonuçları

4.2.1 Birim ağırlık deneyi sonuçları

Dikdörtgen kesitli uzun boru numunelerin ölçülen ağırlıklarının, boyutlarının ölçülmesinin sonucunda bulunan numune hacimlerine bölünmesiyle elde edilen numune birim ağırlıkları Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Birim ağırlık deneyi sonuçları.

Numune	Kesit ölçüleri				Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)
	Dış Ölçü		İç Ölçü				
	b (mm)	h (mm)	b (mm)	h (mm)			
5/100/200/1.0/2.4/0	54,7	94,0	30,4	72,6	995	1455	1,46
6/100/200/1.0/1.8/0	51,9	95,6	29,5	74,8	2422	3470	1,43
7/100/200/0.75/1.8/0	53,5	96,0	31,6	75,9	1548	2167	1,40
8/100/200/0.45/1.2/0	52,5	97,8	29,4	76,8	2409	3500	1,45
9/100/200/0.75/1.2/0	54,0	99,0	29,4	78,0	2564	3675	1,43
10/100/200/0.75/1.2/1.0	55,5	96,0	32,7	76,3	2709	3955	1,46
11/100/200/0.75/2.4/0	56,5	91,1	32,1	71,3	2443	3539	1,45
12/100/200/1.25/1.8/0	52,1	95,3	30,6	75,0	2395	3340	1,39
13/100/200/1.50/1.8/0	51,2	94,4	30,3	74,7	1355	1934	1,43
14/100/200/0.75/1.2/0.5	56,1	91,3	34,2	71,1	2587	3659	1,41

4.2.2 Eğilme deneyi sonuçları

28 günlük, 40mm x 40mm x160mm boyutlarındaki prizma ve kalınlığı 10mm, genişliği 70mm ve uzunluğu 400mm olan levha numuneler üzerinde yapılan üç noktalı eğilme deneyi sonucunda elde edilen eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri; levhalar için Çizelge 4.4’ te, prizmalar için Çizelge 4.5’ te verilmiştir. Eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri için verilen değerler, 4 numune sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

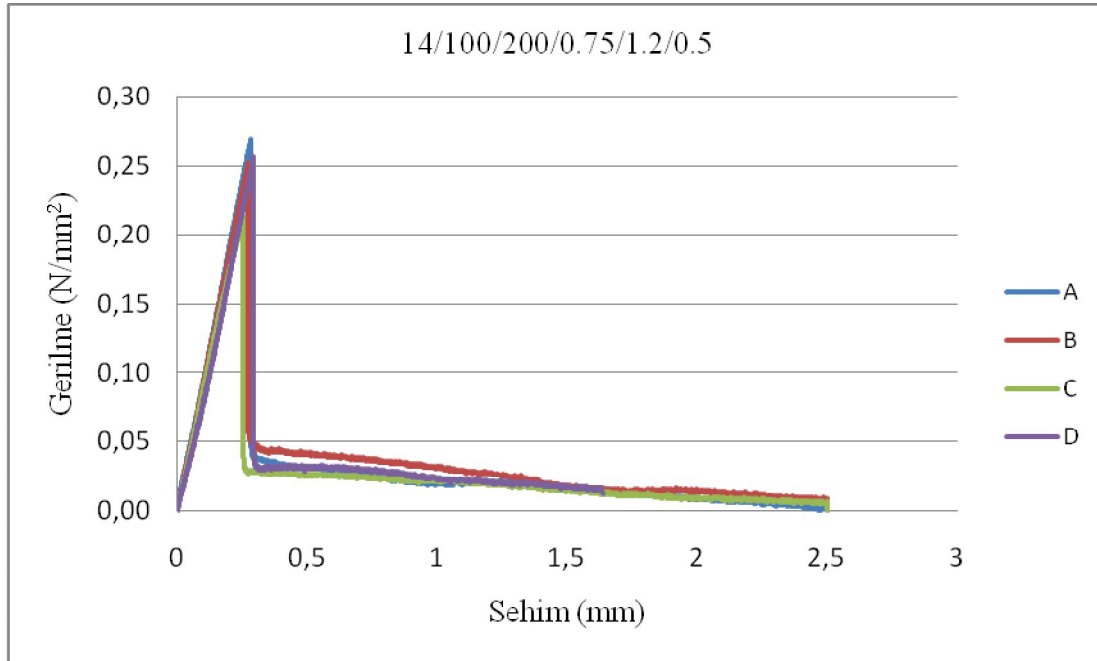
Çizelge 4.4 : Levhalarda eğilme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)	Kırılma Enerjileri (joule/m ²)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	2,7	50,4
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	5,3	119,0
3/25/10/1.0/2.4/0	8,4	175,5
4/50/50/1.0/2.4/0	5,4	33,9
5/100/200/1.0/2.4/0	4,1	31,2
6/100/200/1.0/1.8/0	5,0	42,2
7/100/200/0.75/1.8/0	3,2	19,9
8/100/200/0.45/1.2/0	3,5	19,5
9/100/200/0.75/1.2/0	4,5	27,1
10/100/200/0.75/1.2/1.0	6,4	309,6
11/100/200/0.75/2.4/0	4,8	31,0
12/100/200/1.25/1.8/0	4,6	41,0
13/100/200/1.50/1.8/0	5,4	56,0
14/100/200/0.75/1.2/0.5	4,5	74,8

Çizelge 4.5 : Prizmalarda eğilme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Eğilme Dayanımları (MPa)	Kırılma Enerjileri (joule/m ²)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	6,2	169,7
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	7,0	244,6
3/25/10/1.0/2.4/0	8,5	322,6
4/50/50/1.0/2.4/0	6,4	209,0
5/100/200/1.0/2.4/0	5,5	184,2
6/100/200/1.0/1.8/0	5,9	242,5
7/100/200/0.75/1.8/0	6,1	209,6
8/100/200/0.45/1.2/0	4,5	77,7
9/100/200/0.75/1.2/0	4,2	117,5
10/100/200/0.75/1.2/1.0	6,4	330,7
11/100/200/0.75/2.4/0	5,8	212,9
12/100/200/1.25/1.8/0	5,5	200,7
13/100/200/1.50/1.8/0	6,8	309,9
14/100/200/0.75/1.2/0.5	6,0	254,4

Eğilme deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-sehim grafiklerine örnek olarak 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu levha numunelerinin grafiği Şekil 4.1’ de verilmiştir. Diğer levha numunelerine ait gerilme-sehim grafikleri EK.A’ da, prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafikleri ise EK.B’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.

4.2.3 Basınç deneyi sonuçları

Prizma numunelerde yapılan eğilme deneyi sonucunda elde edilen parçalar üzerinde uygulanan basınç deneylerinin sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Basınç deneyi sonuçları.

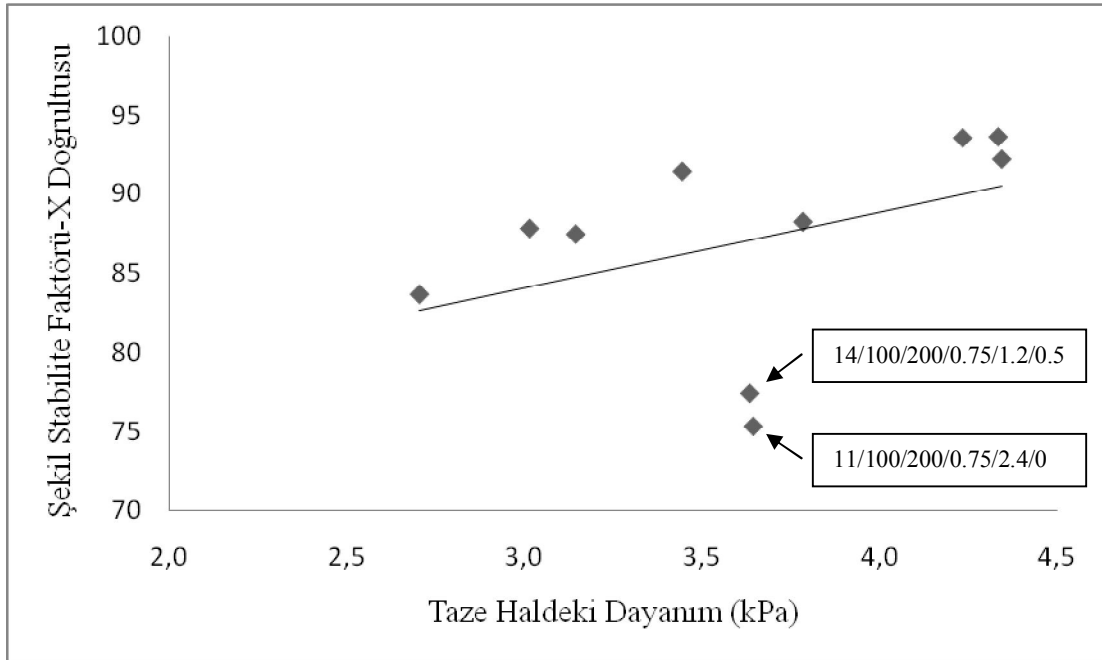
Numune Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	25,2
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	27,3
3/25/10/1.0/2.4/0	24,0
4/50/50/1.0/2.4/0	21,5
5/100/200/1.0/2.4/0	14,5
6/100/200/1.0/1.8/0	11,5
7/100/200/0.75/1.8/0	12,7
8/100/200/0.45/1.2/0	15,4
9/100/200/0.75/1.2/0	15,0
10/100/200/0.75/1.2/1.0	15,3
11/100/200/0.75/2.4/0	14,4
12/100/200/1.25/1.8/0	13,7
13/100/200/1.50/1.8/0	15,6
14/100/200/0.75/1.2/0.5	16,1

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

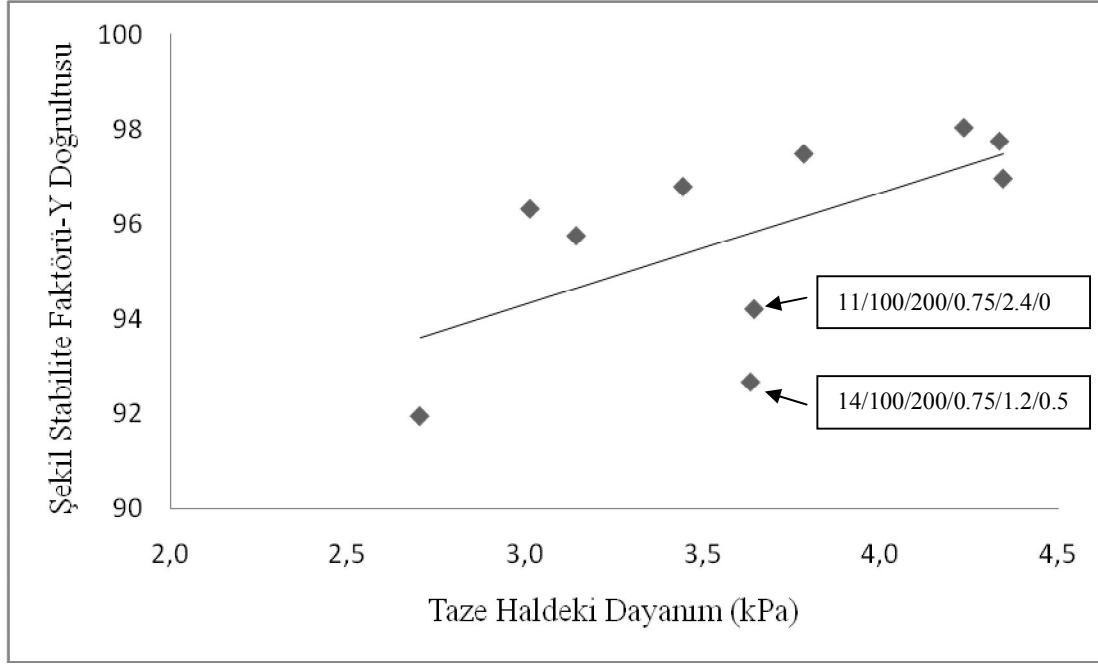
5.1 Taze Haldeki Malzeme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Taze haldeki malzeme üzerinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen verilere göre, ŞSF ile malzemenin taze haldeki dayanımı arasında lineer bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Taze haldeki dayanım arttıkça x ve y doğrultusundaki ŞSF’ de artmaktadır. Taze haldeki dayanımın x doğrultusundaki ŞSF ile arasındaki ilişki Şekil 5.1’ de, y doğrultusundaki ŞSF ile arasındaki ilişki Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Bu grafiklerde 11/100/200/0.75/2.4/0 ve 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu numuneleri genel eğilimin dışında davranış göstermektedir.

Taze haldeki dayanım, şekil stabilitesi bakımından başarılı bir gösterge olabilir. Bu konu hakkında daha detaylı araştırmalar yapılarak karışımların şekil stabilitesi açısından değerlendirebilmek için basit ve kullanışlı bir yöntem olarak kullanılabilir.



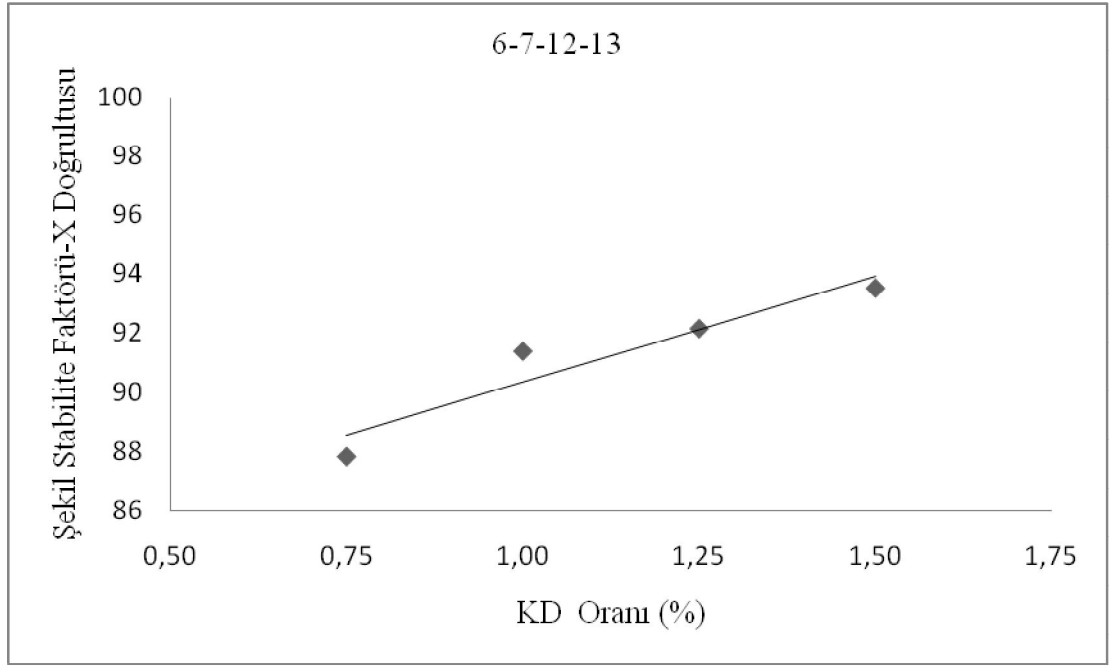
Şekil 5.1 : Taze haldeki dayanım ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki.



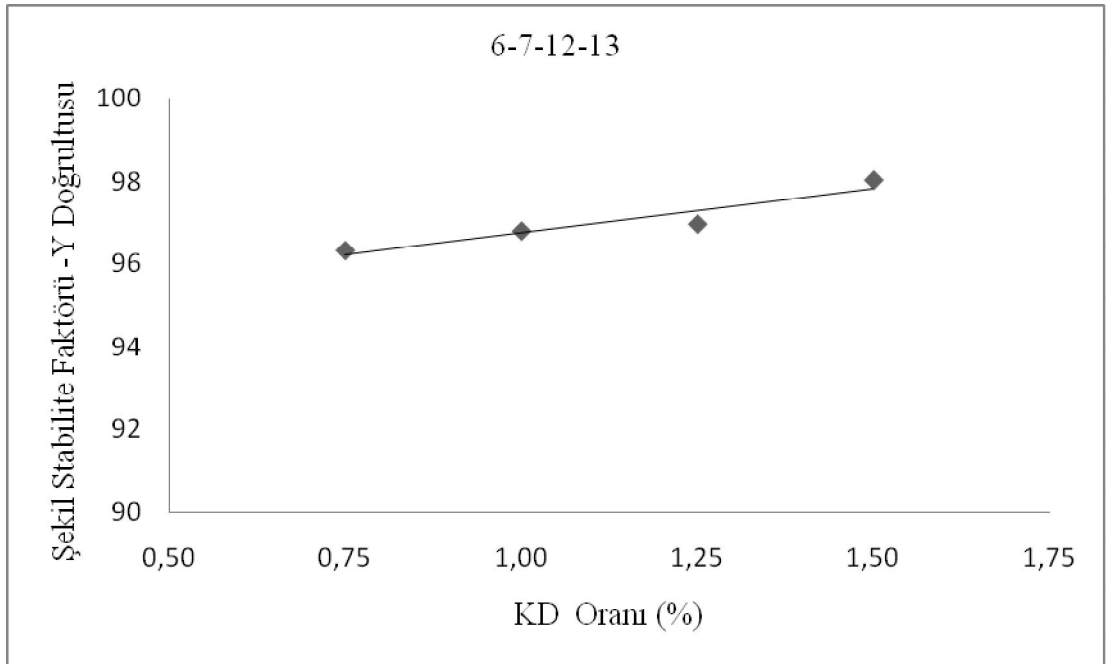
Şekil 5.2 : Taze haldeki dayanım ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki.

KD, SA ve PP lif oranlarının şekil stabilite faktörüne olan etkileri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

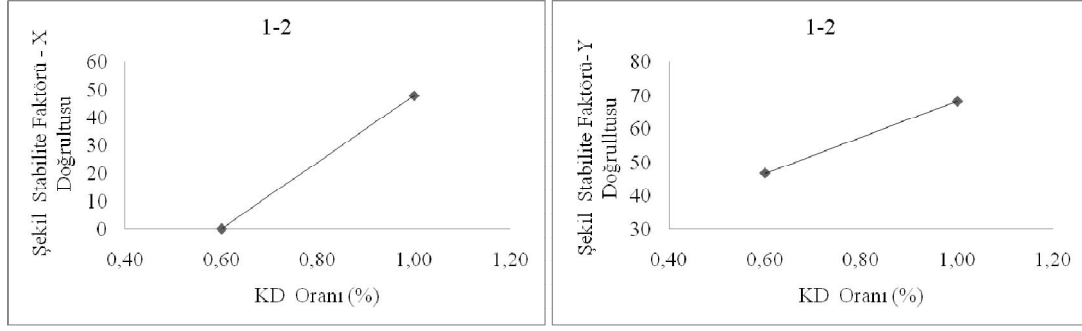
Farklı oranlarda KD içeren 6,7,12 ve 13 numuneleri için, x doğrultusundaki ŞSF' nün KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.3' te, y doğrultusundaki ŞSF' nün KD oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.4'te verilmektedir. KD oranı arttıkça ŞSF'nün arttığı, x doğrultusundaki stabilite faktöründeki artışın y doğrultusundaki stabilite faktöründeki artışa göre daha belirgin olduğu belirlenmiştir. Aynı ilişki, karışım oranları farklı olan 1, 2 numuneleri için Şekil 5.5' te, 8, 9 numuneleri için ise Şekil 5.6' da verilmiştir. Bu grafiklerde de Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' te elde edilen eğilime benzer bir durum söz konusudur. Yani KD oranı arttıkça ŞSF artmaktadır. Bu sonuçla, farklı karışım oranlarına sahip numunelerde de KD oranı arttıkça ŞSF' nün arttığı görüşüne varılabilir.



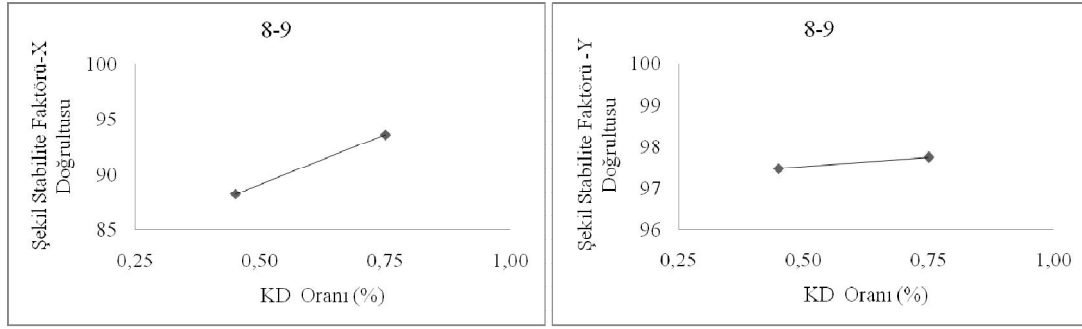
Şekil 5.3 : KD oranı ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).



Şekil 5.4 : KD oranı ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).

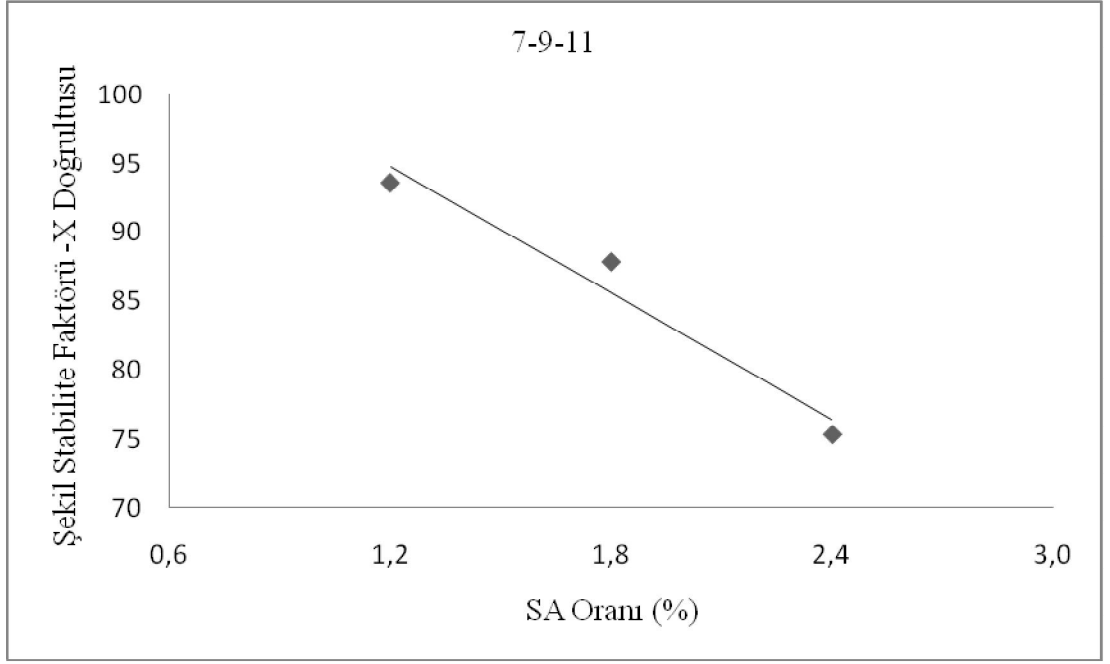


Şekil 5.5 : KD oranı ve x ve y doğrultularındaki ŞSF arasındaki ilişki (1, 2 numuneleri).

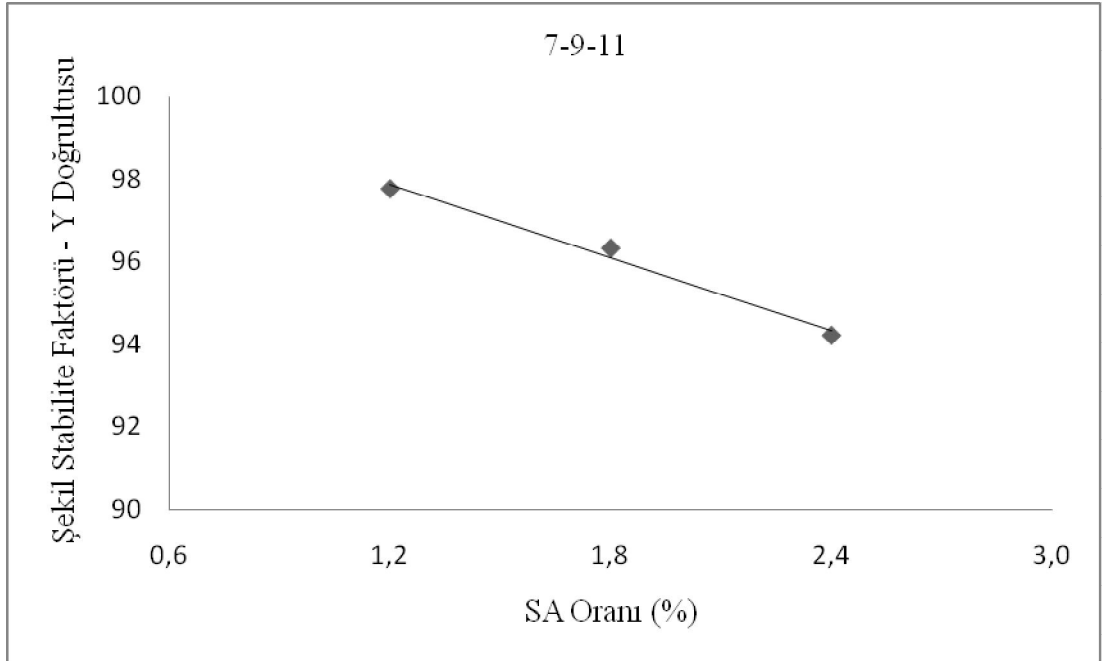


Şekil 5.6 : KD oranı ve x ve y doğrultularındaki ŞSF arasındaki ilişki (7, 8 numuneleri).

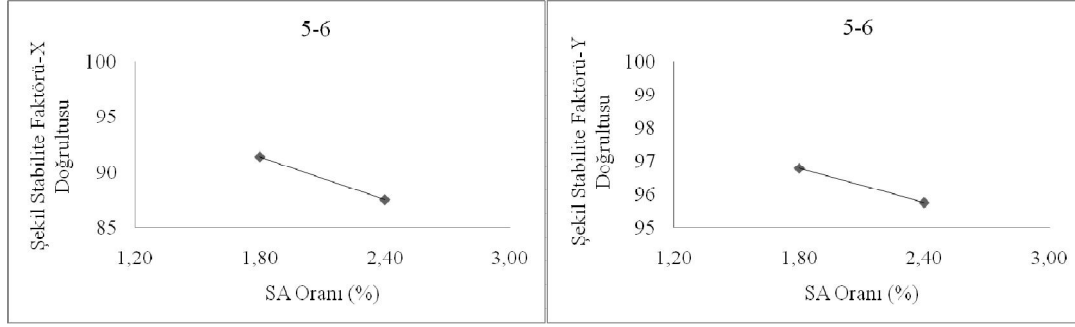
Farklı oranlarda SA içeren 7,9 ve 11 numuneleri için, x doğrultusundaki ŞSF' nün SA oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.7' te, y doğrultusundaki ŞSF' nün SA oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.8'te verilmektedir. SA oranı arttıkça ŞSF' nün azaldığı, x doğrultusundaki stabilite faktöründeki azalmanın y doğrultusundaki stabilite faktöründeki azalmaya göre daha belirgin olduğu belirlenmiştir. ŞSF' ündeki bu azalma SA katkısının çimento tanecikleri üzerinde meydana getirdiği itme etkisinden kaynaklanmaktadır. Aynı ilişki, karışım oranları farklı olan 5, 6 numuneleri için Şekil 5.9' da verilmiştir. Bu grafiklerde de Şekil 5.7 ve Şekil 5.8' de elde edilen eğilime benzer bir durum söz konusudur. Yani SA oranı arttıkça ŞSF azalmaktadır. Bu sonuçla, farklı karışım oranlarına sahip numunelerde de SA oranı arttıkça ŞSF' nün azaldığı görüşüne varılabilir.



Şekil 5.7 : SA oranı ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri).

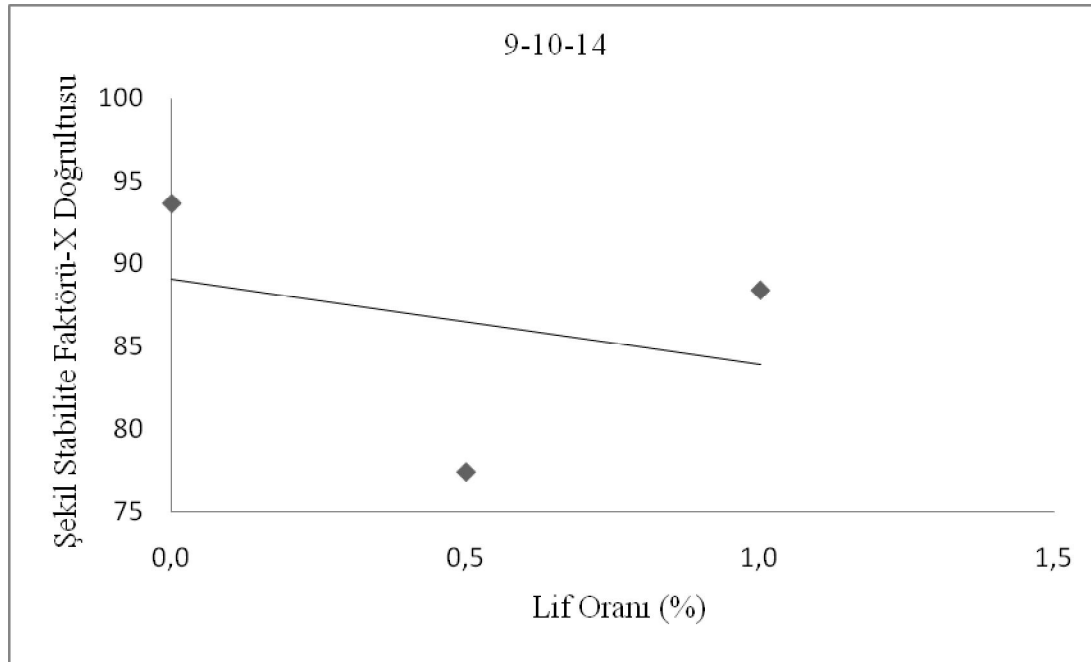


Şekil 5.8 : SA oranı ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri).

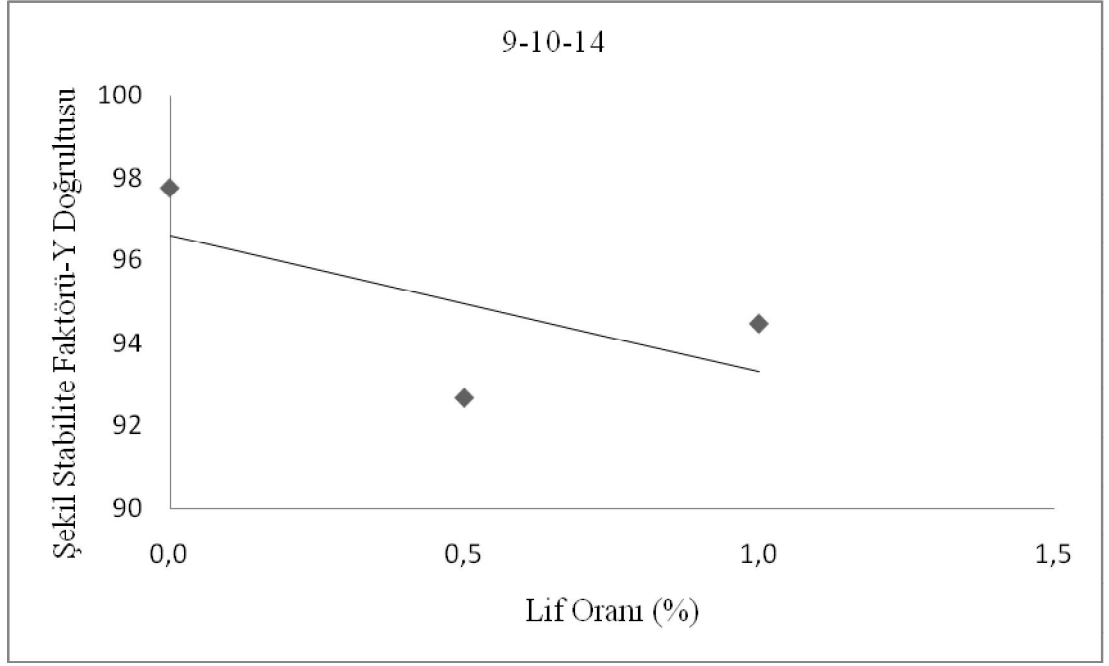


Şekil 5.9 : SA oranı ve x ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (5, 6 numuneleri).

Farklı oranlarda polipropilen lif içeren 10 ve 14 numuneleri ve lifsiz 9 numunesi için, x doğrultusundaki ŞSF' nün lif oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.10' da, y doğrultusundaki ŞSF' nün lif oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.11' de verilmektedir. Karışımlarda PP lif kullanılmasının şekil stabilitesini azalttığı belirlenmiştir. Ancak grafikler sadece 3 nokta içerdiği için bu şekilde net bir görüşe varmak doğru değildir. Daha genel yargılara varabilmek için, %0 ve %1 lif oranı aralığında daha fazla sayıda lifli numune üretmek ve ŞSF değerlerini elde ederek sonuçları değerlendirmek gerekir.



Şekil 5.10 : Polipropilen lif oranı ve x doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri).

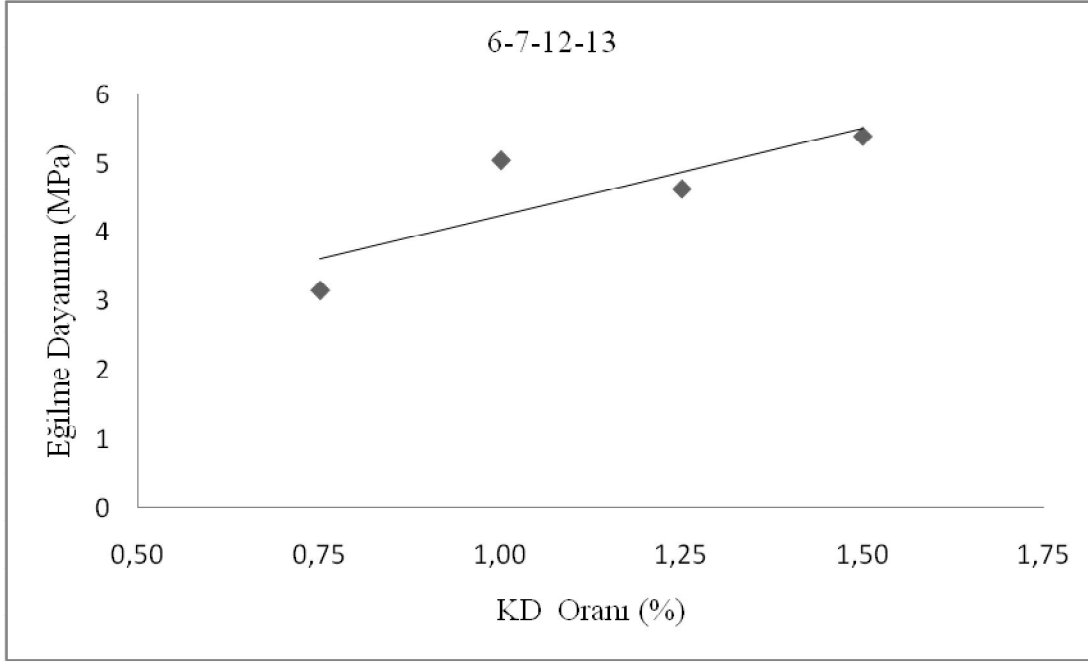


Şekil 5.11 : Polipropilen lif oranı ve y doğrultusundaki ŞSF arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri).

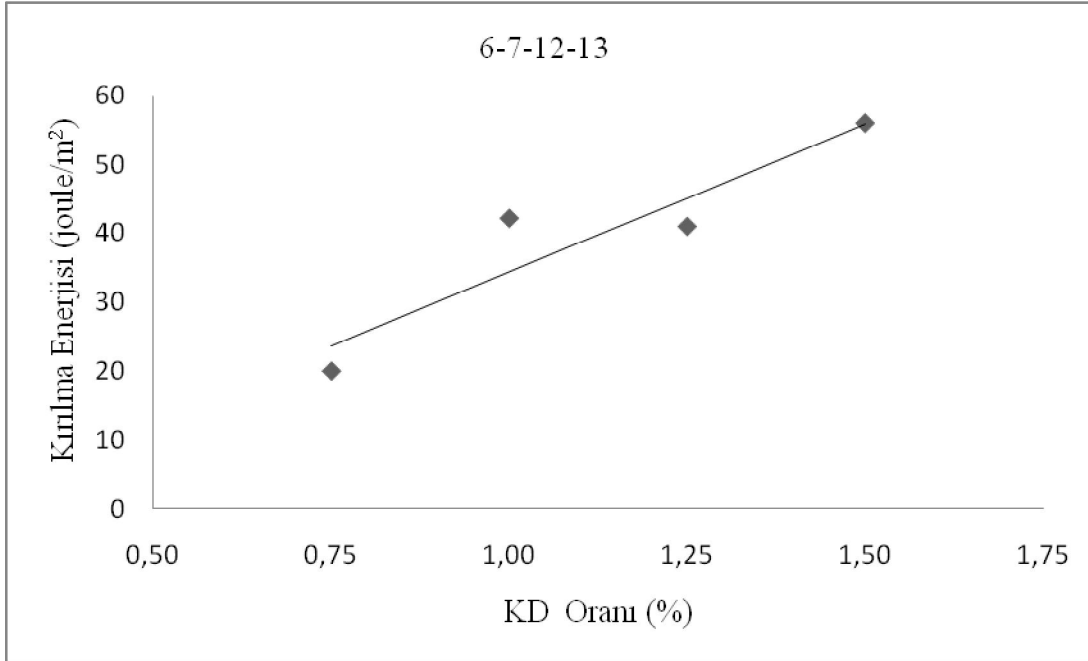
5.2 Sertleşmiş Haldeki Malzeme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

KD, SA ve PP lif oranlarının eğilme dayanımlarına, kırılma enerjilerine ve basınç dayanımlarına olan etkisi incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

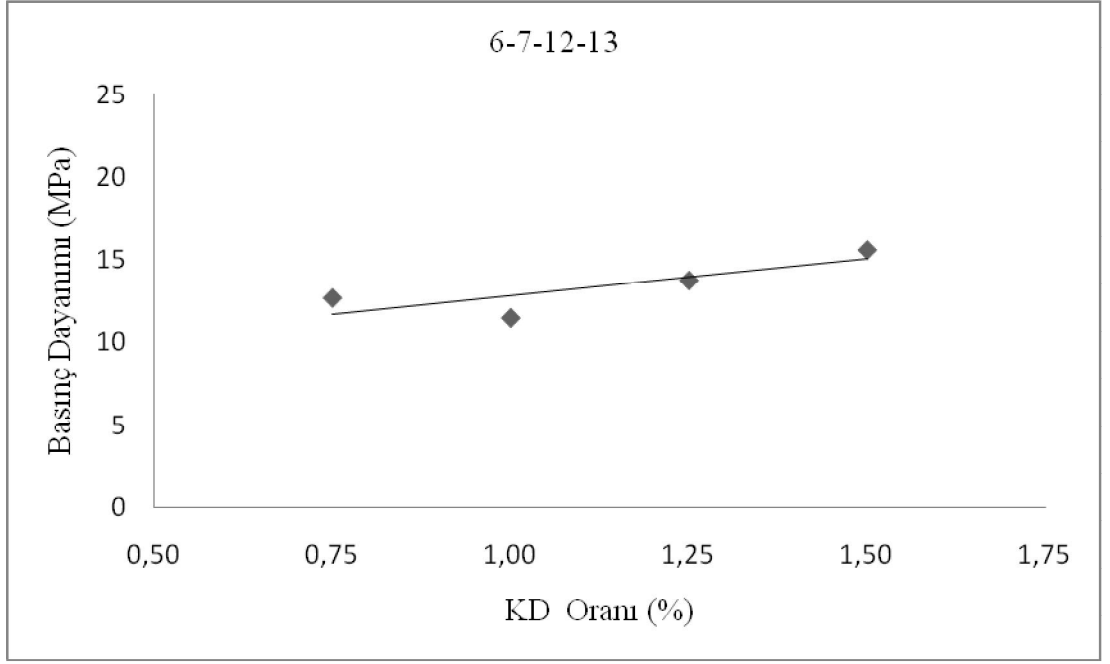
Farklı oranlarda KD içeren 6,7,12 ve 13 numuneleri için, levha eğilme dayanımlarının KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.12’ de, levha kırılma enerjilerinin KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.13’ te, basınç dayanımlarının KD oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.14’ te verilmektedir. KD oranı arttıkça eğilme dayanımının, kırılma enerjisinin arttığı ve basınç dayanımlarında ise önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Aynı ilişki, karışım oranları farklı olan 1, 2 numuneleri için Şekil 5.15’ te, 8, 9 numuneleri için ise Şekil 5.16’ da verilmiştir. Bu grafiklerde de Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’ te elde edilen eğilime benzer bir durum söz konusudur. Yani KD oranı arttıkça eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi artmakta, basınç dayanımı değişmemektedir. Bu sonuçla, farklı karışım oranlarına sahip numunelerde de KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımının değişmediği görüşüne varılabilir.



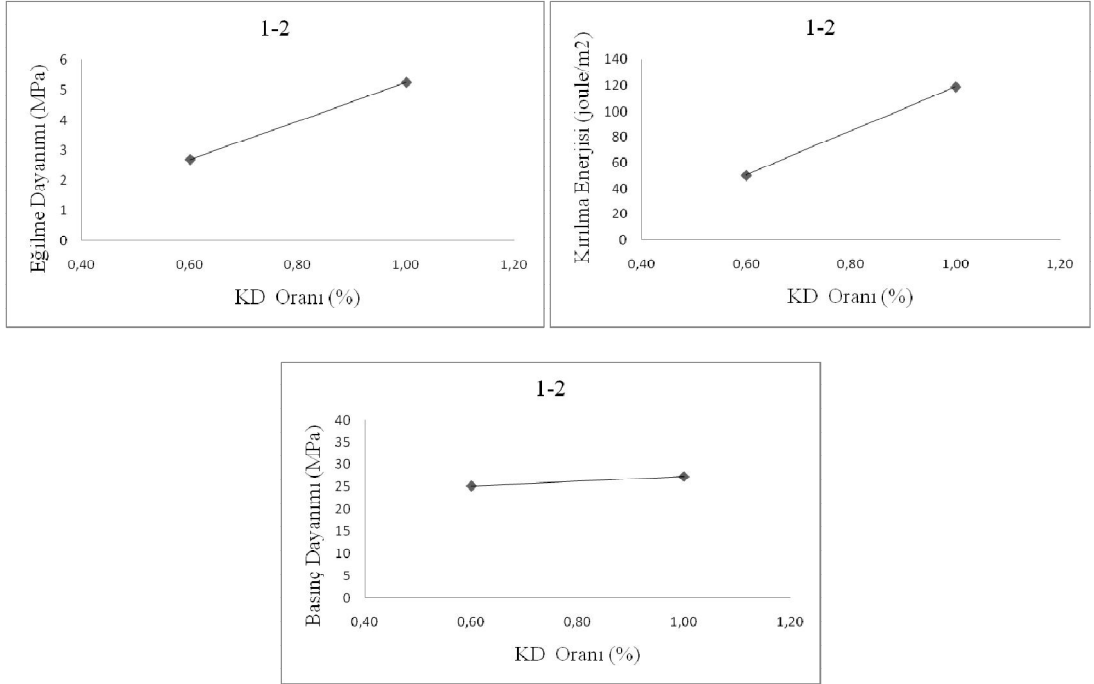
Şekil 5.12 : KD oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).



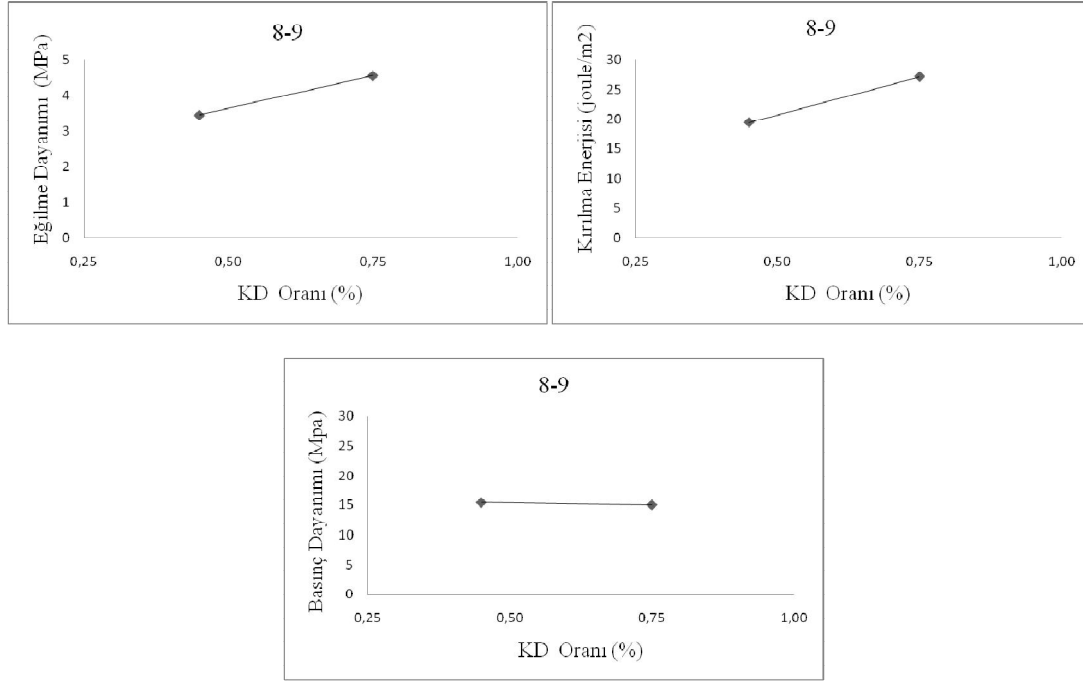
Şekil 5.13 : KD oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).



Şekil 5.14 : KD oranı ve basınç dayanımını arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).

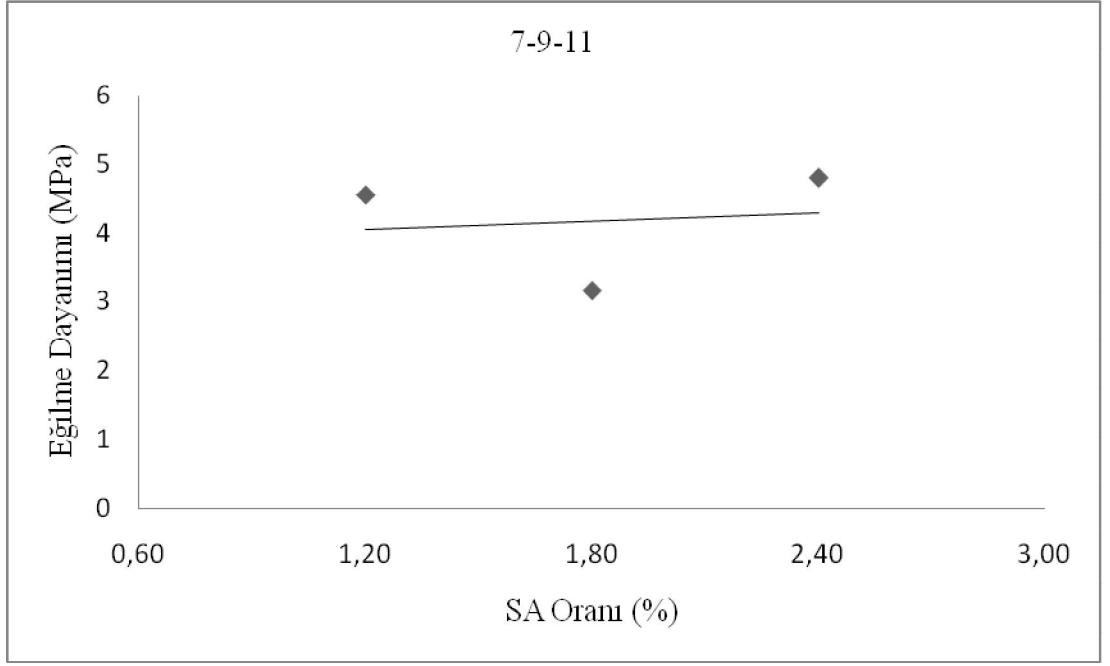


Şekil 5.15 : KD oranı ve eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (1, 2 numuneleri).

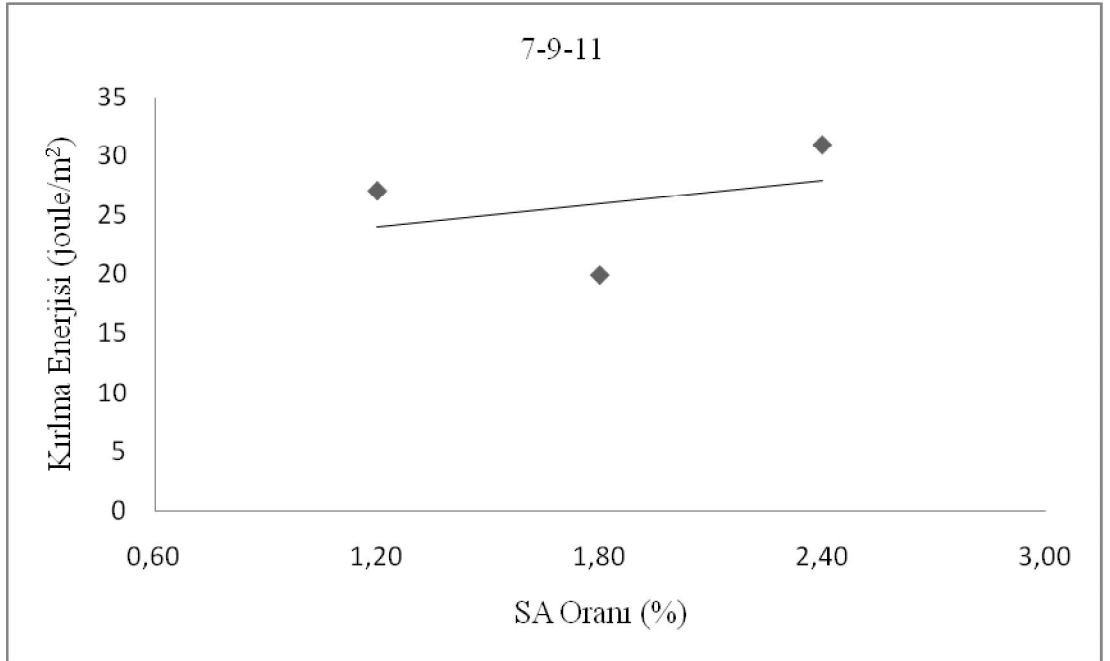


Şekil 5.16 : KD oranı ve eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (8, 9 numuneleri).

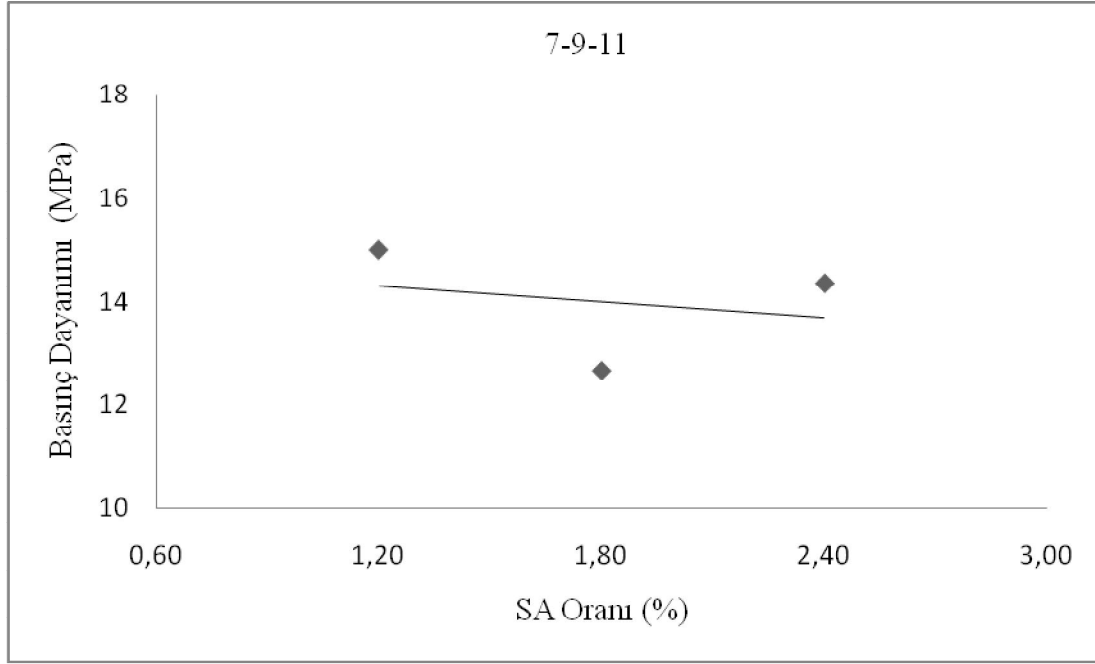
Farklı oranlarda SA içeren 7,9 ve 11 numuneleri için, levha eğilme dayanımlarının SA oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.17’ de, levha kırılma enerjilerinin SA oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.18’de, basınç dayanımlarının SA oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.19’da verilmektedir. Diğer bileşenleri aynı olan sadece SA oranının değişken olarak tutulduğu numunelerde, SA kullanım oranının artışıyla, eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve basınç dayanımı değerlerinde belirgin bir değişim belirlenememiştir. Numunelerde su/ince malzeme oranı ve diğer bileşenlerin eşit olması sebebiyle bu sonuçlar beklenebilir ancak deneylerin daha fazla numuneyle tekrarlanması sonucun güvenilirliğini arttıracaktır.



Şekil 5.17 : SA oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri).

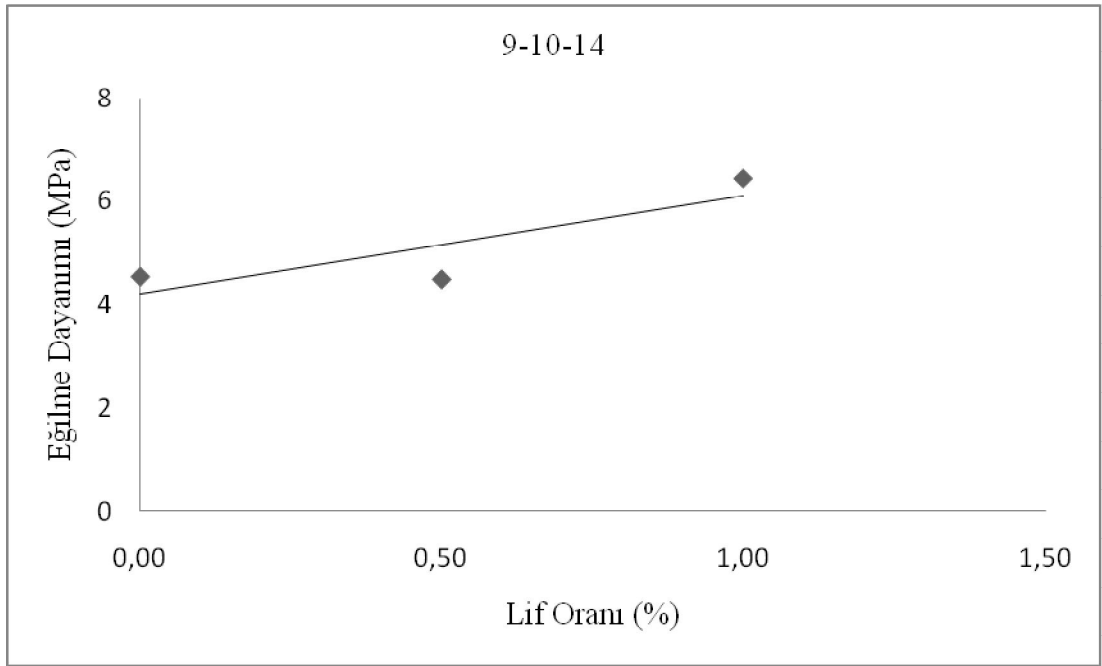


Şekil 5.18 : SA oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri).

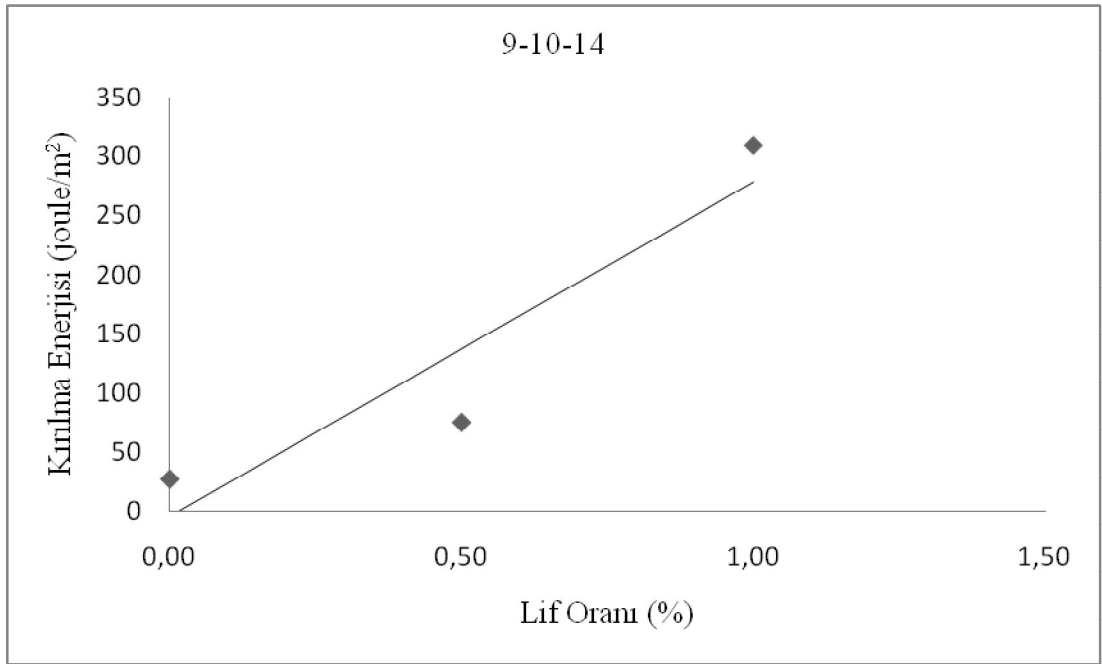


Şekil 5.19 : SA oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (7, 9, 11 numuneleri).

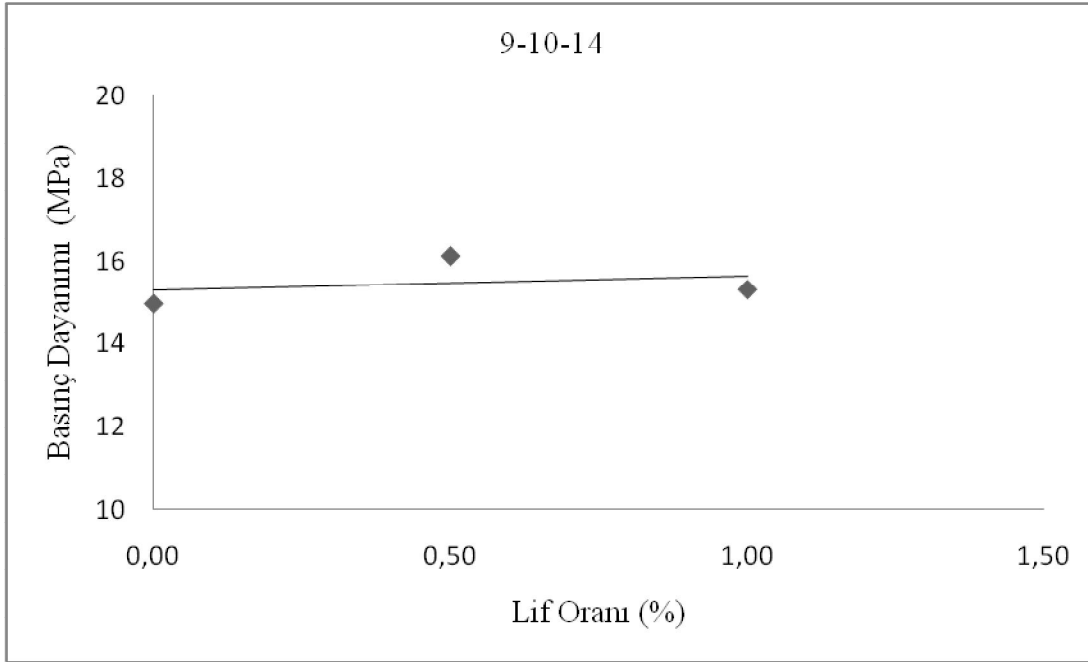
Farklı oranlarda PP lif içeren 10 ve 14 numuneleri ve lifsiz 9 numunesi için, levha eğilme dayanımlarının lif oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.20’ de, kırılma enerjilerinin lif oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.21’ de, basınç dayanımlarının lif oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.22’ de verilmektedir. Lif oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımlarında ise önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Geleneksel lifli betonda PP lif kullanımı ile eğilme dayanımı ve tokluğun arttığı daha önceki çalışmalarda da gösterilmiştir [30].



Şekil 5.20 : PP lif oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri).



Şekil 5.21 : PP lif oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri).



Şekil 5.22 : PP lif oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (9, 10, 14 numuneleri).

Çalışma sonucunda elde edilen veriler birarada değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır. Taze haldeki dayanımları yüksek olan karışımlardan üretilen numunelerin şekil stabilite faktörlerinin de yüksek olduğu, taze haldeki dayanım arttıkça x ve y doğrultusundaki şekil stabilite faktörlerinin arttığı belirlenmiştir. Diğer bileşenler sabit tutulup sadece KD oranının arttırıldığı durumlarda ŞSF' nün arttığı, x doğrultusundaki ŞSF' ndeki artışın y doğrultusundaki artışa göre daha belirgin olduğu, sadece SA oranının arttırıldığı durumlarda ŞSF' nün azaldığı, x doğrultusundaki ŞSF' ndeki azalmanın y doğrultusundaki azalmaya göre daha belirgin olduğu, sadece PP lif oranının arttırıldığı durumlarda ise ŞSF' nün azaldığı belirlenmiştir. KD, SA ve PP lif oranlarının numunelerin ŞSF üzerindeki etkisi incelendikten sonra, numunelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı, SA oranı arttıkça eğilme dayanımında, kırılma enerjisinde ve basınç dayanımında belirgin bir değişim olmadığı, PP lif oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

ŞSF' nün en büyük olduğu 9/100/200/0.75/1.2/0 ve 13/100/200/1.50/1.8/0 numunelerinde ŞSF' nün yüksek olmasında SA oranının düşük olmasının ve lif içermemesinin, KD oranının düşük olmasının ve lif içermemesinin etkisi

bulunmaktadır. 100 gr imento ve 100 gr silis kumu içeren karışım lar içinde en yüksek eğ ilme dayanım ına ve kırılma enejisine sahip olan 10/100/200/0.75/1.2/1.0 numunesinin en yüksek oranda lif içermesi nedeniyle en yüksek eğ ilme dayanım ına ve kırılma enerjsine sahiptir.

6. GENEL SONUÇLAR

Ekstrüzyon tekniği ile üretimi hedeflenen genişliği 50mm, yüksekliği 100mm ve duvar kalınlığı 10mm olan dikdörtgen kesitli boru numuneler, herhangi bir iç kalıp kullanılmaksızın başarıyla üretilmiştir. Yapılan deneylerde karışımları taze haldeki dayanımları, şekil stabilite faktörleri, birim ağırlıkları, eğilme dayanımları, kırılma enerjileri ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Karışımların taze haldeki dayanımları ile boru numunelerin şekil stabilite faktörleri arasındaki ilişki ve KD, SA ve PP lif oranlarının şekil stabilite faktörleri, eğilme dayanımları, kırılma enerjileri ve basınç dayanımları üzerindeki etkileri incelenmiş, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Taze haldeki dayanım arttıkça x ve y doğrultusundaki şekil stabilite faktörleri artmaktadır.
- KD oranı arttıkça şekil stabilite faktörünün arttığı, x doğrultusundaki stabilite faktöründeki artışın y doğrultusundaki stabilite faktöründeki artışa göre daha belirgin olduğu belirlenmiştir.
- SA oranı arttıkça şekil stabilite faktörünün azaldığı, x doğrultusundaki stabilite faktöründeki azalmanın y doğrultusundaki stabilite faktöründeki azalmaya göre daha belirgin olduğu belirlenmiştir.
- Karışımlarda PP lif kullanılmasının şekil stabilitesini azalttığı belirlenmiştir.
- KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı belirlenmiştir.
- SA oranı arttıkça eğilme dayanımında, kırılma enerjisinde ve basınç dayanımında belirgin bir değişim olmadığı belirlenmiştir.
- PP lif oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımlarında ise önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir.
- En yüksek eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi lifli numunelerde elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

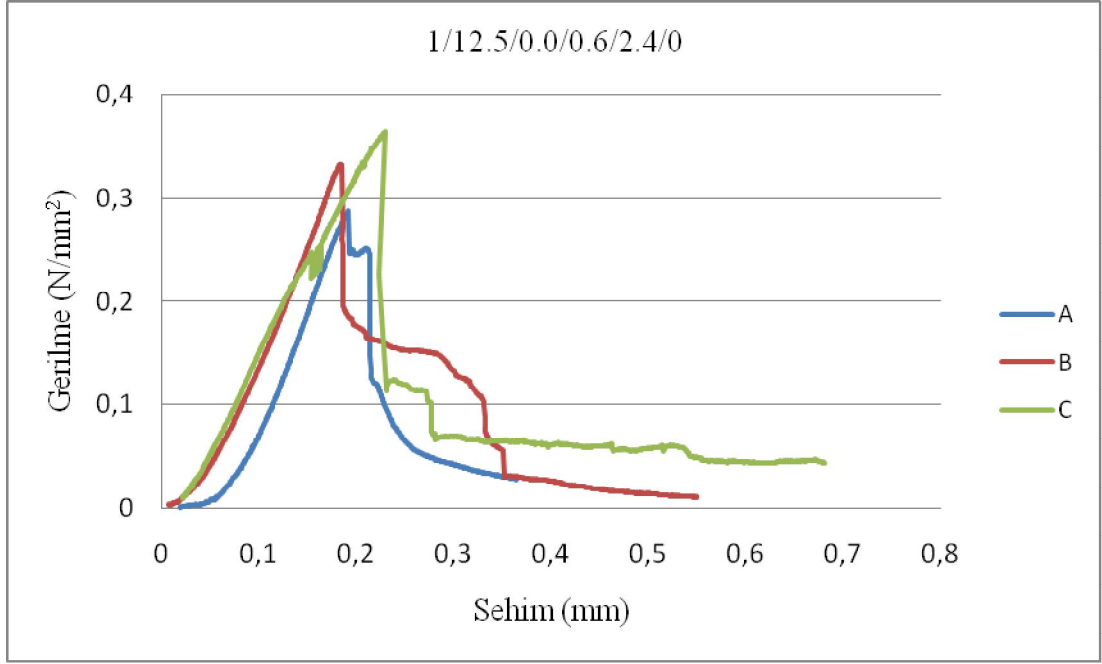
- [1] **Akman, M. S.**, 1987. *Yapı Malzemeleri*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye.
- [2] **Akkaya, Y.**, 2000. Microstructural characterization of high performance fiber reinforced cement composites, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [3] **Hannant, D. J. and Magnani, S.**, 1994. A Comparison of Severe of Hailstorm Damage on Two Types of Fiber-Reinforced Cement Roofing Sheets, *Composites*, p243.
- [4] **Shao, Y.**, 1995. Characterization of high performance fiber-reinforced cement composites, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [5] **Lankard, D. R.**, 1984. Slurry Infiltration Fiber Concrete (SIFCON), *Concrete International*, 6(12), pp 44-47.
- [6] **Grimmer, F. J. and Ali, M. A.**, 1969. The Strengths of Cements Reinforced with Glass Fiber, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 21, No. 66, pp 22-30.
- [7] **Daniel, J. I.**, 1993. Thin Fiber Reinforced Cement Products, *Presentation at ACBM Center Annual Meeting*.
- [8] **Aldea, C., Marikunte S. and Shah S. P.**, 1998. Extruded Fiber Reinforced Cement Pressure Pipe, *National Science Foundation for Science and Technology of Advanced Cement-Based Materials*, 8 No. 2, pp 47-55, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA.
- [9] **Tadmor, Z. and Klein I.**, 1978. Engineering Principles of Plasticating Extrusion, Kleiger Publishing Co., Huntington, NY.
- [10] **Tadmor, Z. and Gogos, C.**, 1979. Principles of Polymer, Wiley, NY.
- [11] **Harper, J. M.**, 1981. Extrusion of Foods, I, CRC Press, Boca Raton, FL.
- [12] **Mu, B.**, 1999. Short fiber-reinforced cementitious composites manufactured by extrusion technology, *PhD Thesis*, Hong Kong University, Hong Kong.
- [13] **Kuder, K. G.**, 2005. Ekstruded fiber-reinforced cementitious composites for use in residential construction, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [14] **Shao, Y., Marikunte, S. and Shah, S. P.**, 1995. Ekstruded fiber-reinforced composites, *Concrete Int.*, 17(4), 48–52.
- [15] **Shao, Y. and Shah, S. P.**, 1996. High performance fiber-cement composites by extrusion processing, Materials for the new millennium, K. P. Chong, ed., *4th Mat. Engrg. Conf.*, Washington, D.C., 2, 251-260.

- [16] **Stang, H. and Perdersen, C.**, 1996. HPFRCC – Extruded Pipes, *Fourth Materials Engineering Conference*, ASCE, Washington D.C., USA, 261-269.
- [17] **Mu, B., Li, Z. and Peng, J.**, 2000. Short fiber-reinforced cementitious extruded plates with high percentages of slag and different fibers, *Cement and Concrete Research* 30 no.8, 1277-1282.
- [18] **Mori, A. and Baba, A.**, 1994. A method for predicting the operating characteristics during extrusion molding process for cementitious materials, *Proc. Int. Symp., Brittle Matrix Composites 4*, A.M Brandt, V.C. Li and I. H. Marshall EDS, Warsaw, 492-501.
- [19] **Mu, B., Li, Z. and Peng, J.**, 1999. Cementitious composite manufactured by extrusion technique, *Cement and Concrete Research* 29 (1999):237-240.
- [20] **Peled, A., Akkaya, Y. and Shah, S. P.**, 1999. Extruded fiber-reinforced cement composites containing fly ash, *13th International Symposium on Management and Use of Coal Combustion Products*.
- [21] **Peled, A., Cyr, M. and Shah, S. P.**, 2000. High content of fly ash (class f) in extruded cementitious composites, *Extruded fiber-reinforced cement composites*, *ACI Materials Journal* 97 no.5 (2000a):509-517.
- [22] **Takashima, H., Mayagai, K. and Hashida, T.**, 2002. Fracture properties of discontinuous fiber reinforced cementitious composites manufactured by extrusion molding, *Proceedings of JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites*, in press.
- [23] **Srinivasan, R., DeFord, D. and Shah S. P.** 1999. The use of extrusion rheometry in the development of extruded fiber-reinforced cement composites, *Concrete Science and Engineering* 1 (1999):26-36.
- [24] **Akkaya, Y., Picka, J. and Shah, S. P.**, 2000. Spatial distribution of aligned short fibers in cement composites, *Journal of Materials in Civil Engineering* 12 no.3(2000c):271-279.
- [25] **Akkaya, Y., Shah, S. P. and Ankenman, B.**, 2001. Effect of fiber dispersion on multiple cracking of cement composites, *Journal of Engineering Mechanics* 127 no.4 (2001):311-316.
- [26] **Shao, Y., Qui, J. and Shah, S. P.**, 2001. Microstructure of extruded cement-bonded fiberboard, *Cement and Concrete Research* 31 (2001):1153-1161).
- [27] **Qian, X., Zhou, X., Mu, B. and Li, Z.**, 2003. Fiber alignment and property direction dependency of FRC extrudate, *Cement and Concrete Research* 33 (2003):1575-1581.
- [28] **Ferron, R. P. D.**, 2008. Formwork Pressure of Self-Consolidating Concrete: Influence of Flocculation Mechanisms, Structural Rebuilding, Thixotropy and Rheology, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [29] **Moras, S. and Shao, Y.**, 2000. Extruded cement-wood fiberboard with expanded polystyrene beads, *Interneational Inorganic-bonded Wood and Fiber Composite Materials*, Sun Valley, ID, USA, 89-103.

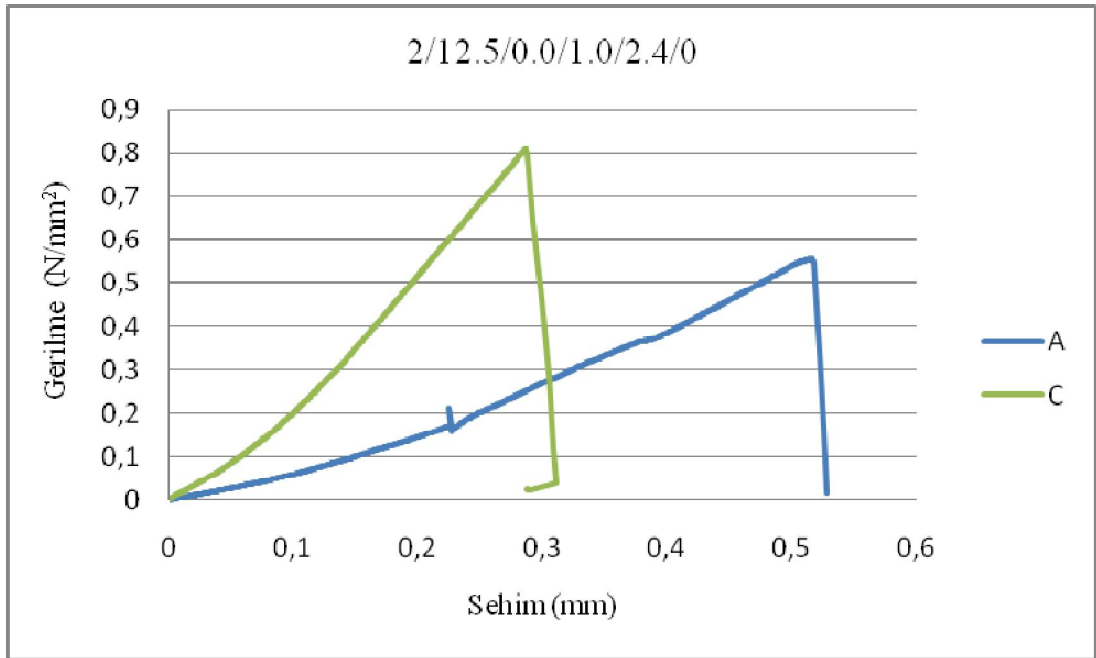
- [30] **Cyr, M.**, 2004. Hybrid-Fiber reinforcement in cementitious composites, *Center for Advanced Cement-Based Materials*, Northwestern University, Evanston.

EKLER

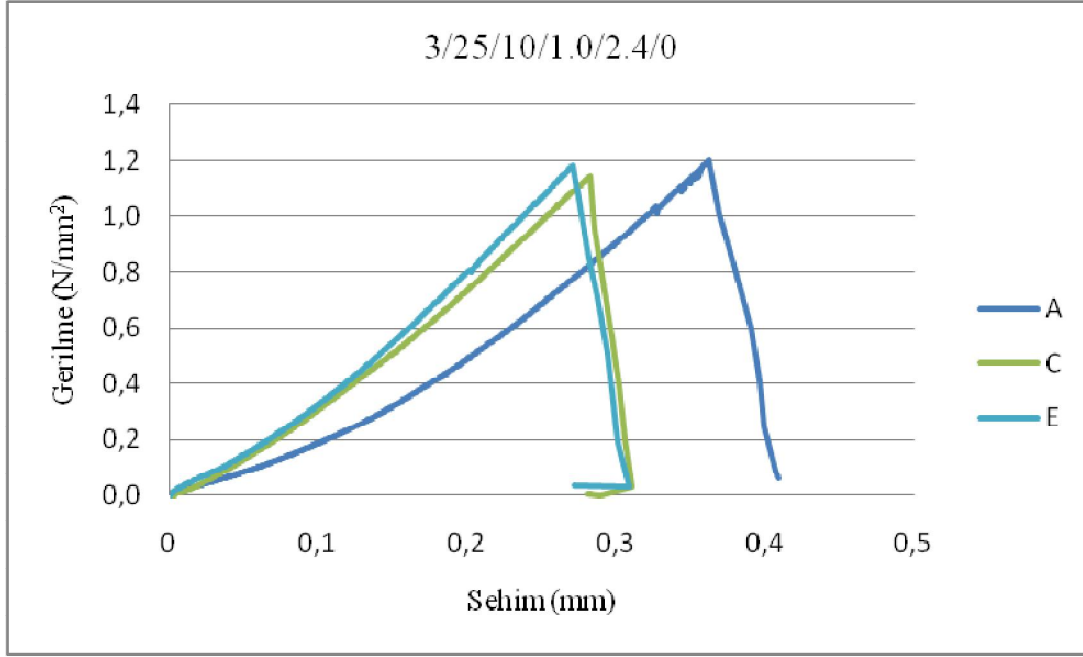
EK.A : Levha numunelerine ait gerilme-sehim grafikleri.



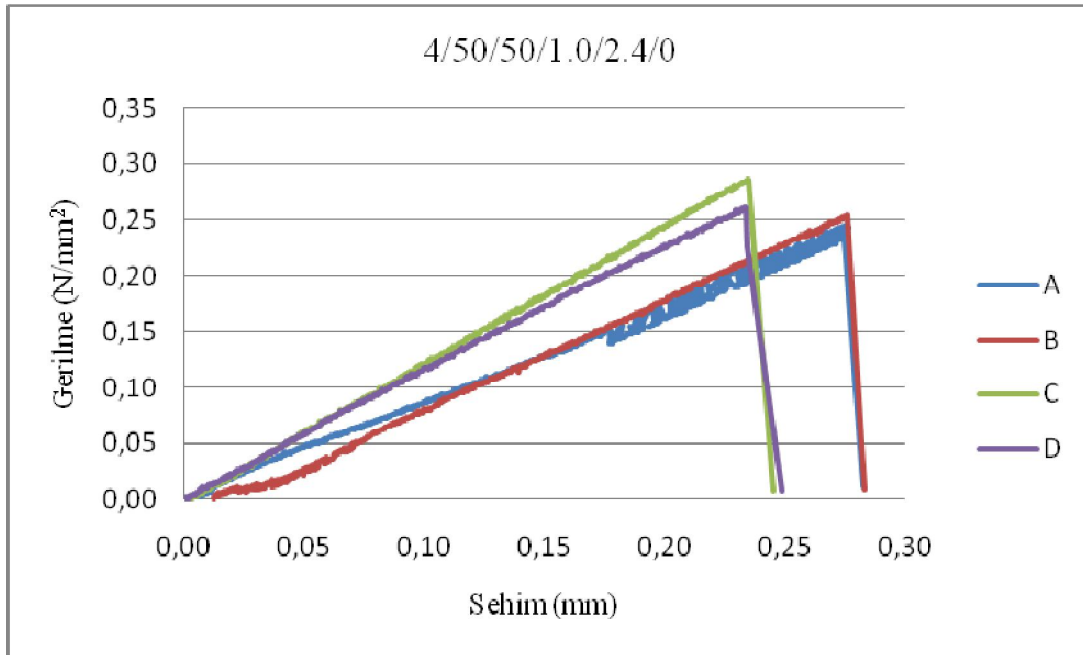
Şekil A.1 : 1/12.5/0.0/0.6/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



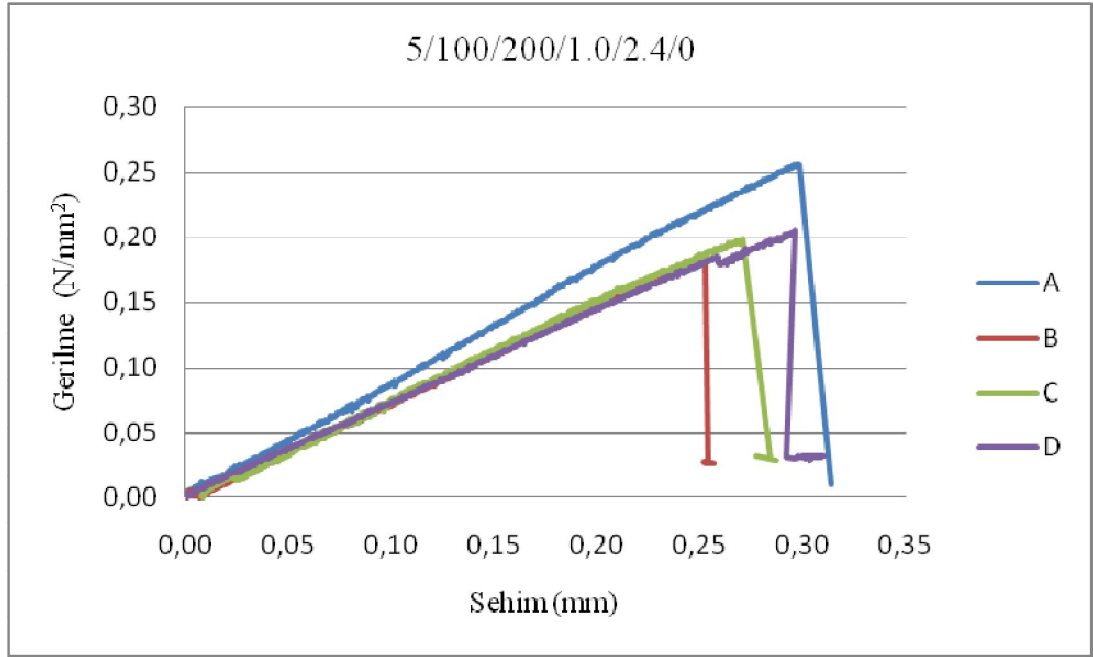
Şekil A.2 : 2/12.5/0.0/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



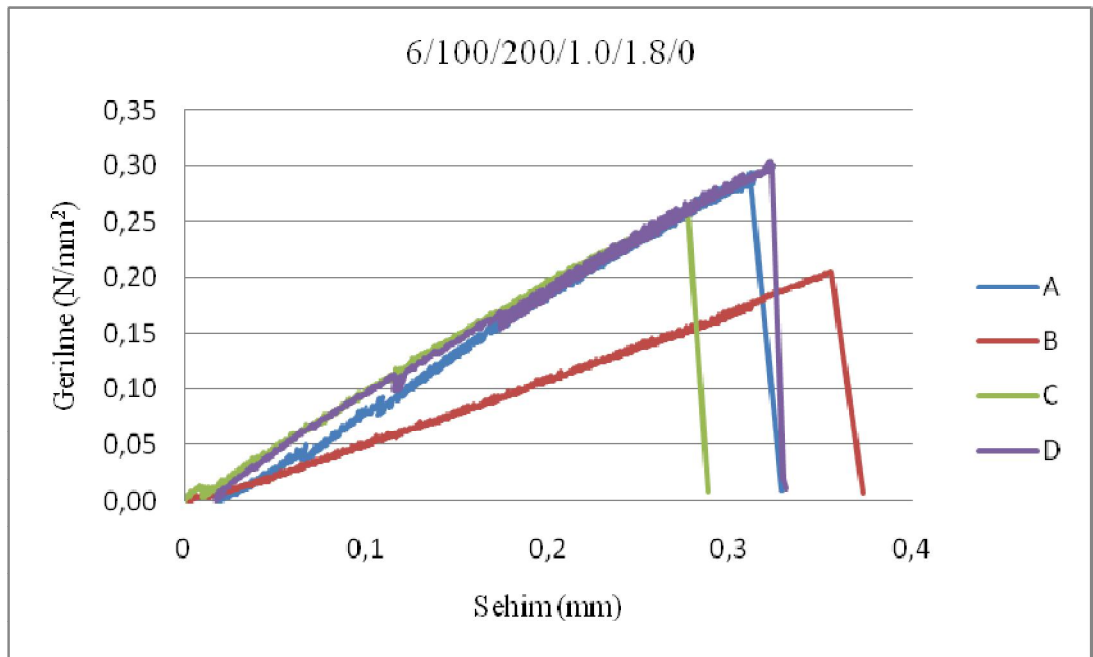
Şekil A.3 : 3/25/10/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



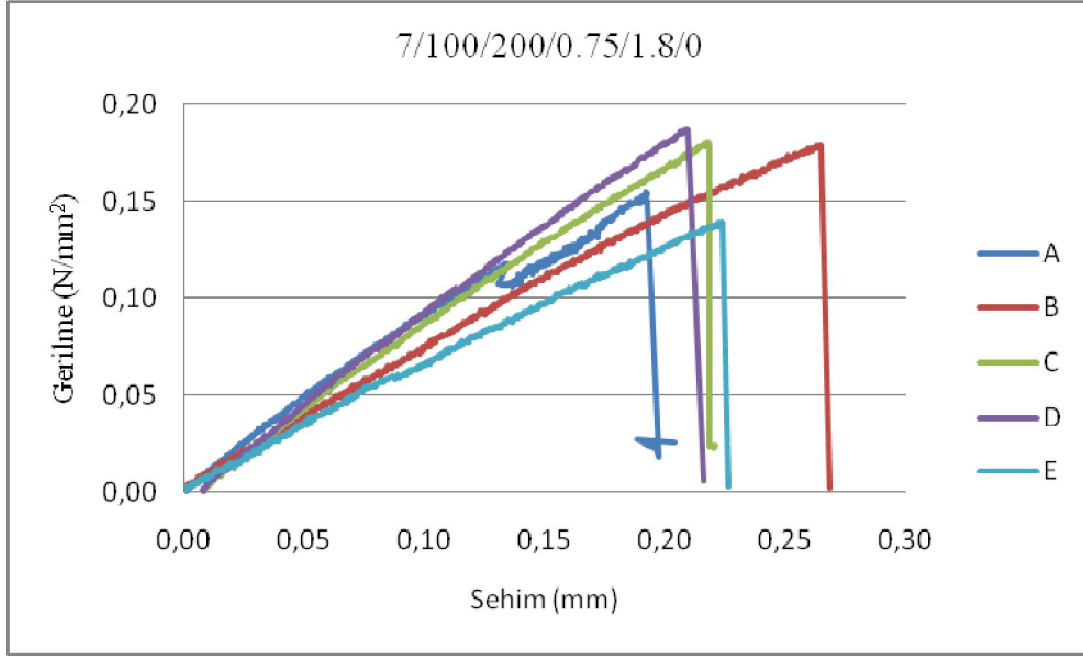
Şekil A.4 : 4/50/50/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



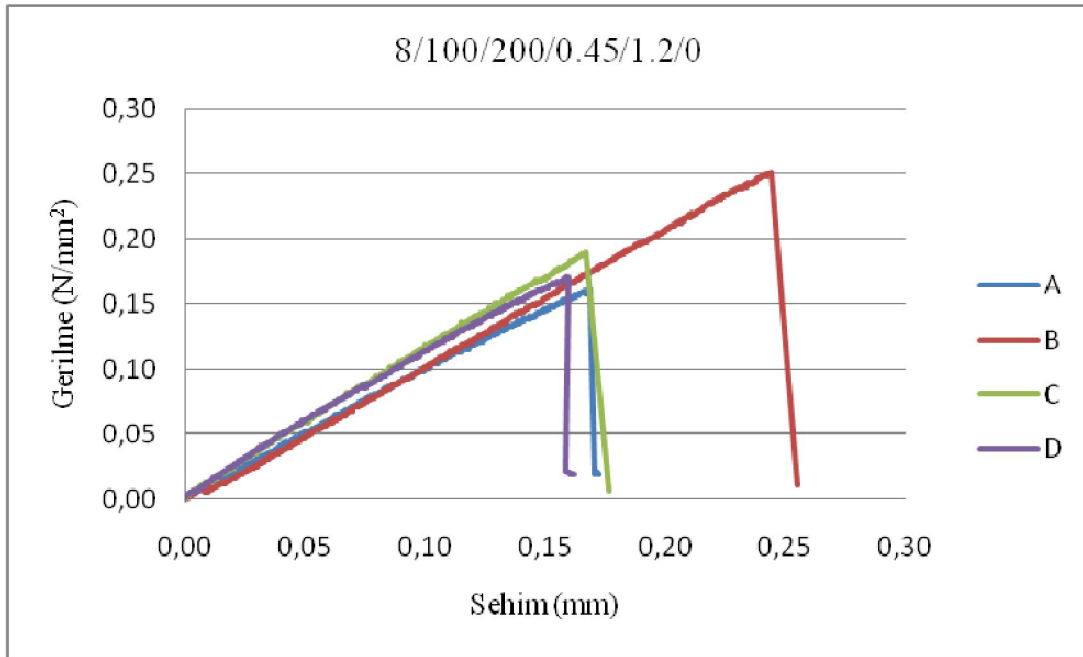
Şekil A.5 : 5/100/200/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



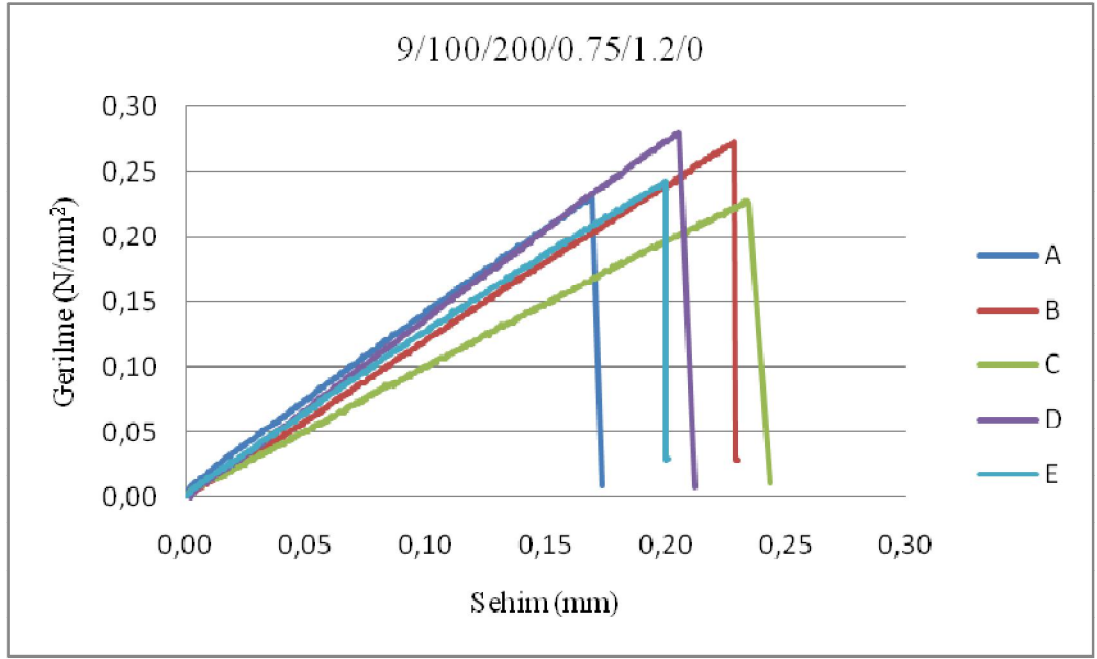
Şekil A.6 : 6/100/200/1.0/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



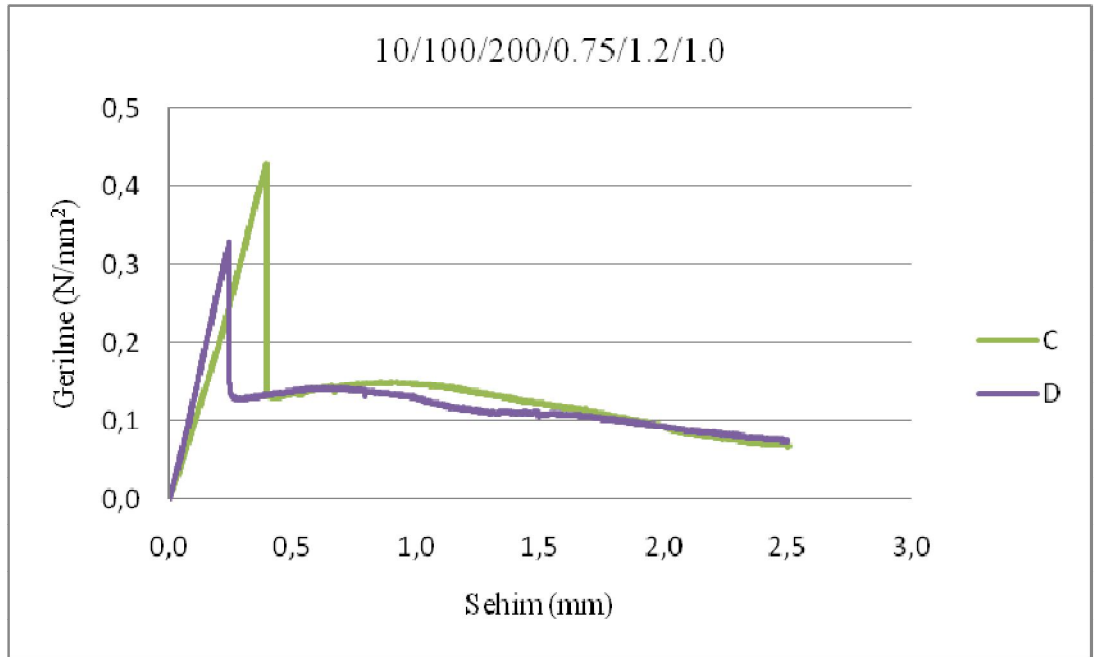
Şekil A.7 : 7/100/200/0.75/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



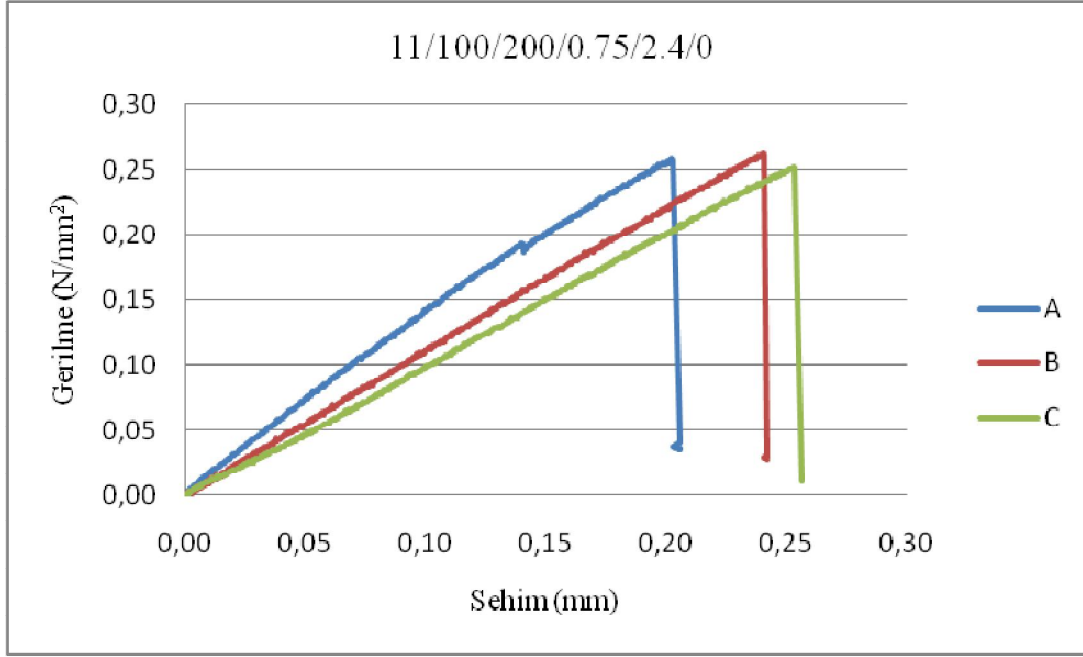
Şekil A.8 : 8/100/200/0.45/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



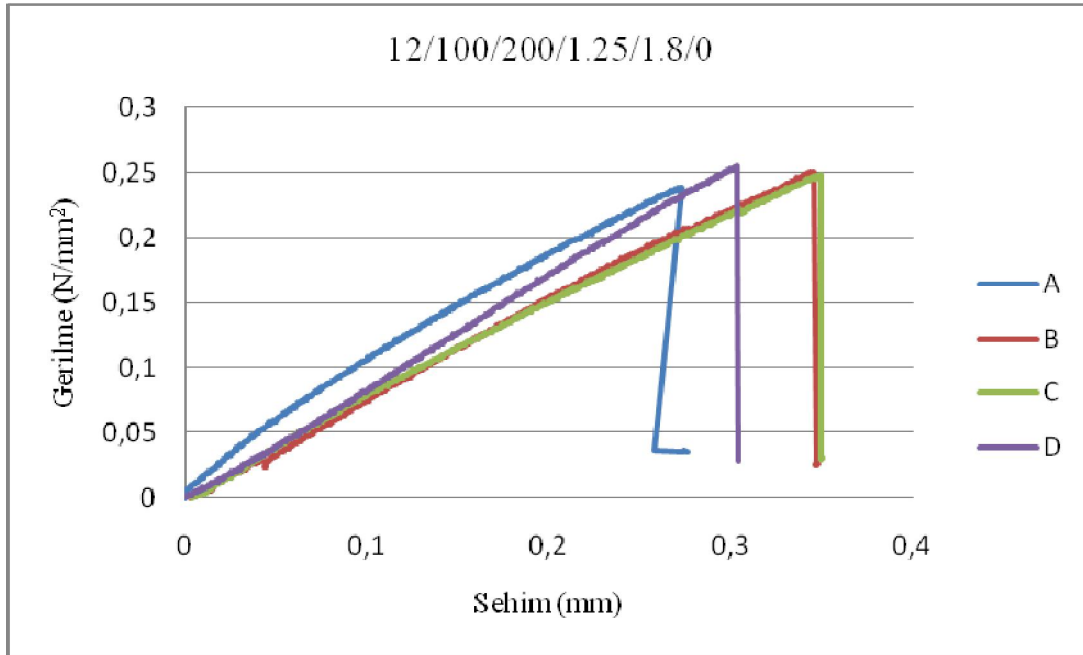
Şekil A.9 : 9/100/200/0.75/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



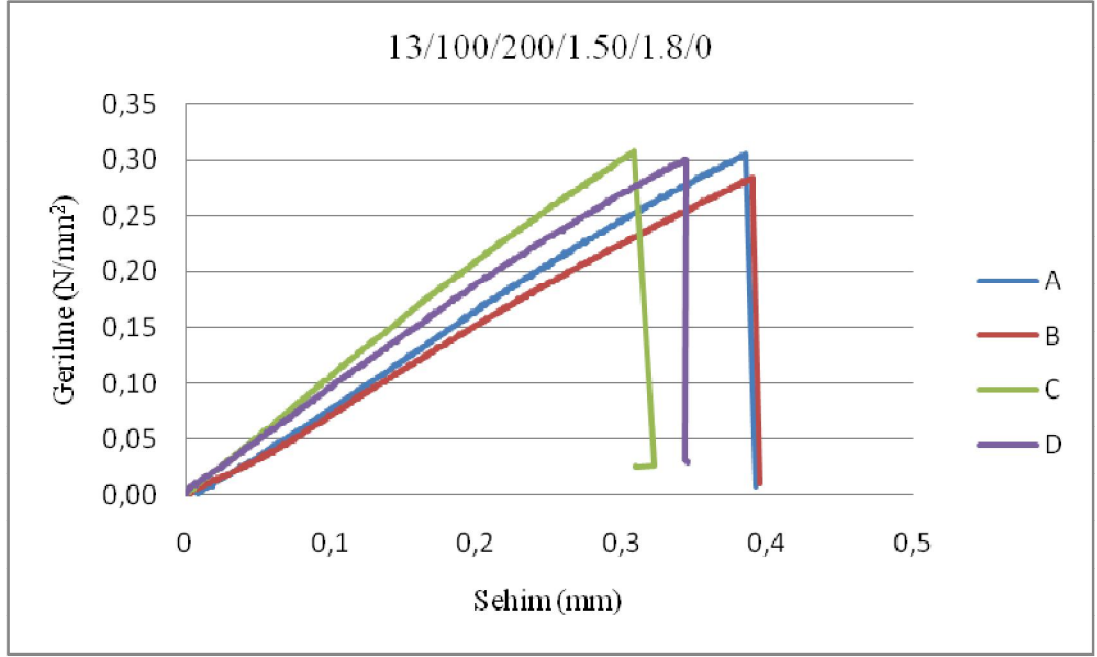
Şekil A.10 : 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



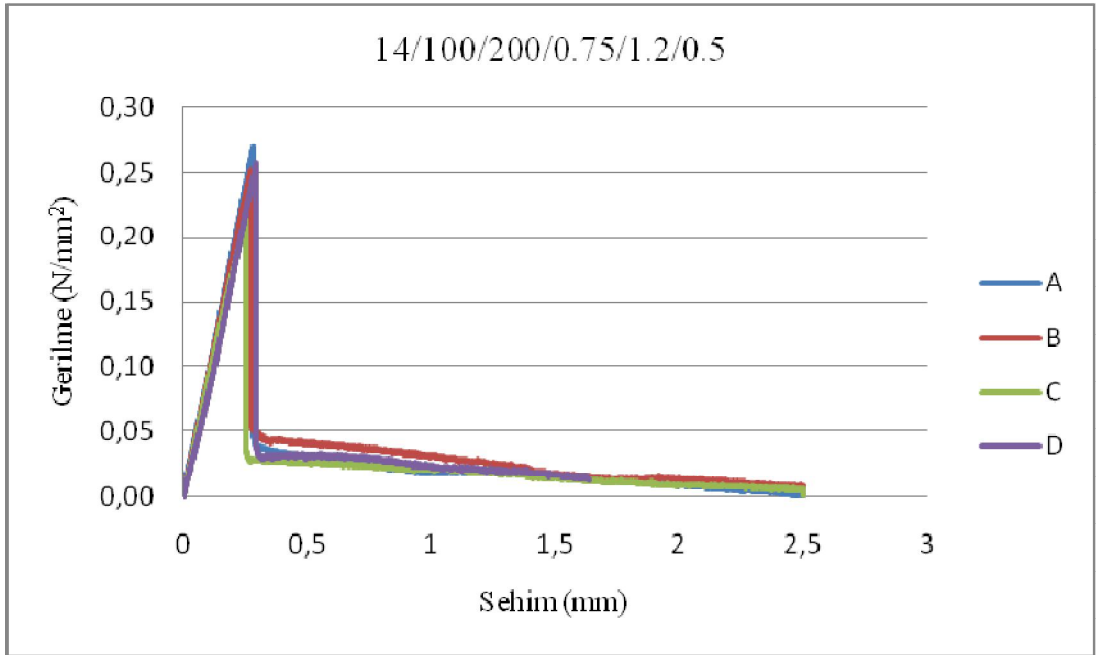
Şekil A.11 : 11/100/200/0.75/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil A.12 : 12/100/200/1.25/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.

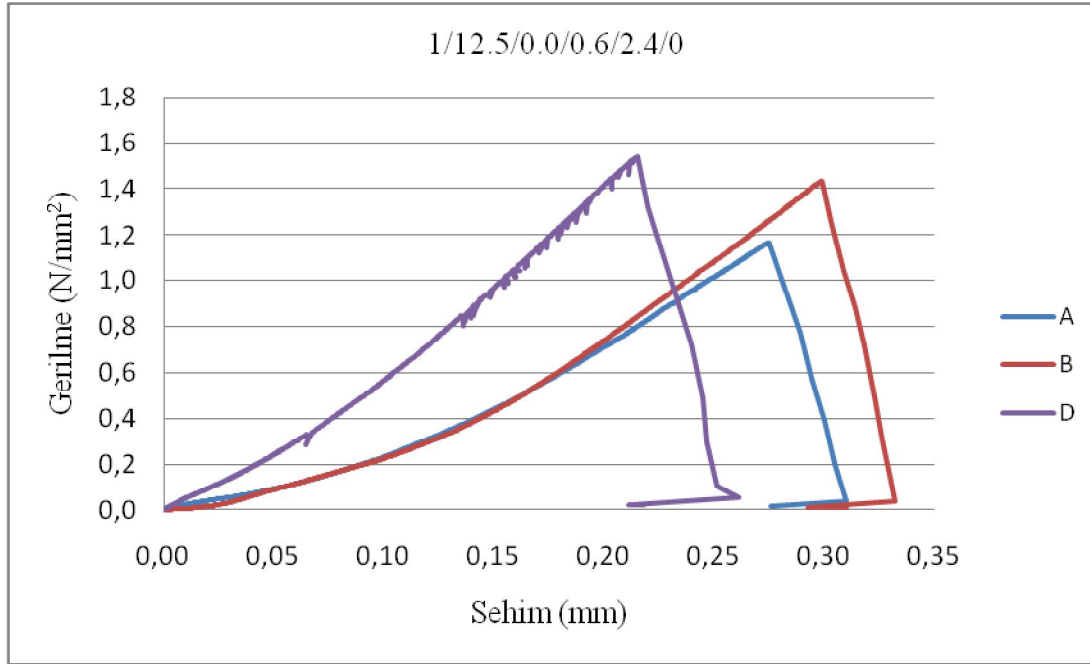


Şekil A.13 : 13/100/200/1.50/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.

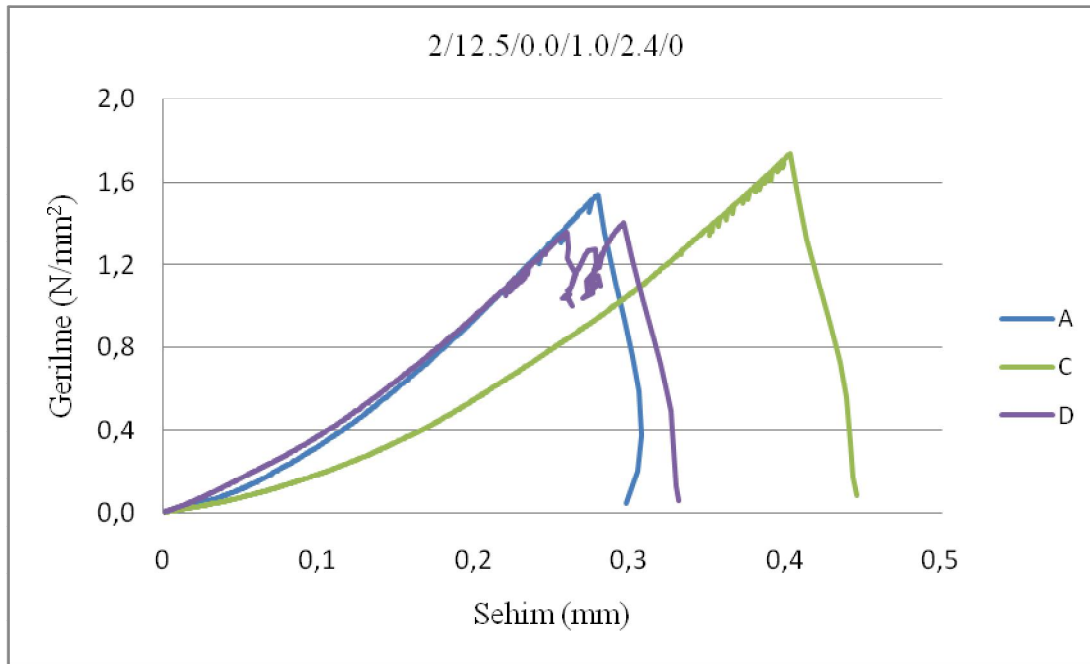


Şekil A.14 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.

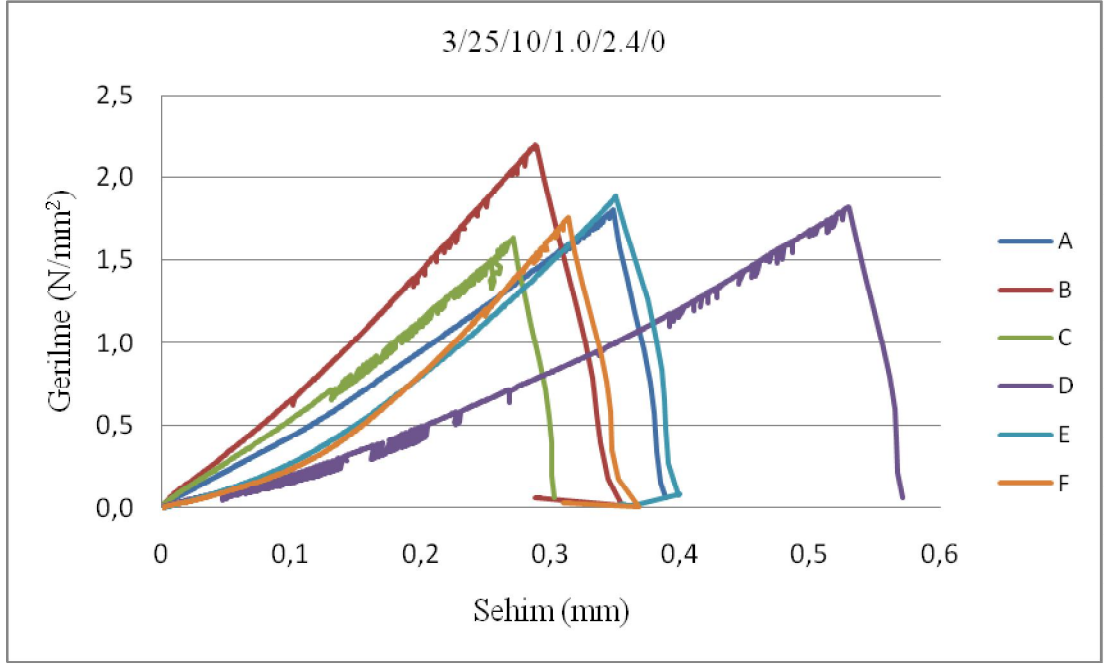
EK.B : Prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafikleri.



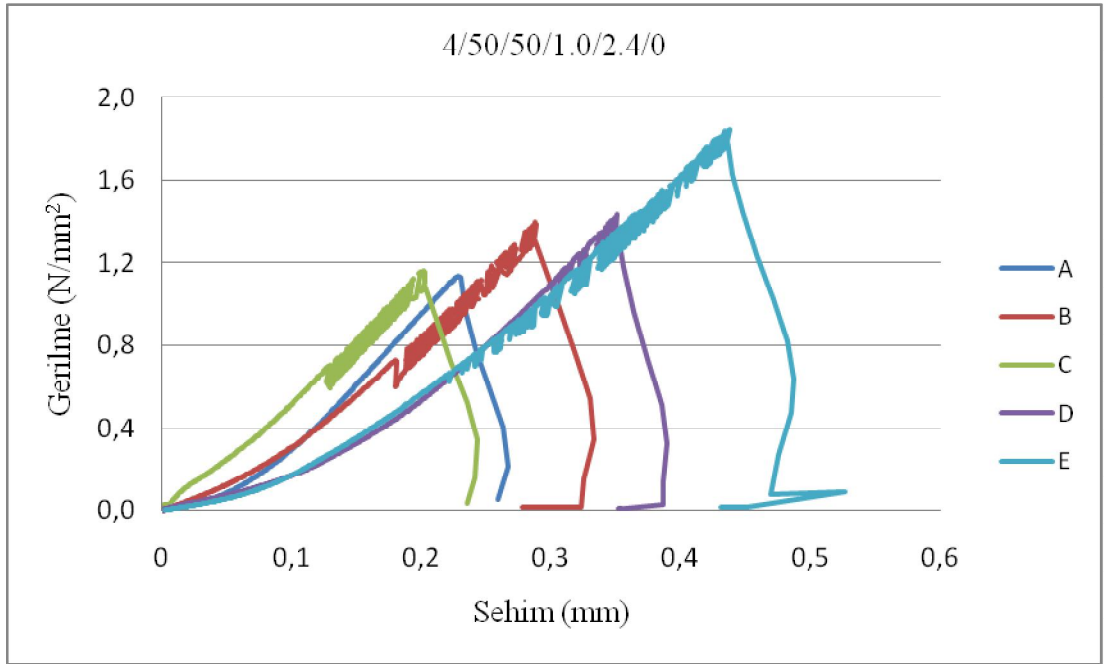
Şekil B.1 : 1/12.5/0.0/0.6/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



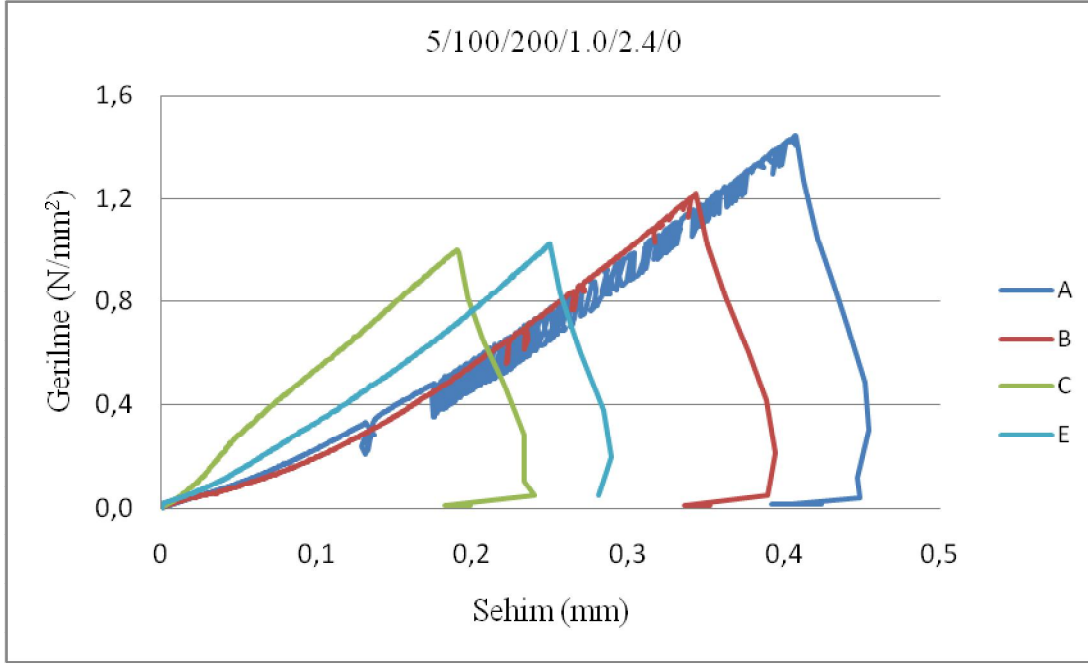
Şekil B.2 : 2/12.5/0.0/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



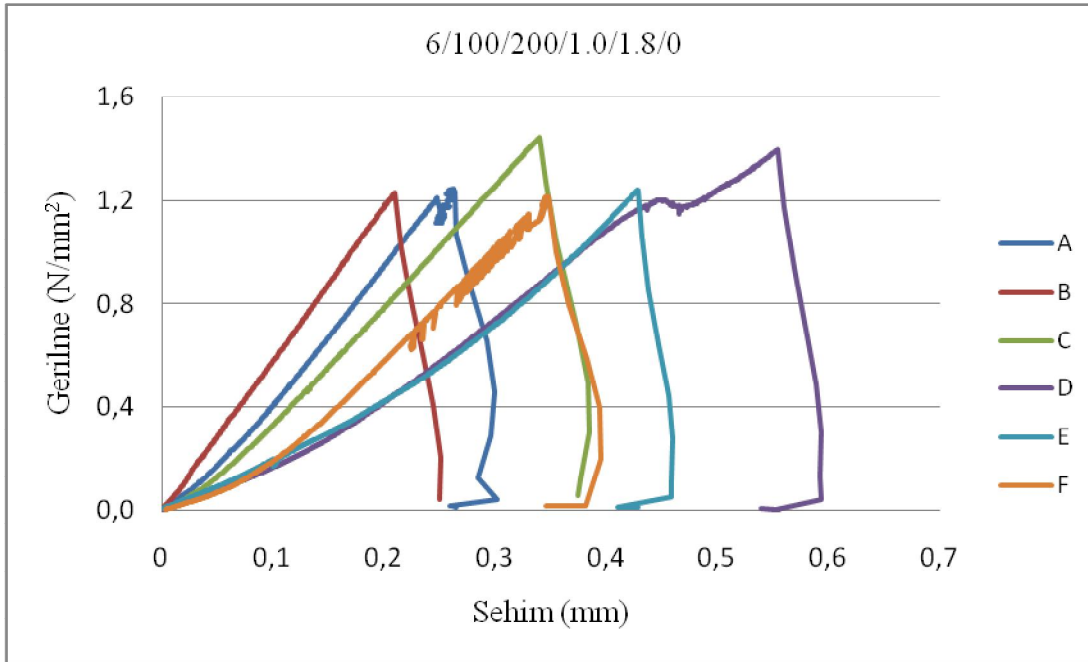
Şekil B.3 : 3/25/10/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



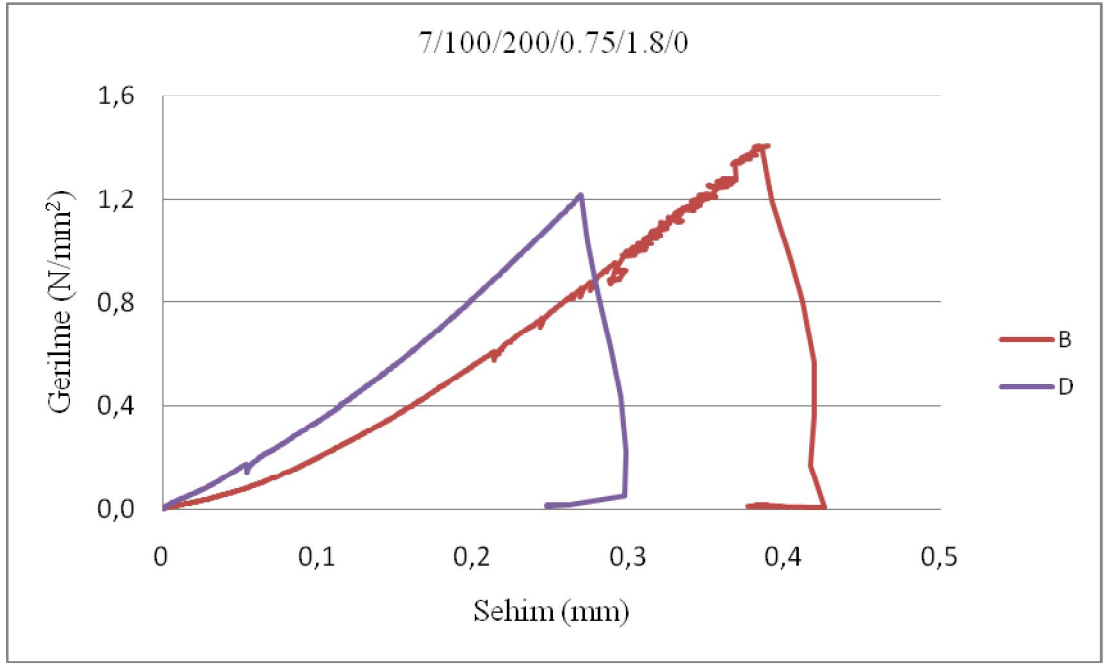
Şekil B.4 : 4/50/50/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



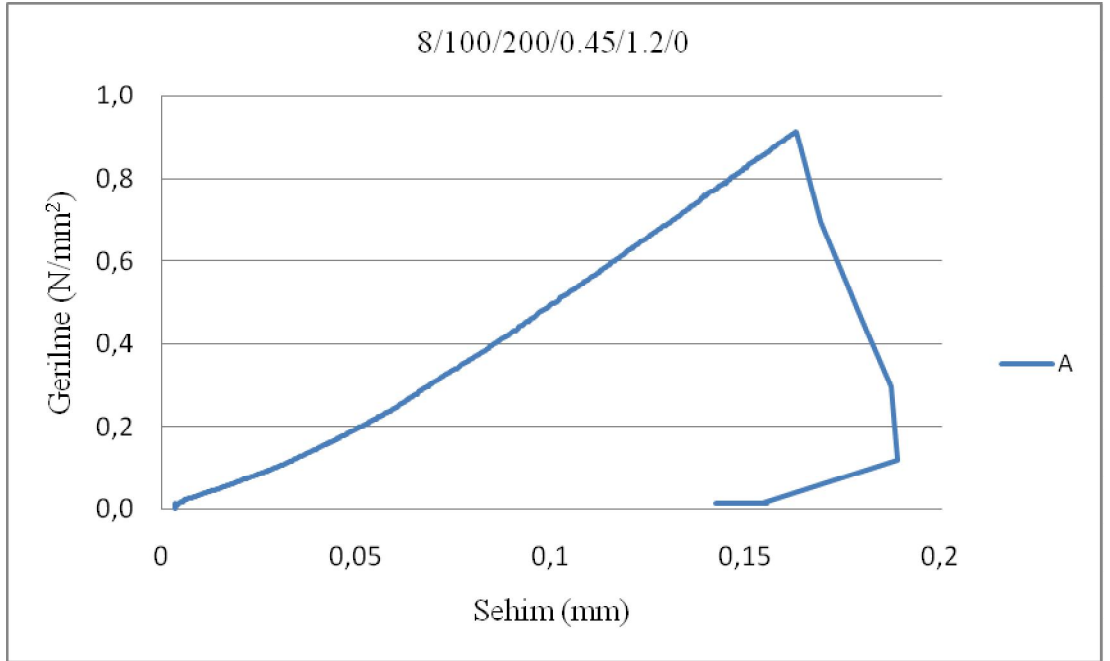
Şekil B.5 : 5/100/200/1.0/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



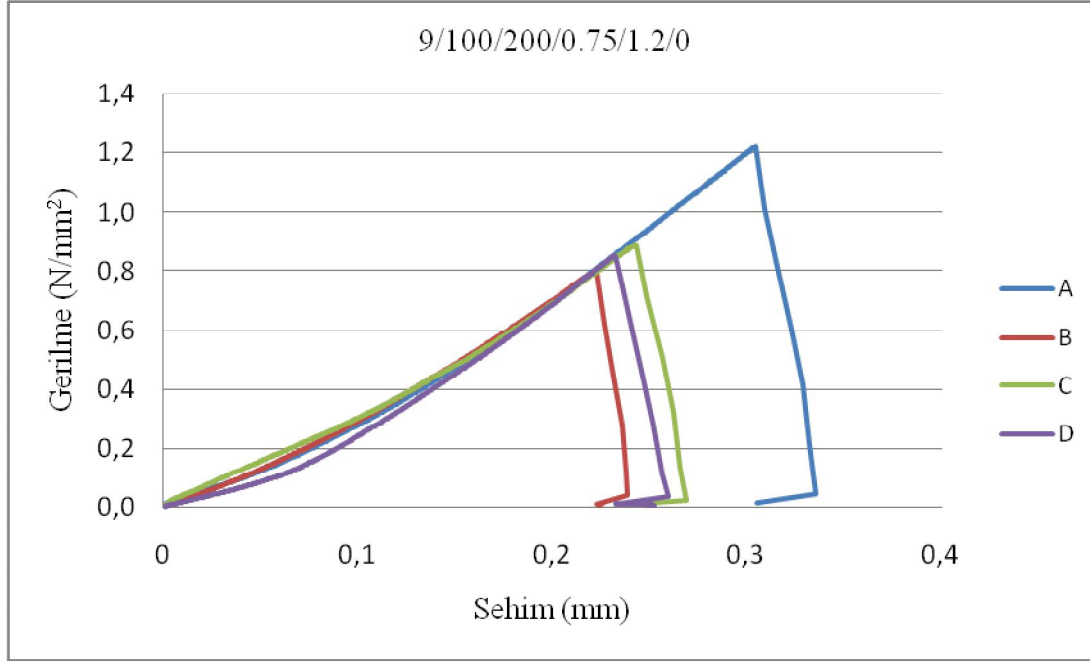
Şekil B.6 : 6/100/200/1.0/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



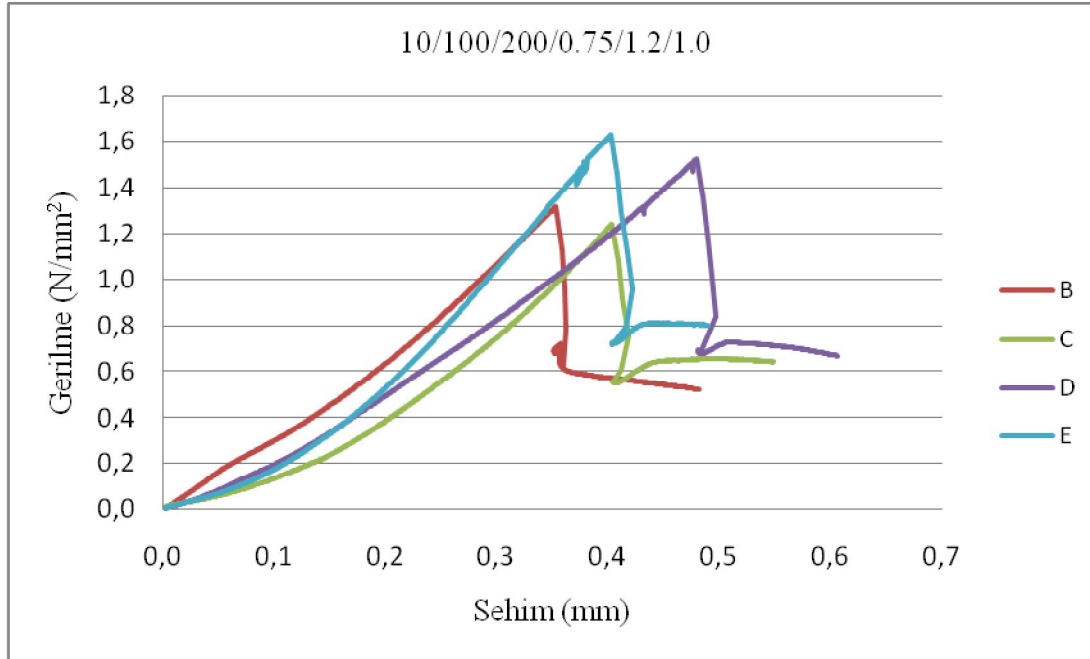
Şekil B.7 : 7/100/200/0.75/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



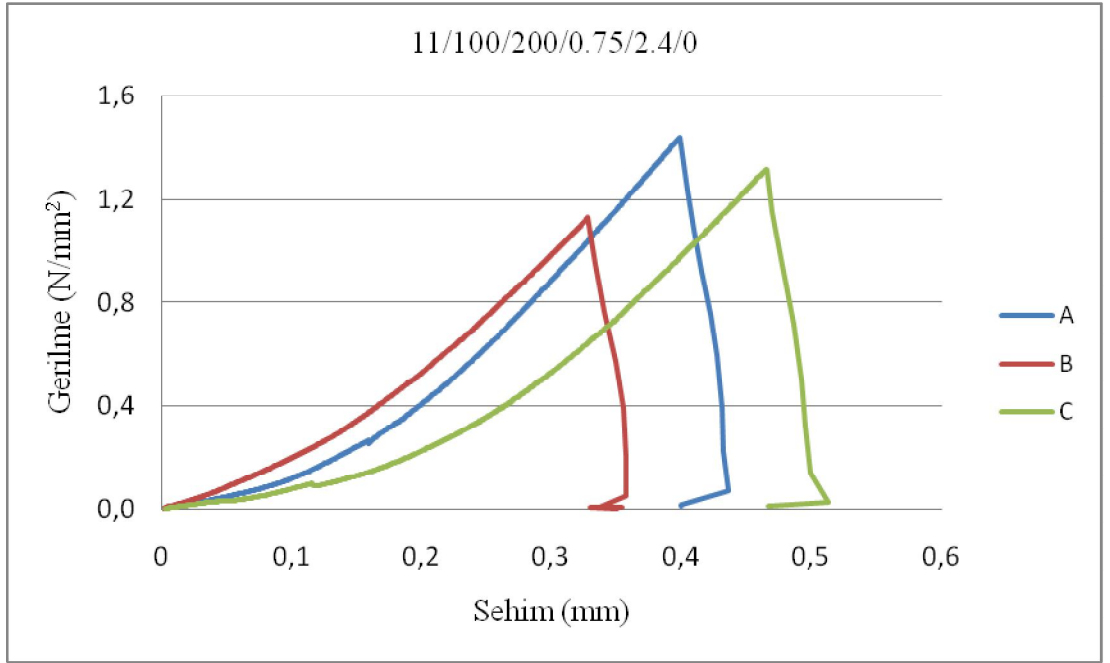
Şekil B.8 : 8/100/200/0.45/1.2/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



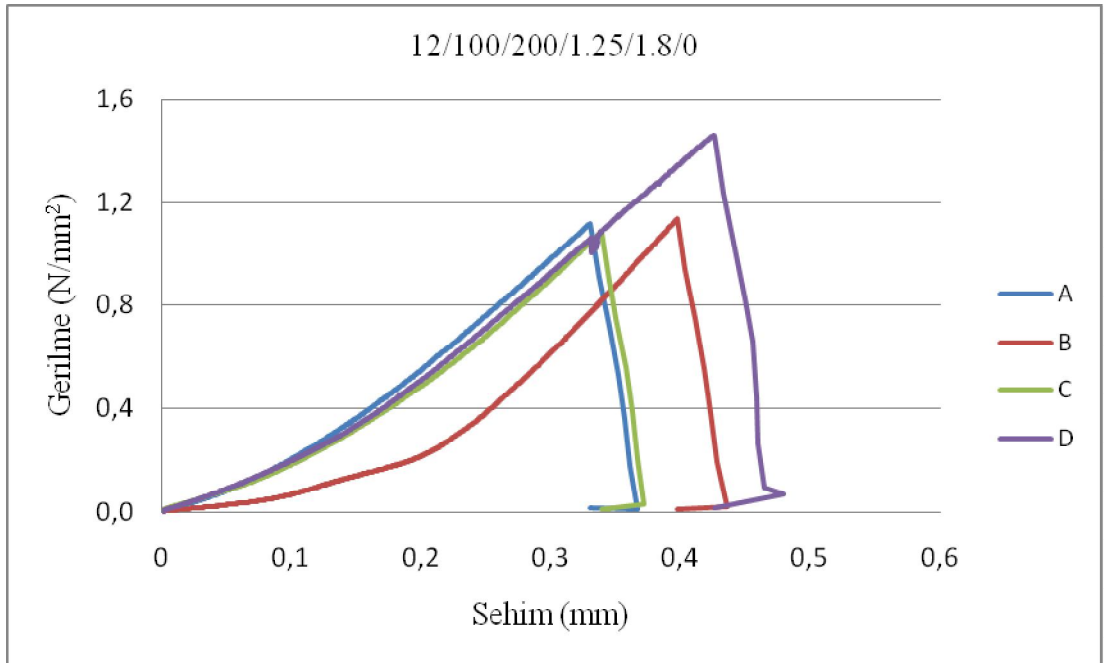
Şekil B.9 : 9/100/200/0.75/1.2/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



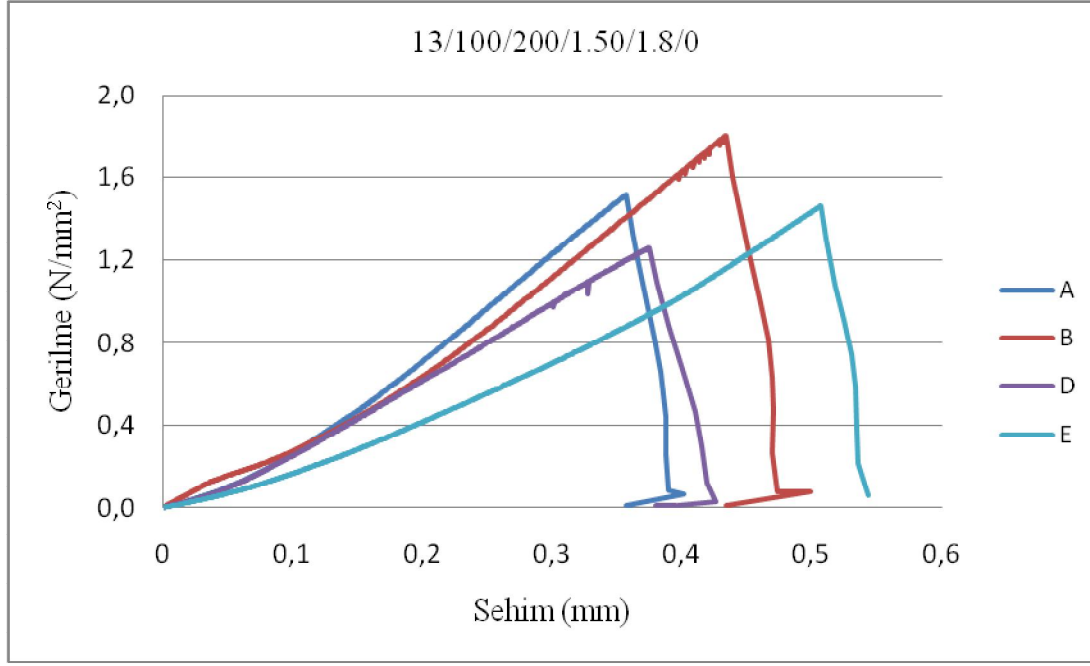
Şekil B.10 : 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



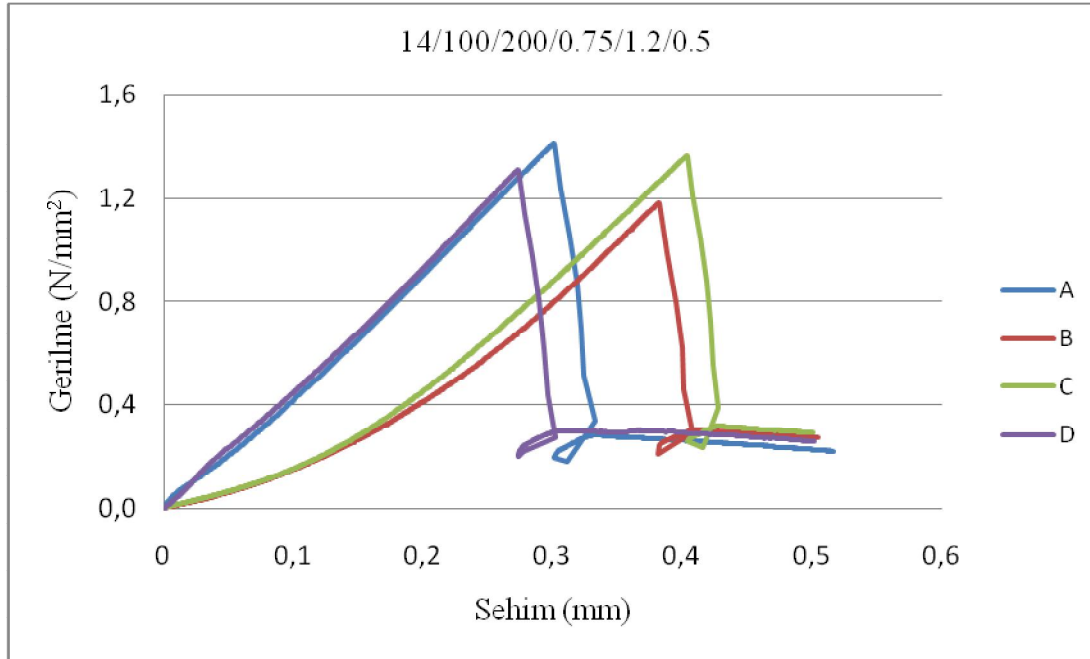
Şekil B.11 : 11/100/200/0.75/2.4/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil B.12 : 12/100/200/1.25/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil B.13 : 13/100/200/1.50/1.8/0 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil B.14 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu prizma numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.

ÖZGEÇMİŞ



Aydın SANCAK 1983 yılında İstanbul’ da doğdu. Orta ve lise öğrenimini tamamladığı Özel Yeni Dünya Koleji’ inden okul birincisi olarak mezun oldu. 2002 yılında lisans öğrenimine başladığı Y.T.Ü İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nden 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği Programı Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra özel bir mühendislik şirketinde proje mühendisi olarak 2 yıl süreyle çalıştı. Kendisi halen yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.