

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSTRÜDE ÇİMENTO ESASLI MALZEMELERİN DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet ÖZEN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

**EKSTRÜDE ÇİMENTO ESASLI MALZEMELERİN DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet ÖZEN
(501071066)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Bekir Y. PEKMEZCİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL (İTÜ)
Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE (İÜ)**

HAZİRAN 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. Y. Müh. Aydın SANCAK'a,

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 ve bu günlere gelmemi sağlayan sevgili annem Şengül ÖZEN, babam Aziz ÖZEN, kardeşim Levent ÖZEN'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2010

Mehmet ÖZEN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Çimento Esaslı Malzemeler.....	3
2.2 Sertleşmiş Çimento Esaslı Malzemelerin Boşluk Yapısı ve Buna Bağlı Özellikler	4
2.2.1 Sertleşmiş çimento esaslı malzemeler içerisindeki boşluklar.....	5
2.2.1.1 Agrega taneleri içerisinde bulunan boşluklar.....	5
2.2.1.2 Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boşluklar.....	5
2.2.1.3 Kalıbın tam doldurulamaması nedeni ile meydana gelen boşluklar.....	9
2.2.2 Sertleşmiş çimento esaslı malzemelerde sıvı iletimi	10
2.2.3 Sertleşmiş çimento esaslı malzemelerde donma-çözülme olayı.....	10
2.3 Çimento Esaslı Malzemelerin Üretim Teknikleri	12
2.4 Ekstrüzyon Teknolojisi.....	15
2.5 Çimento Esaslı Malzemelerde Ekstrüzyon Tekniğinin Uygulanması.....	17
2.6 Ekstrüzyon Tekniği ile Üretilen Çimento Esaslı Malzemelerin Özellikleri....	19
2.7 Reolojik Özelliklerin Ekstrüzyona Etkileri	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
3.1 Kullanılan Malzemeler Özellikleri.....	27
3.1.1 Çimento.....	27
3.1.2 Silis kumu	27
3.1.3 Kuvars unu.....	28
3.1.4 Kimyasal katkı maddeleri	28
3.1.5 Polipropilen lif	28
3.2 Karışımlar ve Numune Kodları	29
3.3 Üretim ve Numunelerin Saklanması	31
3.4 Sertleşmiş Haldeki ÇEM Üzerinde Yapılan Deneyler	35
3.4.1 Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyleri.....	35
3.4.1.1 Sertleşmiş ÇEM’ de birim ağırlık deneyi.....	36
3.4.1.2 Sertleşmiş ÇEM’ de su emme deneyi.....	36
3.4.1.3 Sertleşmiş ÇEM’ de kılcal su emme deneyi.....	36
3.4.2 Donma-çözülme deneyleri.....	37
3.4.2.1 Donma-çözülme ağırlık kaybı deneyi.....	37
3.4.2.2 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisinin tayini.....	38

3.4.2.3 Basınç deneyi.....	38
4. DENEYSELÇALIŞMALAR.....	41
4.1 Su Emme ve Kılcal Su Emme Deney Sonuçları	41
4.1.1 Sertleşmiş ÇEM’de birim ağırlık deneyi sonuçları.....	41
4.1.2 Sertleşmiş ÇEM’de su emme oranı sonuçları.....	41
4.1.3 Sertleşmiş ÇEM’de kılcal su emme deneyi sonuçları	42
4.2 Donma-Çözülme Deney Sonuçları	43
4.2.1 Sertleşmiş ÇEM’de donma-çözülme sonunda ağırlık kaybı deneyleri sonuçları	43
4.2.2 Eğilme deneyi sonuçları.....	44
4.2.3 Basınç deneyi sonuçları	46
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	49
5.1 Su Emme ve Kılcal Su Emme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	49
5.2 Donma-Çözülme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	54
6. GENEL SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

ÇEM	: Çimento Esaslı Malzemeler
SA	: Süperakışkanlaştırıcı
KD	: Kıvam Düzenleyici
PP	: Polipropilen
SIFCON	: Slurry Infiltrated Fibered Concrete
PVA	: Polivinil Alkol
D.Ç.Ö.	: Donma-Çözülme Öncesi
D.Ç.S.	: Donma-Çözülme Sonrası

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel özellikleri.	27
Çizelge 3.2 : Silis kumuna ait özgül ağırlık ve birim ağırlık deney sonuçları.....	27
Çizelge 3.3 : Silis kumu elek analizi sonuçları.....	28
Çizelge 3.4 : Kuvars unu elek analizi sonuçları.	28
Çizelge 3.5 : Karışım oranları (1).	29
Çizelge 3.6 : Karışım oranları (2).	30
Çizelge 4.1 : Birim ağırlık deneyi sonuçları.	41
Çizelge 4.2 : Su emme deney sonuçları.....	42
Çizelge 4.3 : Kılcal su emme deney sonuçları.....	43
Çizelge 4.4 : Ağırlık kaybı deney sonuçları.	44
Çizelge 4.5 : Levhalarda eğilme deneyi sonuçları.....	45
Çizelge 4.6 : Prizmalarda eğilme deneyi sonuçları.	45
Çizelge 4.7 : Basınç deneyi sonuçları.....	47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sürüklenmiş hava boşlukları ve korudukları bölge.....	8
Şekil 2.2 : Hapsolmuş hava boşlukları ve korudukları bölge	9
Şekil 2.3 : Hava sürükleyici katkılar küçük boşlukları stabilize ederler	9
Şekil 2.4 : Reticem üretim süreci.....	13
Şekil 2.5 : Pultrüzyon üretim süreci.	13
Şekil 2.6 : Slurry infiltration üretim süreci.....	14
Şekil 2.7 : Spray-Suction üretim süreci.	14
Şekil 2.8 : Vidalı ekstrüder şeması	15
Şekil 2.9 : Pistonlu ekstrüder şeması	16
Şekil 2.10 : Ekstrüzyon işlemi ile ÇEM üretimi.....	17
Şekil 2.11 : Lif içermeyen, geleneksel lif donatılı ve yüksek performanslı ÇEM' in gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.....	19
Şekil 2.12 : Lifli ve lifsiz ekstrüde kompozitlerin eğilme gerilmesi-sehim grafiği...	22
Şekil 2.13 : Kayma incelmesi ve tiksotropi.....	24
Şekil 2.14 : Ağız kalıbının şeması	25
Şekil 3.1 : Numune kodlarının açıklaması.....	30
Şekil 3.2 : Vidalı ekstrüder.	32
Şekil 3.3 : Ağız kalıbı.	33
Şekil 3.4 : Numune şekilleri ve boyutları.	34
Şekil 3.5 : Dikdörtgen kesitli boru numuneler.....	35
Şekil 3.6 : Kılcal su emme deneyi	37
Şekil 3.7 : Üç noktalı eğilme deneyi.....	38
Şekil 3.8 : Basınç deneyi.	39
Şekil 4.1 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği. .	46
Şekil 5.1 : KD oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 ve 8,9 numuneleri).	49
Şekil 5.2 : SA oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (7,9,11 ve 5,6 numuneleri).	50
Şekil 5.3 : Lif oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).	51
Şekil 5.4 : KD oranı ve kılcal su emme katsayısı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 ve 8,9 numuneleri).	52
Şekil 5.5 : SA oranı ve kılcal su emme katsayısı arasındaki ilişki (7,9,11 ve 5,6 numuneleri).	53
Şekil 5.6 : Lif oranı ve kılcal su emme katsayısı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).	53
Şekil 5.7 : KD oranı ve donma-çözülme ağırlık kaybı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).	54
Şekil 5.8 : SA oranı ve donma-çözülme ağırlık kaybı arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).	55
Şekil 5.9 : Lif oranı ve donma-çözülme ağırlık kaybı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).	56

Şekil 5.10 : KD oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).	56
Şekil 5.11 : KD oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).	57
Şekil 5.12 : KD oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).	58
Şekil 5.13 : KD oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).	58
Şekil 5.14 : KD oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).	59
Şekil 5.15 : SA oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).	60
Şekil 5.16 : SA oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).	60
Şekil 5.17 : SA oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).	61
Şekil 5.18 : Lif oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).	61
Şekil 5.19 : Lif oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).	62
Şekil 5.20 : Lif oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).	62
Şekil A.1 : 2/12.5/0.0/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	72
Şekil A.2 : 3/25/10/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği. .	72
Şekil A.3 : 4/50/50/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği. .	73
Şekil A.4 : 5/100/200/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	73
Şekil A.5 : 6/100/200/1.0/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	74
Şekil A.6 : 7/100/200/0.75/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	74
Şekil A.7 : 8/100/200/0.45/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	75
Şekil A.8 : 9/100/200/0.75/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	75
Şekil A.9 : 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	76
Şekil A.10 : 11/100/200/0.75/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	76
Şekil A.11 : 12/100/200/1.25/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	77
Şekil A.12 : 13/100/200/1.50/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	77
Şekil A.13 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.	78

EKSTRÜDE ÇİMENTO ESASLI MALZEMELERİN DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

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, ekstrüzyon tekniği kullanılarak üretilen çimento esaslı malzemelerin donma-çözülme performanslarının araştırılmasıdır. Bu tez kapsamında, ÇEM' in boşluk yapısı hakkında fikir sahibi olmak için su emme ve kılcal geçirimsizlik deneyleri ile donma-çözülme döngüsü sonunda durabilite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ağırlık kaybı deneyleri ve mekanik deneyler yapılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı (SA) ve kıvam düzenleyici (KD) katkıların ve polipropilen (PP) liflerin varlığı ve oranlarının, ekstrüde malzemelerin boşluk yapısı ve durabilite özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; KD ve SA oranlarının artırıldığı durumlarda su emme oranlarında belirgin bir değişim olmadığı, lifli ürünlerin su emme oranlarının lif içermeyen ürüne göre daha düşük değerler aldığı, KD ve lif oranlarının artırıldığı durumlarda kılcal geçirimsizlik katsayılarının azaldığı, SA oranı artırıldığında ise kılcal geçirimsizlik katsayısının arttığı belirlenmiştir. Donma-çözümeye deneyi sonunda yapılan mekanik deneylerden elde edilen grafikler incelendiğinde, donma-çözülme döngülerinden sonra (D.Ç.S.) ekstrüde malzemelerin eğilme dayanımlarında, kırılma enerjilerinde ve basınç dayanımlarında donma-çözülme döngüsü öncesi (D.Ç.Ö.) elde edilen dayanımlara göre dikkate değer azalmalar her bir seri için meydana geldiği açıkça görülmektedir. KD, SA ve lif oranları arttıkça donma-çözülme döngüsü sonunda ağırlık kayıplarının azaldığı, KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı, SA oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişimin olmadığı, lifli ürünlerin de lifsiz ürünlerde olduğu gibi eğilme dayanımları ve kırılma enerjilerinin donma-çözülme döngüsünden önceki değerlerine göre azaldığı belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF DURABILITY PROPERTIES OF EXTRUDED CEMENT BASED MATERIALS

SUMMARY

Cement-based materials are used as both bearing and protective construction materials. Cement-based materials are typically manufactured by 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 (CEM) were produced by the extrusion technique. The aim of the study, is to investigate the performance of the freeze-thaw of cement-based materials which produced by the extrusion technique. Within the scope of this thesis, to have an idea about CEM 's pore structure, by the end of freeze-thaw cycle, to determine durability characteristics, water absorption and capillary permeability tests, the weight loss experiments and mechanical tests were performed. The effect of the presence and ratio of super plasticizers (SA), consistency modifying agent (KD) admixtures and polypropylene fibers (PP) on the durability properties and pore structure of extruded material were investigated.

Studies on the stability of materials shows that; increasing KD and SA ratios do not effect water absorption rate significantly. However, specimens with PP reduces the water absorption rate compare to those without PP. Increase in KD and fiber results in decrease of capillary permeability coefficient. Increase in SA results in increase of capillary permeability coefficient. The more the rate of KD, SA and fiber the less the reduction of weight loss. On the other hand, freeze-thaw cycle resistance values decreased compared to the previous values. The increase in the rate of KD, results in an increase of bending strength and fracture energy but compressive strength does not show a significant difference. The increase in the rate of SA, results in an increase of bending strength and fracture energy but compressive strength does not show a significant difference. Bending strength and fracture energy values, after freeze-thaw cycles, decreased in both fiber and fiber free products.

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 [50]. Ekstrüzyon yönteminde, yüksek viskoz ve hamurumsu plastik karışım kesit şekli verilmiş bir ağızdan geçirilmekte ve ürün ağız şeklini almaktadır [46]. Ekstrüzyon ile üretim işlemi, malzeme karışım birleşiminin belirlenmesi, malzemenin karıştırılması, ekstrüzyon ve kürlemeden oluşmaktadır [46]. 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 [46]. 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 üretilmiş olan çimento esaslı ekstrüde ürünlerdir [50,56,58,59].

Bu tez çalışmasının amacı, ekstrüzyon tekniği kullanılarak üretilen çimento esaslı malzemelerin donma-çözülme performanslarının araştırılmasıdır. Süper akışkanlaştırıcı (SA) ve kıvam düzenleyici (KD) katkıların ve polipropilen (PP) liflerin varlığı ve oranlarının, ekstrüde malzemelerin boşluk yapısı ve durabilite özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Parametrelerin etkisini net olarak belirleyebilmek için her bir parametre farklı dizaynlarda denenmiştir. Malzemelerin boşluk yapıları üzerinde yapılan çalışmalarda genel olarak, KD ve SA oranlarının artırıldığı durumlarda su emme oranlarında belirgin bir değişim olmadığı, lifli

KD ve lif oranlarının artırıldığı durumlarda kılcal geçirimsizlik katsayılarının azaldığı, SA oranı artırıldığında ise kılcal geçirimsizlik katsayısının arttığı belirlenmiştir. Malzemelerin durabilite özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda ise genel olarak, KD, SA ve lif oranları arttıkça donma-çözülme döngüsü sonunda ağırlık kayıplarının azaldığı, KD oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin kendi içinde arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişim olmadığı fakat dayanım değerlerinin donma-çözülme döngüsünden önceki değerlerine göre azaldığı, SA oranı arttıkça eğilme dayanımının ve kırılma enerjisinin arttığı, basınç dayanımında ise belirgin bir değişimin olmadığı, lifli ürünlerin de lifsiz ürünlerde olduğu gibi eğilme dayanımları ve kırılma enerjilerinin donma-çözülme döngüsünden önceki değerlerine göre azaldığı 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 ve yaygın 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. Yüksek dayanımlı reaktif pudra betonları, yüksek performanslı lifli betonlar ve daha çok yalıtım amaçlı olarak kullanılan hafif betonlar, günümüzde üretilen bazı beton çeşitleridir [2].

İyi kalitede bir beton mukavemeti yüksek, dış etkilere karşı dayanıklı, boşluksuz ve geçirgenliği olmayan bir malzeme olmalıdır [3]. Betonda aranan diğer bir özellik de

servis ömrü boyunca beklenen davranışı sergilemesidir. Betonun servis ömrü ise dayanıklılığı ile orantılı olmaktadır [4]. Dayanıklı bir beton, çevresinin etkisinde ilk şeklini, niteliklerini ve hizmet görme yeteneğini uzun süre kaybetmeyen betondur. Servis ömrü sonunda beton yapının kullanımı, güvenli veya ekonomik olmaktan çıkar, yani bozulan betonun güvenlik gerilmesi servis gerilmesinin altına düşer veya onarım ve bakım masrafları yeniden yapım maliyetlerinin üzerine çıkar [5,6,7]. Betonun durabilitesinin artırılarak daha uzun servis ömürlerine sahip yapılar elde edilebilmesi için öncelikle betonun boşluk miktarının azaltılması gereklidir [8].

2.2 Sertleşmiş Çimento Esaslı Malzemelerin Boşluk Yapısı ve Buna Bağlı Özellikler

Betonun yıllar boyunca dış etkilerden ve betonun bileşenlerinden ileri gelen faktörlerden olumsuz olarak etkilenmeyerek dayanımını ve niteliklerini korumasına durabilite denir [9,10]. Betonun dayanıklılığı üzerinde etkili fiziksel ve kimyasal etkenler mevcuttur. Fiziksel etkenler donma-çözülme, ard arda oluşan ıslanma kuruma, kum fırtınalarının, deniz ve göl ırmaklarında meydana gelen dalgaların yaptığı aşınmalardır. Kimyasal etkenler ise asitli, sülfatlı ve klorlu suların yol açtığı hasarlardır [11]. Dayanıklı bir beton üretiminde göz önüne alınan en önemli özellik betonun boşluk yapısı ve oranıdır. Betonun geçirimliliği, boşluk yapısı ile doğrudan bağlantılıdır. Dış ortama açık boşluk oranı yüksek olan betonda suyun, dolayısıyla suda çözülen zararlı kimyasalların beton bünyesine girmesi oldukça kolaylaşır ve betonun dayanıklılığı olumsuz yönde etkilenir [11]. Beton geçirimli ise durabilitesinden söz edilemez [12].

Özetle betonun geçirimliliğine ilişkin özellikleri, hem yapının kendisinden beklenen işlevi yerine getirmesi, hem de zaman içinde dış etkilere karşı dayanıklılığı açısından önem taşımaktadır [13].

Çimento hamuru ve agrega fazlarından oluşan betonda agrega taneleri matris olarak adlandırılan çimento hamuru sürekli fazı içinde dağılmıştır. Betonun özellikleri çimento hamurunun özelliklerine bağlıdır [14]. Çimento hamuru, taze hamur ve sertleşmiş hamur olarak iki farklı durumda ele alınabilir. Taze hamurun hacmi suyun, hava boşluklarının ve çimentonun mutlak hacimleri toplamına eşittir. Sertleşmiş hamur ise hidrate olmuş ve olmamış çimento ile boşluklardan meydana gelen ve boşluk suyunu da içeren bir katıdır [15].

Genel olarak sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki su üç durumda bulunmaktadır. i) kimyasal bağlı, ii) fiziksel bağlı ya da iii) serbest su. Hamur içerisinde kimyasal bağlarla tutulan su, çimento jelinin tamamlayıcı bir parçasını oluşturmaktadır. Bu su “buharlaşmayan su” olarak tanımlanabilir. Fiziksel olarak absorbe edilen su ise çimento jeli yüzeylerinde Van der Waals kuvvetleri ile tutulan sudur. Serbest su ise geriye kalan su miktarı olup kılcal boşluklar içerisindeki olup, kılcal boşluklar içerisindeki sudur. Çimento jeli yüzeylerinde fiziksel bağlarla tutulan su ile serbest su toplamına “buharlaşabilen su” denmektedir. Bu su, sertleşmiş çimento hamuru bünyesinden 105 °C sıcaklıkta buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Buharlaşmayan su, çimento jeli yapısı içerisinde kimyasal olarak bağlanan hidratasyon suyudur [16].

2.2.1 Sertleşmiş çimento esaslı malzemeler içerisindeki boşluklar

Çimento ve su karıştırıldığı andan itibaren fizikokimyasal bir reaksiyon olan hidratasyona başlar [17]. Hidratasyon süresi boyunca oluşan hidrate ürünler, içleri kısmen su ile dolu veya boş kılcal boşluklar ve jel boşlukları ile karıştırma sırasında oluşabilecek sürüklenmiş hava boşluklarını içerir. Bu boşlukların miktarı, boyut ve şekilleri hamurun dayanımını, geçirimsizliğini ve dolayısıyla dayanıklılığını önemli derecede etkiler [18].

Betonun dayanıklılığı boşluk miktarı ve yapısı ile yakından ilgilidir. Bunların miktarı; çap ve şekilleri betonun su/çimento oranına, hidratasyon derecesine, maksimum agrega boyutuna, çimento cinsine ve inceliğe bağlıdır [19]. Beton içerisinde bulunan boşlukları genel olarak şu şekilde sınıflandırmak mümkündür.

2.2.1.1 Agrega taneleri içerisinde bulunan boşluklar

Agrega içinde bulunan boşlukların boyutları; agrega cinsine, çap ve şekline göre değişir [19]. Küçük çaplı boşluklar, su ve rutubet akımında oldukça önemsizdirler. Ancak büyük boşluklara sahip agregalar oldukça geçirgendirler [20].

2.2.1.2 Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boşluklar

Jel Boşlukları :

Hidratasyon ürünlerinin oluşması ile birlikte meydana gelen jel yapısı, büyük miktarda buharlaşabilen su içerdiği için bu su jelin boşluklu bir yapıya sahip olmasına neden olur. Jel miktarı, hidratasyon derecesi ilerledikçe artar. Böylece jelin yapısı

içerisindeki kapladığı hacim de artacağından kılcal boşluklarında hacmi azalır. Jel boşlukları toplam jel hacminin yaklaşık %28 'ini oluşturur [21]. Hidratasyon sonucunda oluşan jel çok büyük bir özgül alana sahiptir. Jelin özgül yüzey alanı yaklaşık 200000 m²/gr olduğu saptanmıştır. Hidrate olmamış çimentonun özgül yüzey alanının 200-500 m²/gr olduğu düşünülürse, hidratasyon sonucunda bu alan 400-1000 kat artmaktadır. Bu durumda jelin, yüzeylerinde oldukça fazla su absorbe edebilme kapasitesine sahip olduğu düşünülebilir [22].

Kılcal Boşluklar :

Kılcal boşluklar, hidratasyon ürünlerinin oluşması ile birlikte bu ürünlerin kapladıkları hacimler arasında kalan, içleri su ile dolu olan boşluklardır [23]. Kılcal boşluklardaki su, jel içerisinde kalabilen kılcal boyuttaki boşluklarda yüzey gerilimi kuvvetiyle tutulan sudur [24]. Kılcal boşlukların hacimleri hidratasyon süresince azalmakta, bunun yanında jel hacmi ve dolayısıyla jel boşlukları artmaktadır. Kılcal boşlukların miktarları ve şekilleri çimentonun hidratasyon derecesine, su/çimento oranına, katkı kullanımı ve kür koşullarına göre değişiklik göstermektedir [25,26].

Betonun kılcallığı ve geçirimliliği, betonun boşluk yapısına ve bu boşlukların karakterine bağlı özelliklerdir. Tek başına boşluk oranı (porozite) bir anlam ifade etmemekte, hem kılcallık ve hem de geçirimlilik yönünden, temel olarak betonun boşluklarının sürekli olup olmamaları önemli bulunmaktadır. Çünkü kılcallık veya hidrostatik basınç etkisiyle su hareketi ancak sürekli boşluklar içinde oluşabilir. Betonun geçirimliliği sürekli boşlukların oranı (görünen porozite) ile yakından ilgilidir. Sürekli boşlukların oranı ile birlikte betonun geçirimliliği de artar. Betonun kılcallığı ve geçirimliliği, yalnız boşlukların sürekli olmalarına ve bunların oranına değil, ayrıca bu boşlukların çaplarına bağlıdır. Görünen poroziteyi sabit tutmak şartıyla, boşlukların çapları küçüldüğünde kılcallık artar, geçirimlilik ise azalır. Buna karşılık boşluk çapları büyüdüğünde kılcallık azalırken, geçirimlilik artar. Bundan dolayı zaman ilerledikçe betonun geçirimliliği azalırken, kılcallık saklama süresi ile birlikte artar [26]. Kapiler boşlukların çimento harcı içinde rastgele dağılıp, bir ağ sistemi oluşturduğu bilinmektedir. Bu ağ sistemi şeklindeki yapı, betonun geçirimliliğinden ve donma-çözülme olayı sonucu betonun zarar görmesinden sorumludur [27].

Geçirimlilik (permeabilite) betonun durabilitesi için çok önemli bir özelliktir. Ama betonda düşük geçirgenlik tek başına bir çok durabilite problemine karşı yeterli olmasına rağmen donma-çözünme koşullarında yeterli olmayabilir. Donma koşulları altında çimento hamuru içerisindeki su ilk çatlakların oluşması ve genişlemesi için yeterli nedeni oluşturabilir. İlk çatlaklardan sonra hamur içerisine dışarıdan kolayca giren nem daha fazla donma-çözülme hasarının oluşmasına neden olur. Su/çimento oranındaki bir azalma geçirgenliği düşürür ama betonun donma-çözülme durabilitesinde herhangi bir değişim oluşturmaz. Diğer durabilite problemleri (korozyon, kimyasal reaksiyon vb.) ile geçirgenlik arasında olduğu gibi donma çözülme ve geçirgenlik arasında yakın bir ilişki yoktur [28].

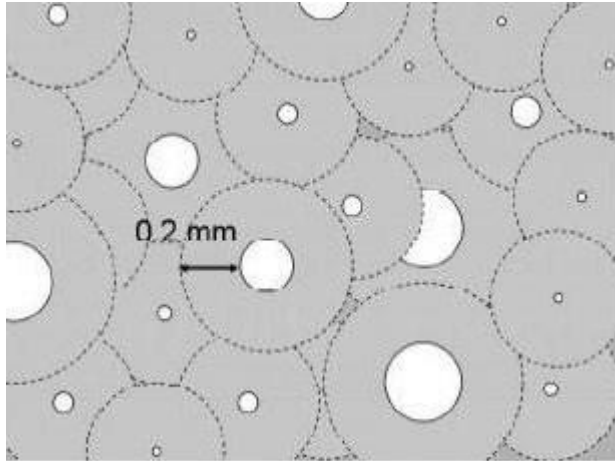
Portland çimentosu hamuru, boyutları itibari ile kılcal boşluk kabul edilebilecek bir boşluk tipi daha içerirler. Bu boşluklar, hidrate olmamış çimento tanelerinin sınırları üzerinde oluşurlar. Hadley taneleri olarak adlandırılan taneler üzerinde oluşan bu boşluklu yapının, nispeten seyrek rastlanılan bir boşluk tipi olup, bazı çimento tiplerinde daha yaygın olduğu görülmüştür. Hadley tanelerinin boyutlarının en fazla çimento tanesi kadar olabileceği düşünülürse bu boşluklar boyutları itibariyle kılcal boşluklar olarak kabul edilebilir ve kılcal boşluklar gibi davranabilirler. Hamur içerisinde birbirleri ile bağlantılı bir ağ oluşturan Hadley taneleri, çatlağın da kolayca ilerleyebileceği bir yol oluşturabilirler [29].

Hava boşlukları :

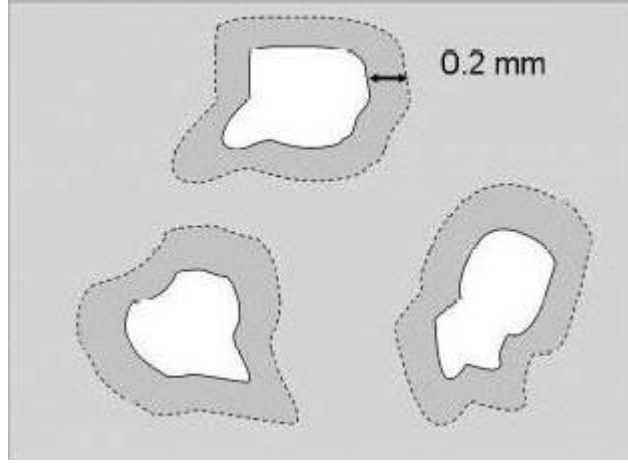
Hava boşlukları, kılcal ve jel boşluklarına göre daha büyük boyutlarda (mm mertebesinde), küresel şekilli boşluklardır. Bu boşluklar beton içerisinde harç fazında karıştırma sonucu oluşan düzensiz yapıdaki hapsolmuş hava boşlukları, fazla karma suyunun buharlaşması sonucunda oluşan hava boşlukları veya isteğe bağlı olarak hava sürükleyici katkılar yardımı ile oluşturulan, boyutları 10-250 µm mertebesinde olan küresel şekilli, birbirleri ile bağlantıları olmayan hava boşlukları şeklinde olabilirler [1]. Boyutları itibari ile kılcal ve jel boşluklarından daha büyük boyutta olduklarından boşlukların artması dayanımın düşmesine neden olur. Hava boşluklarındaki her %1'lik artışın betonun dayanımını yüzde 2 ile 6 arası zayıflattığı görülür [30]. Diğer taraftan hapsolmuş hava boşlukları beton içerisindeki kılcal boşlukların yollarını kestiğinden bu bölgelerde hazne görevi görüp, betonun kılcal geçirimliliğini düşürür. Bu da dayanıklılığın artmasına neden olur. Betonlarda uygulamaya göre değişen karma, taşıma ve yerleştirme gibi işlemlerde hava boşluğu

miktarı ve özellikleri değişebilir ve dolayısıyla beton dayanıklılığı etkilenir [31]. Hava boşlukları hamur içerisinde hava kabarcıkları şeklinde bulunduklarından, bunların miktarını ve hamur içerisindeki dağılımını karışımın sadece su/çimento oranı değil, kullanılan katkı tipi, karıştırma koşulları (karıştırma hızı, süresi ortam koşulları vb.) ve kalıba yerleştirme sırasında uygulanan yerleştirme şekli ve süresi de belirler [29].

Betonun donma direncini artırmak için donma sırasında itilen suyun, yakındaki bir boşluk içine girmesini sağlamak gerekir [32]. Bunun için beton içerisine düzenli bir şekilde dağılmış küçük hava boşluklarına ihtiyaç vardır. Hava boşlukları bilhassa küçük olanlar birbirleriyle bir araya gelir, yok olur veya içlerindeki yüksek basınçtan dolayı çözelti içerisinde kaybolurlar. Karıştırmadan doğan küçük hava boşluklarının yok olmaması ve beton içinde kalmasını temin etmek için betona hava sürükleyici katkılar eklenir ve bu tip küçük hava boşluklarına sürüklenmiş hava boşlukları denir [31]. Her boşluk çevresindeki 0,2 mm genişliğinde bir bölgeyi korur. Şekil 2.1 betona iyi bir şekilde yayılmış sürüklenmiş hava boşluklarının betonu nasıl koruduğunu, şekil 2.2 ise hapsolmuş hava boşluklarını göstermektedir. Şekil 2.2’ den de görüleceği gibi hapsolmuş hava boşluklarının koruma bölgesi de 0,2 mm dir. Aynı toplam hacimdeki sürüklenmiş hava boşluklarının ne kadar daha fazla bölgeyi koruduğu görülmektedir [31].

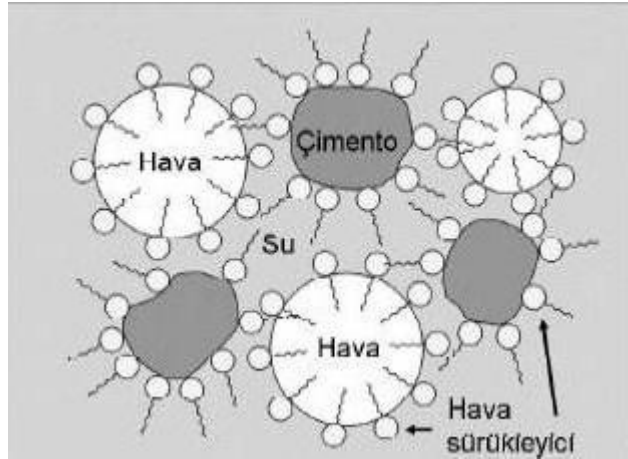


Şekil 2.1 : Sürüklenmiş hava boşlukları ve korudukları bölge [31].



Şekil 2.2 : Hapsolmuş hava boşlukları ve korudukları bölge [31].

Hava sürükleyici katkıları; yüzey gerilmelerini azaltır, hava boşluklarının bir araya gelmesini önler ve hava boşluklarını çimento ve agrega parçalarına sabitlerler ve böylece küçük hava boşluklarının beton içerisinde kalmasını sağlarlar. Hava sürükleyici katkıların çalışma mekanizması Şekil 2.3’ de gösterilmektedir [31].



Şekil 2.3 : Hava sürükleyici katkıları küçük boşlukları stabilize ederler [31].

Betonların donma-çözülme olaylarına karşı dirençli olabilmesi ve su ile temas ettiği bölgelerde donma direnci gösterebilmesi için sürüklenmiş hava boşlukları ile korunması gerekir. Uçucu kül, silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı gibi ilave mineral ve kimyasal katkıları sertleşmiş beton içerisindeki hava boşluğunun miktarını ve özelliklerini etkilerler [33-35].

2.2.1.3 Kalıbın tam dolduralamaması nedeni ile meydana gelen boşluklar

Bu boşluklar, özellikle betonarme yapılarda betonun iyi yerleştirilememesi ya da betonun yerleşmesinin herhangi bir şekilde engellenmesi ve bu yerleşmeyi iri agrega

tanelerinin takip edememesi sonucunda oluşan iri boşluklardır. Bunlar birbirleriyle bağlantılı da olduklarından sıvı akımını artırır [27.36.37.38].

2.2.2 Sertleşmiş çimento esaslı malzemelerde sıvı iletimi

Su geçirimsizliği nedeniyle betonda oluşacak hasarları önleyebilmek açısından beton içindeki rutubet hareketinin mekanizmasını bilmek gerekir [11]. Betonda rutubet hareketi üç şekilde gerçekleşir.

i) Geçirimsizlik (Permeabilite): Sıvının beton boşlukları içinde bir hidrostatik basınç farkı sonucu bir yüzden öbür yüze ilerlemesidir. Geçirimsizlik olayı, belirli bir sıvı basıncı altında ve doymuş durumdaki betonlarda görülür. Basınç altındaki akışkanların beton içerisinden geçmesi, boşluklu ortamda sıvının laminar bir akımla hareket etmesi sonunda meydana gelen bir olaydır.

ii) Kılcal su emme: Betonun kılcal boşlukları içerisine, suyun yüzey gerilimi etkisiyle emilmesi olayıdır. Kılcal su emme; betonun su ile temas etmesi sonucunda suyun, betonun kılcal boşlukları içerisinde yükselmesidir.

iii) Difüzyon: Betonun boşluklarında iki bölge arasındaki mevcut buhar basıncı farkı dolayısıyla meydana gelen su buharı akımıdır ve daha çok doymuş olmayan durumdaki betonlarda meydana gelmektedir [39].

Betonda gereken tedbirler alınmazsa, içerisine su veya diğer zararlı sıvılar girdiğinde tekrar eden donma-çözülme olaylarına maruz kalırsa, kısa zamanda kullanılmaz hale gelebilir. Geçirimsizlik ve boşluk yapısı, betonun donma-çözülme performansı üzerinde etkili parametrelerdir.

2.2.3 Sertleşmiş çimento esaslı malzemelerde donma-çözülme olayı

Buza dönüşen suyun hacmi yüzde 9 artar ve beton içerisinde gerilmeler oluşur. Betonda suyun bulunacağı yerler genellikle çimento hamuru içerisindeki jel ve kılcal boşluklar ile agregalar arasındaki boşluklardır. Bu hacim genişlemesini karşılayacak boşluğu olmayan beton, kritik doymuşluğa erişir ve hacim genişlemesi sonucu itilen suyun yaptığı hidrolik basınç yüzünden yüksek gerilmeler meydana gelir [30]. Hidrolik basıncın değerini belirleyen, donma hızı, doymuşluk derecesi, hamur geçirimsizlik katsayısı ve suyun serbest yüzeye varması için katettiği mesafedir. Cisim içerisinde su birden bire değil de yavaş yavaş donabilir [40]. Suyun bir kısmının donması sonucu çimento hamuru içerisinde yoğunluk farkından dolayı henüz hiç

buzlanmamış düşük konsantrasyonlu bölgeden buzlanmış bölgeye su moleküllerinin osmotik basıncı başlar [41]. Nitekim henüz donmamış bölgelerde rötre meydana gelirken donmuş bölgelerde ise genleşme vardır. Litvan absorbe suyun donma hasarında en etkin faktör olduğunu söylemektedir [42]. Buzlaşmayan aşırı soğuk absorbe su ile buz arasında doğan buhar basınç farkı, suyu donabileceği boşluk ve çatlaklara yöneltir, bu arada hamurda yerel kurumalar ve rötreler de oluşur. Suyun yeniden düzenli bir biçimde dağılamaması hasarın nedenidir. Düzenli dağılmayı önleyen faktörler ise suyun fazla olması (su/çimento oranı yüksek), ani soğuma ve hava sürüklemenin yetersizliği nedeniyle suyun katedeceği mesafenin fazla uzun olmasıdır. Betonun donma-çözülme hasarında çimento hamuru kritik doyma derecesinde ise problemler ortaya çıkar. Hamur kalitesini etkileyen faktörler de su/çimento oranı, dozaj ve kür gibi geçirimliliği etkileyen niteliklerdir [10].

Donma olayı sonunda cisimlerde iç gerilmelerin oluşması ve cismin hacminde bir artış meydana gelmesinden dolayı bu olay cismin fiziksel ve mekanik özelliklerinde bir takım değişikliklerin meydana gelmesine yol açar [40].

Betonun fiziksel özelliklerinde ,

i) Numunede meydana gelen döküntülerden ve kopmalardan dolayı cismin ağırlığında azalmalar olur.

ii) İç gerilmelerin meydana getirdiği gerilmelerin ve hacmin artmasının etkisiyle betonun boşluk miktarında bir artış olur.

iii) Betonun boşluk yapısında donma olayının etkisiyle büyük değişiklikler meydana gelir.

Boşluk hacminin artması, kılcal boşlukların çaplarının artmasına neden olur. Çapların büyümesi kılcal basıncın değerini düşürür. Bunun sonucunda kılcallık katsayısı küçülerek kılcallık yolu ile betonun içine daha az su girer. Kılcallık katsayısındaki azalma, betonun iç yapı değişikliği hakkında bize fikir vermesi bakımından çok önemlidir. İç gerilmelerin çatlaklar meydana getirmesi sonunda kapalı boşlukların miktarında bir azalma olur iken açık boşluk miktarında bir artış görülür. Bu değişiklik betonun geçirimliliğinin artmasıyla kendini gösterir.

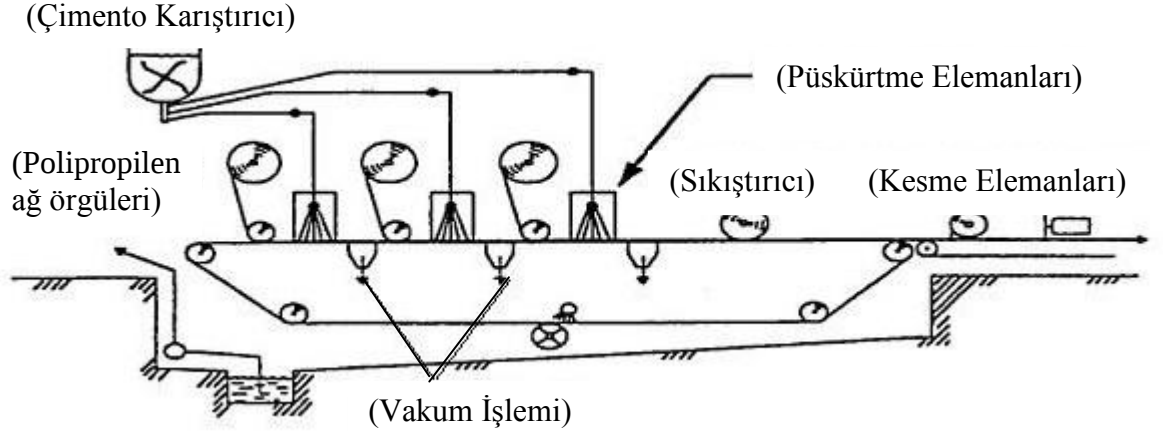
Betonun mekanik özelliklerdeki değişiklikler ise mekanik mukavemetlerin (basınç, eğilme, çekme) büyük ölçüde azalmasıyla kendini gösterir [40].

Sertleşmiş ve suya doygun haldeki bir beton donma-çözülme etkisinde kalınca, çimento harcının içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve genişir. Çözülmeyi takip eden yeniden donma sonunda bu genişleme miktarı kümülatif olarak artar. Bu nedenle peş peşe donma-çözülme olaylarının etkisi, çözülmenin meydana gelmediği uzun süreli don etkisine kıyasla çok daha kuvvetlidir. Bu durum bir önceki donma periyodunda meydana gelmiş ince bir çatlağın yeniden donma sırasında genişleyip büyümesiyle açıklanabilir. Genleşme sonucu oluşan gerilmelerin betonun çekme dayanımını aşması halinde betonda kabuk atma, çatlama, ufalanma şeklinde bozulmalar görülür. İlginç bir çelişki ise kalitesiz, yeterli sıkışmamış betondaki çok büyük boşlukların (ki bunlar çoğunlukla hava ile doludurlar) genellikle don etkisinden zarar görmemeleridir [43].

2.3 Çimento Esaslı Malzemelerin Üretim Teknikleri

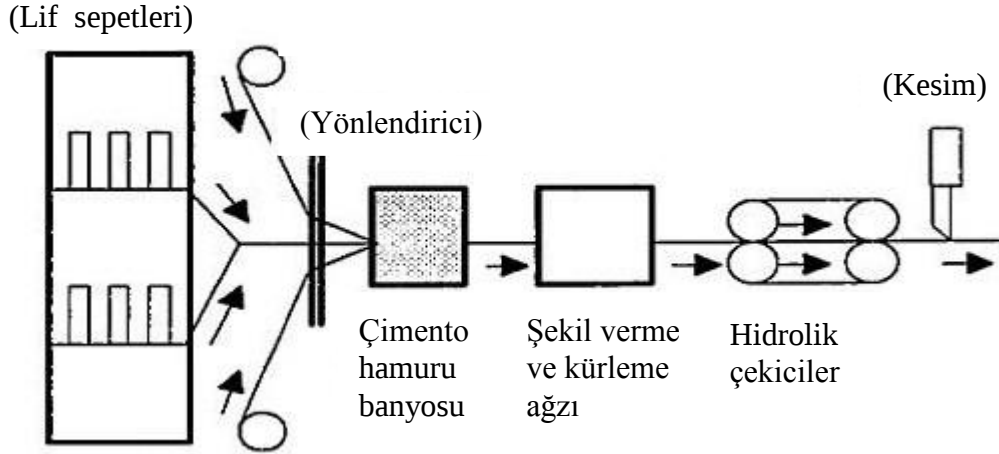
Geleneksel üretim tekniklerinin yanında, üretimi hızlandırmak, performansı arttırmak, lif donatılı kompozitlerin üretimini kolaylaştırmak gibi amaçlarla birçok yeni üretim tekniği geliştirilmiştir. Reticem, pultrüzyon, slurry infiltration, spray-suction (püskürtme) ve ekstrüzyon işlemleri, yüksek performanslı 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 [44].

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 [45]. Reticem işleminin üretim süreci Şekil 2.4' de gösterilmektedir.



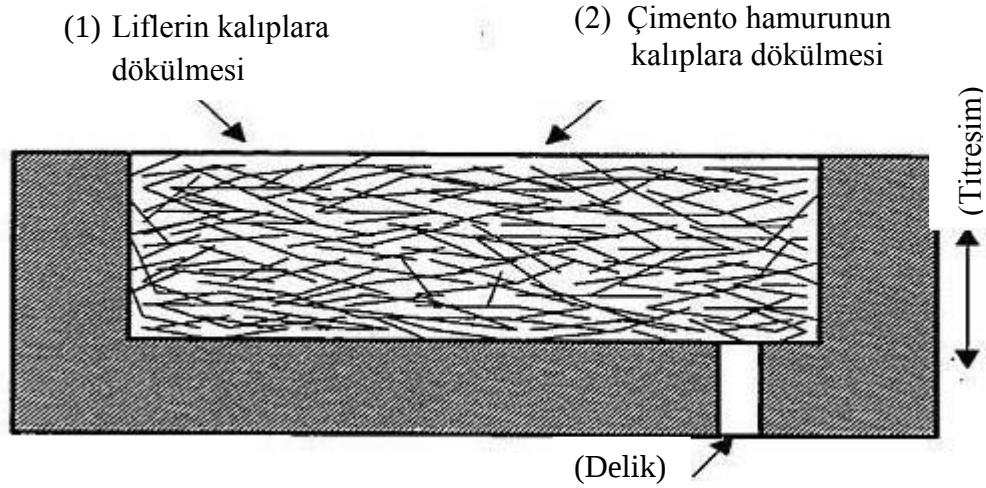
Şekil 2.4 : Reticem üretim süreci [46].

Pultrüzyon işlemi, sürekli lifler ile matrisin birleştirilmesidir. Çimento hamuru ile doyurulan lifler, çimento hamurunun fazlalığı alınarak ince bir kesit oluşturabilmek için basınçlı bir ağızdan çekilir [46]. Pultrüzyon işleminin üretim süreci Şekil 2.5’ de gösterilmektedir.



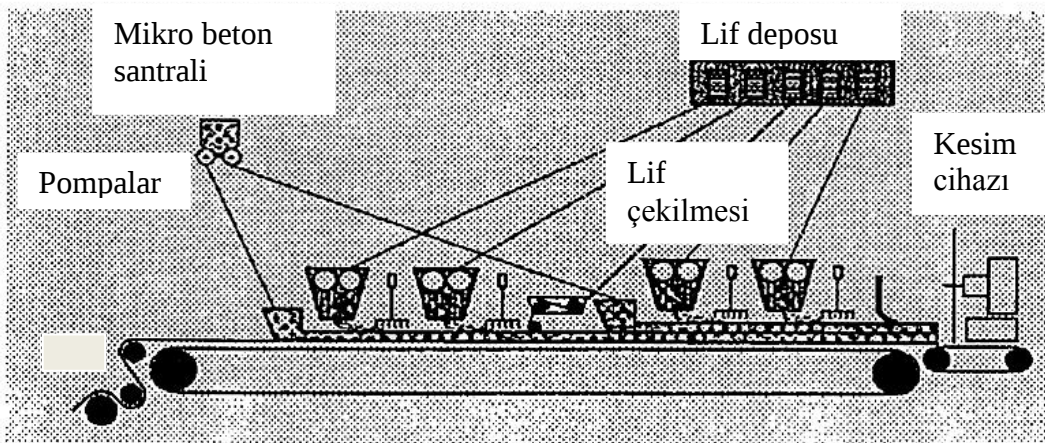
Şekil 2.5 : Pultrüzyon üretim süreci [46].

Slurry infiltration tekniği, SIFCON (Slurry Infiltrated Fibered Concrete) olarak bilinen çelik lif donatılı beton ürünlerin ve kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır [47]. SIFCON, önceden kalıplara konulmuş çelik liflerin içerisine çimento hamurunun dökülmesi ve hamurun liflerin arasındaki boşluklara sızabilmesi için titreşim uygulanmasıyla elde edilir [46]. Slurry infiltration işleminin üretim süreci Şekil 2.6’ da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Slurry infiltration üretim süreci [46].

Spray-suction (püskürtme) tekniği, kısa cam lif donatılı kompozit üretiminde kullanılmaktadır [48]. 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 [49]. Spray-suction işleminin üretim süreci Şekil 2.7’ de gösterilmektedir.

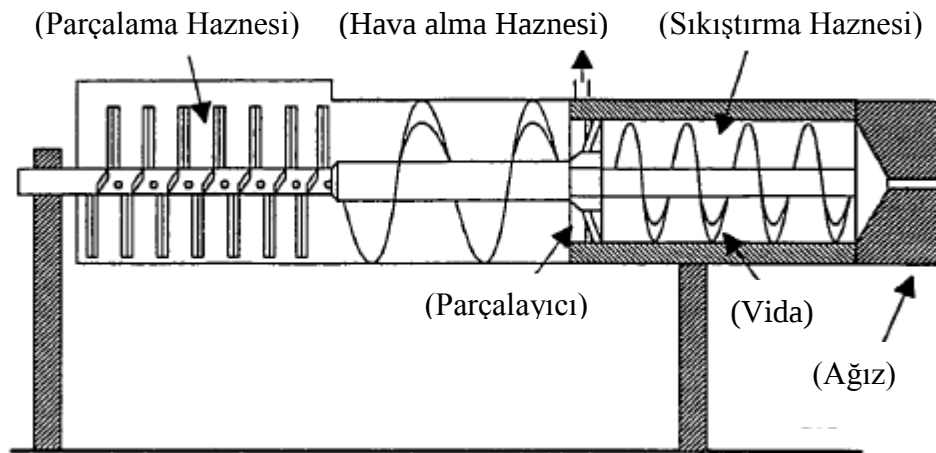


Şekil 2.7 : Spray-Suction üretim süreci [46].

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

2.4 Ekstrüzyon Teknolojisi

Ekstrüzyon, malzemelere plastik şekil vermede kullanılan bir üretim tekniğidir [50]. Daha çok ilaç, gıda, polimer gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır [51,52,53]. Bu işlem genellikle sürekli üretim gerektiren mamuller için kullanılmaktadır [54]. 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 [46]. Ekstrüzyon işleminin gerçekleştirildiği cihazlara ekstrüder denir. Vidalı (Auger) ve pistonlu olmak üzere iki çeşit ekstrüder vardır. Vidalı ekstrüder Şekil 2.8’de, pistonlu ekstrüder ise Şekil 2.9’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 [44]. Vidalı ekstrüder sürekli üretim için uygun olduğundan, istenilen uzunlukta elemanlar üretilebilir [55]. Vidalı ekstrüderler genellikle büyük çaplı ticari uygulamalarda kullanılırken, pistonlu ekstrüderler ise küçük çaplı laboratuvar çalışmalarında kullanılan ve sürekli üretim yapılamayan ekstrüderlerdir [55].

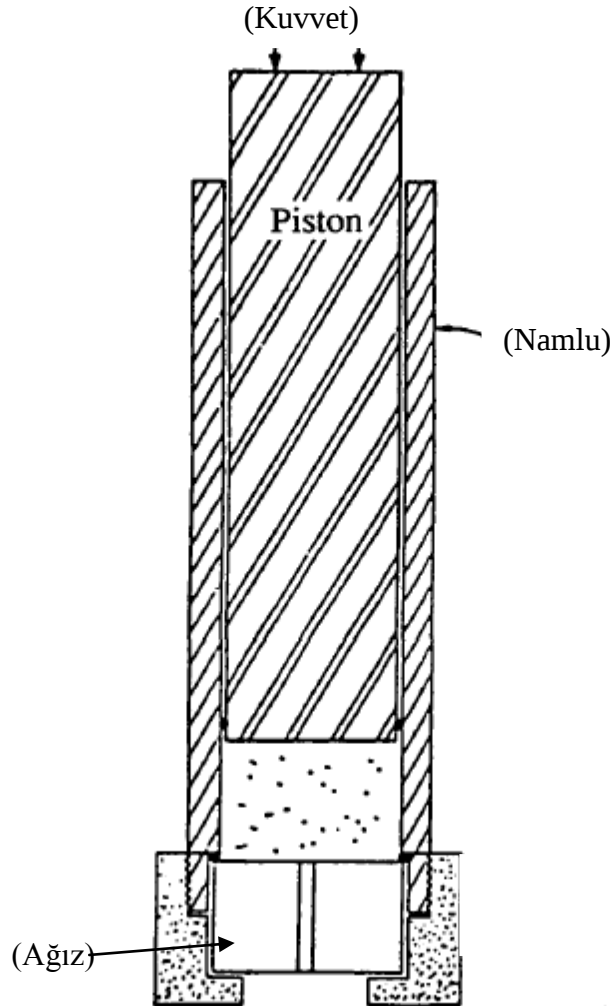


Şekil 2.8 : Vidalı ekstrüder şeması [46].

Ekstrüzyonla üretim işlemi, malzeme karışım birleşiminin belirlenmesi, malzemenin karıştırılması, ekstrüzyon ve kurlanmadan oluşmaktadır [46].

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 [46].

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 [2].

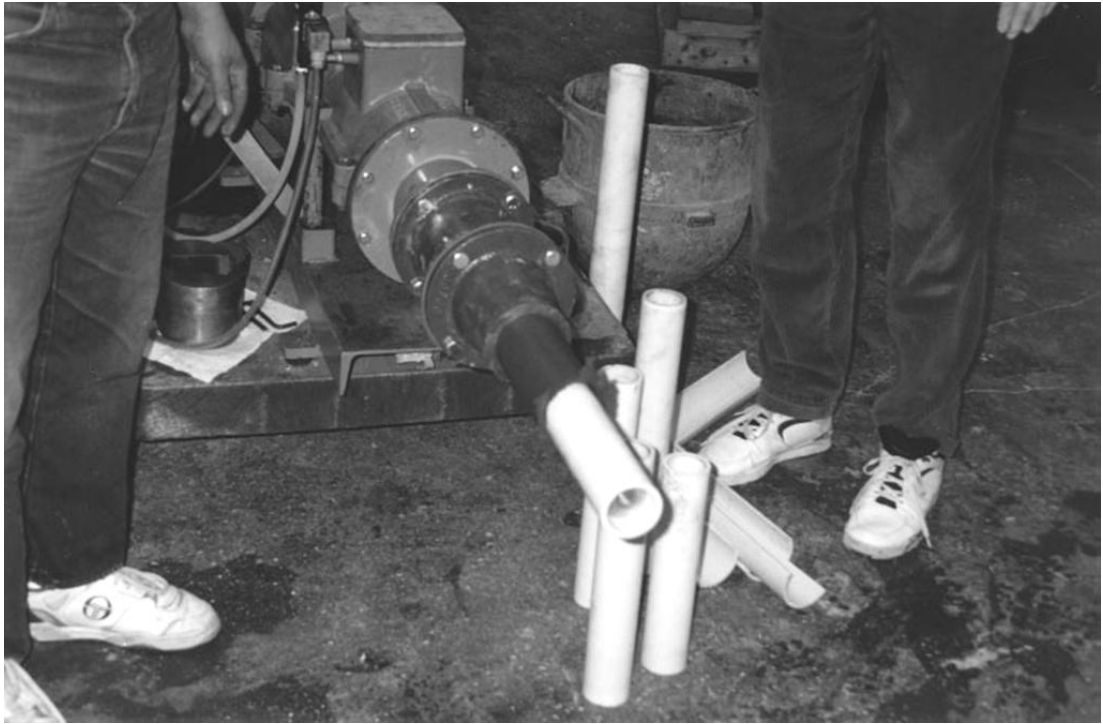


Şekil 2.9 : Pistonlu ekstrüder şeması [46].

2.5 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 [54].

ÇEM' in ekstrüzyonunda, viskozitesi yüksek ve katı olan hamur, yüksek basınç ve kayma kuvvetleri altında, istenilen kesit şekline sahip bir ağızdan geçirilmektedir [55]. Ekstrüzyon işlemi sırasında uygulanan yüksek kayma ve basınç gerilmelerinin, ürünlerin mekanik özelliklerini geliştirdiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir [56,57]. Vidalı ekstrüder ile yapılan ekstrüzyon işlemi Şekil 2.10' da gösterilmektedir.



Şekil 2.10 : Ekstrüzyon işlemi ile ÇEM üretimi [50].

ÇEM' in ekstrüzyonundan önce yapılan karıştırma işlemi, ekstrüzyonun başarılı olabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Karışımındaki tüm tanecikler ve lifler üniform olarak dağılmalıdır. Ancak, karıştırma işleminin son safhalarında elde edilen karışımın çok katı olması üniform dağılım sağlamayı oldukça zorlaştırmaktadır [46].

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 [46].

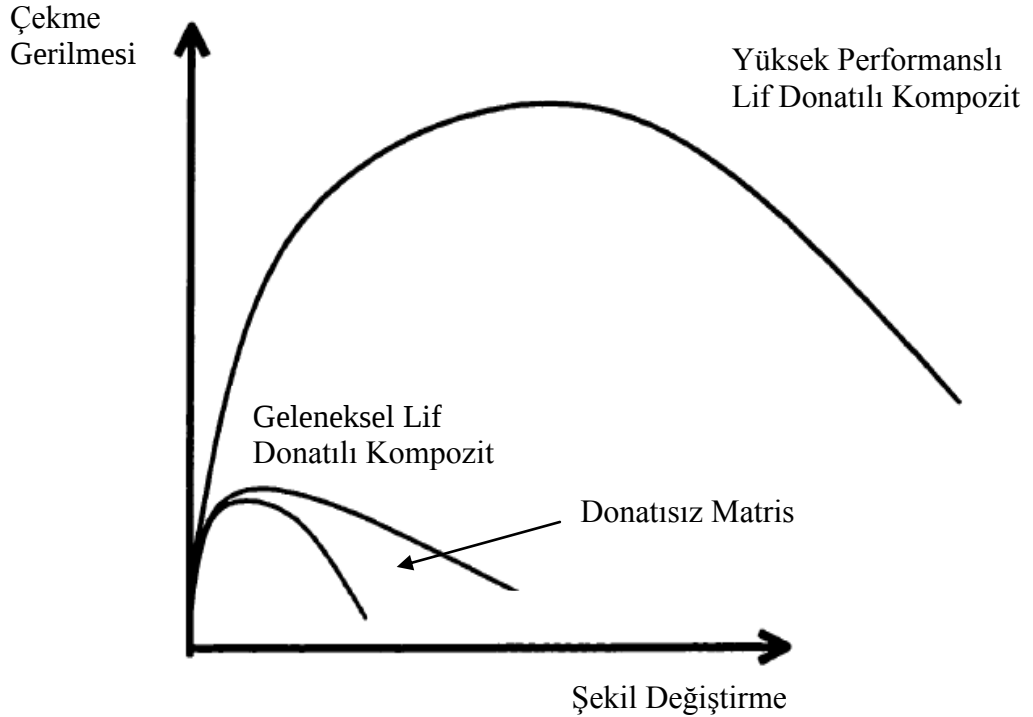
Ekstrüzyon yöntemi, ürün kesit tasarımı açısından birçok farklılıklar sunmaktadır. Ağız değişimi yapılarak farklı kesitlerdeki ürünler ekstrüde edilebilmektedir. İnce levhalar, borular ve açık gözenekli paneller başarıyla üretilmiş olan ekstrüde ürünlerdir [50,56,58,59]. Bazı çalışmalarda, lif donatılı çimento esaslı boruların basınç veya kanalizasyon borusu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır [50,58]. 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 [50]. 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 üretilbileceğini belirlemişlerdir [58]. 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 [60].

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 [61].

Uçucu kül, silis dumanı ve cüruf gibi atık malzemeler ekstrüde matrislere başarılı bir şekilde dâhil edilmiştir [59,62,63]. Bu malzemelerin puzolanik olmalarından dolayı kısmi olarak çimentonun yerine kullanılabilir olması çevresel ve ekonomik olarak önemli bir avantaj sağlamaktadır [55].

2.6 Ekstrüzyon Tekniği ile Üretilen Çimento Esaslı Malzemelerin Özellikleri

Çimento esaslı malzemeler, çekme dayanımları ve toklukları düşük olan ve şekil değiştirme yumuşaması davranışı gösteren malzemelerdir [44,46]. ÇEM' in çekme dayanımını ve tokluğunu arttırmak ve çekme davranışını değiştirebilmek amacıyla malzemeler lifler ile donatılmaktadır. Geleneksel döküm yöntemleriyle üretilen lif donatılı kompozitlerde, işlenebilirlik sorunları nedeniyle en fazla %1 oranında (hacim olarak) lif kullanılabilmektedir [44,46]. Geleneksel lif donatılı kompozitlerin çekme dayanımların da 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 [44,46,55]. Yüksek performanslı lif donatılı ekstrüde kompozitlerde %8 oranında (hacim olarak) lif kullanılabilmektedir [55]. Lif içermeyen, geleneksel lif donatılı ve yüksek performanslı ÇEM' in gerilme-şekil değiştirme davranışlarının karşılaştırılması Şekil 2.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Lif içermeyen, geleneksel lif donatılı ve yüksek performanslı ÇEM' in gerilme-şekil değiştirme diyagramlarının karşılaştırılması [44].

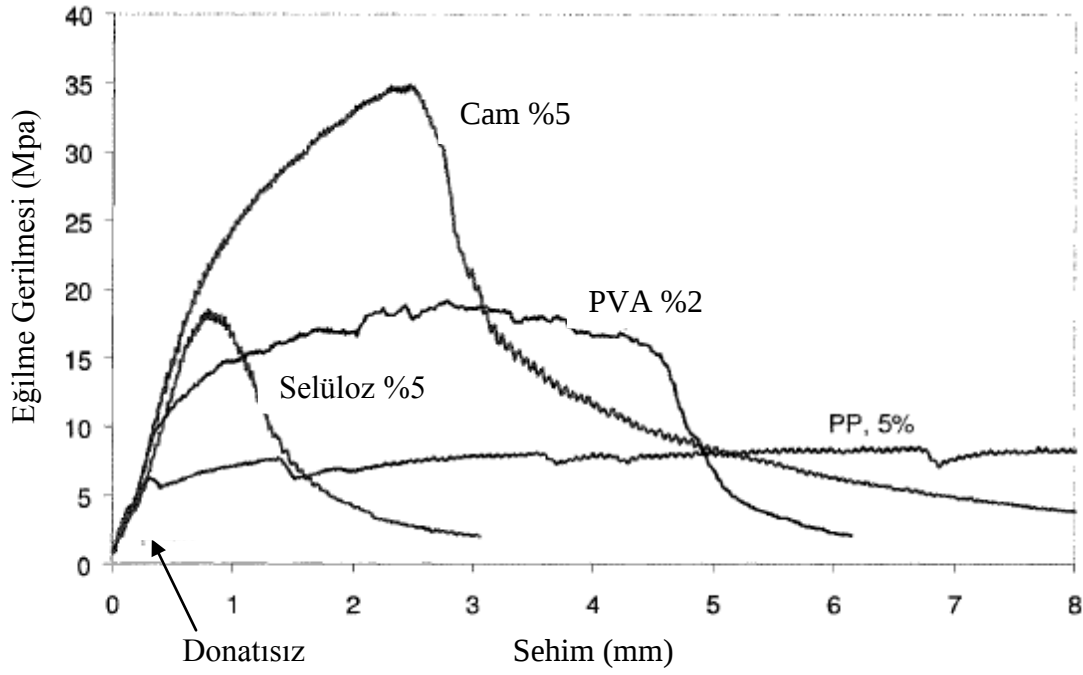
Çimento esaslı ekstrüde malzemelerde, hedeflenen performansa bağlı olarak malzeme bileşenleri belirlenmektedir. Malzemelerin geliştirilebilmesi amacıyla çeşitli tipte ve uzunlukta lif donatıları, kimyasal ve mineral katkı maddeleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı geometrik şekillerde numuneler 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 4 mm ve 6 mm, oranları ise %2,2 ve %4,2 olan (Hacim olarak) PVA lifleri kullanılırken, mineral katkı maddesi olarak, 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 25 mm olan kare prizma, iç çapı 60 mm ve kalınlığı 12 mm olan boru ve genişliği 76 mm, kalınlığı 5 mm olan ince levha başarıyla üretilmiştir. Levhalar üzerinde çekme ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Üç noktalı eğilme deneyi sonuçlarına göre, numunelerin eğilme dayanımları 18MPa ve 26MPa aralığında değiştiği ve lif oranındaki artışın, eğilme dayanımını arttırdığı belirlenmiştir [46].

Akkaya, lif uzunluğunun ve kum oranının lif donatılı çimento esaslı dökme ve ekstrüde kompozitlerin mekanik performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada 2 mm, 4 mm ve 6 mm 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 kıaldıkça 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 kullanımın, 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 [44].

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 6 mm, 12 mm 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 100 mm ve kalınlığı 6 mm olan boru ve genişliği 300 mm ve kalınlığı 30 mm olan hücre boşluklu panel olmak üzere üç farklı kesitte ürün üretilmiştir. Üretilen numunelere, çekme, darbe ve donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına 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 [54].

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, 50,4 mm genişliğinde ve 8 mm 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 2.12 'de gösterilmiştir [55].



Şekil 2.12 : Lifli ve lifsiz ekstrüde kompozitlerin eğilme gerilmesi-sehim grafiği[55].

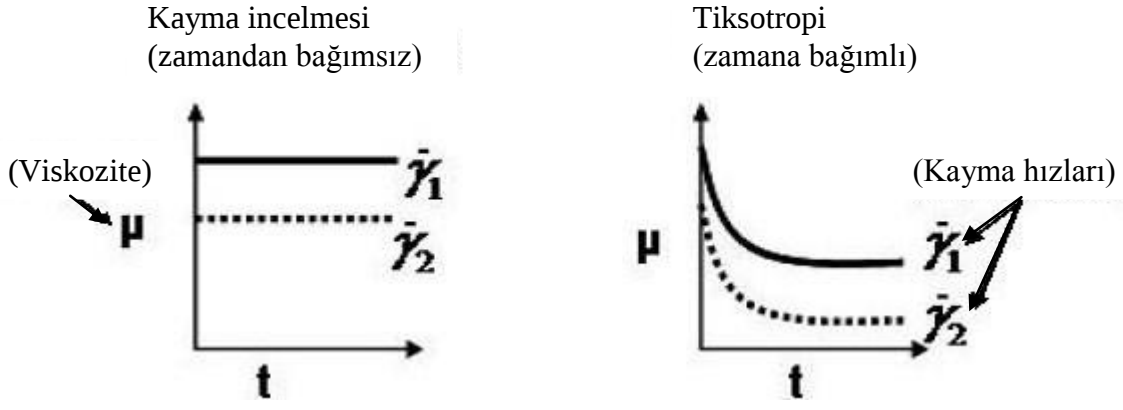
Northwestern Üniversitesindeki çalışma grubu, kısa lif donatılı çimento esaslı kompozit üretiminde tek vidalı ekstrüder kullanarak levha ve boru gibi farklı kesitlerdeki ürünleri başarıyla üretmişlerdir [56]. Kısa lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin özelliklerinin büyük oranda üretim yöntemlerine 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, ara yüzlerde kuvvetli bağların oluşması ve yüksek kayma ve basınç kuvvetleri altında liflerin hizalanması gösterilmektedir [57]. 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 [64].

Araştırma sonuçları ekstrüde kompozitlerin yoğun olduğunu, lif ve matris arasındaki bağların kuvvetli olduğunu ve içerisindeki liflerin ekstrüzyon doğrultusunda hizalandığını göstermiştir [65-69].

2.7 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 [54]. Taze haldeki malzemede oluşan kusurlar, sertleşmiş haldeki mekanik özellikleri etkileyebilir ve malzemenin estetik açıdan kötü gözükmesine neden olabilir [55].

Ekstrüzyon işleminde, önceden karıştırılmış çimento esaslı taze karışımın viskozitesi oldukça önemli bir niteliklerdir. 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 [46]. Çimento esaslı malzemeler, reolojik davranış açısından genellikle tiksotropiktir [55]. 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 incelmesinin reolojik davranışları Şekil 2.13 'de gösterilmektedir [70].



Şekil 2.13 : Kayma incelmesi ve tiksotropi [69].

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 [63]. Moras ve Shao ise penetrasyon deneyi sonucunda elde ettikleri penetrasyon sayılarını, viskozitenin göstergesi olarak kullanmışlardır [71]. 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 [55].

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 2.14' 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 [65].

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

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

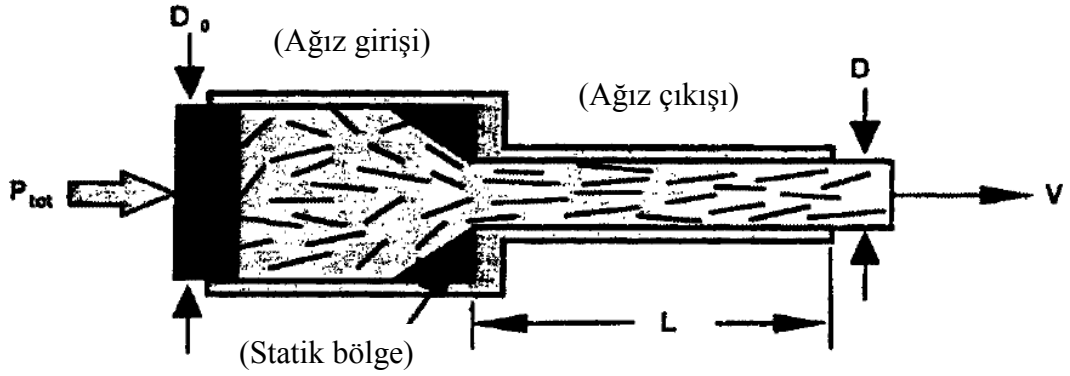
D_0 = Ağız giriş çapı L = Ağız çıkışını uzunluğu

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

α = Ağız girişindeki hız faktörü



Şekil 2.14 : Ağız kalıbının şeması [65].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Kullanılan Malzemeler 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.

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

3.1.2 Silis kumu

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

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

Agrega	Özgöl 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/cm³ olan kuvars unu kullanılmıştır. Kuvars ununun elek analizi sonuçları Çizelge 3.4’ de 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 maddeleri

Süperakışkanlaştırıcı olarak Epo Yapı Kimya firmasının ürünü olan yüksek oranda su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin yoğunluğu 1.24 kg/dm³, 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 3 mm 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’ de 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 3 mm uzunluğunda PP lifleri kullanılmıştır.

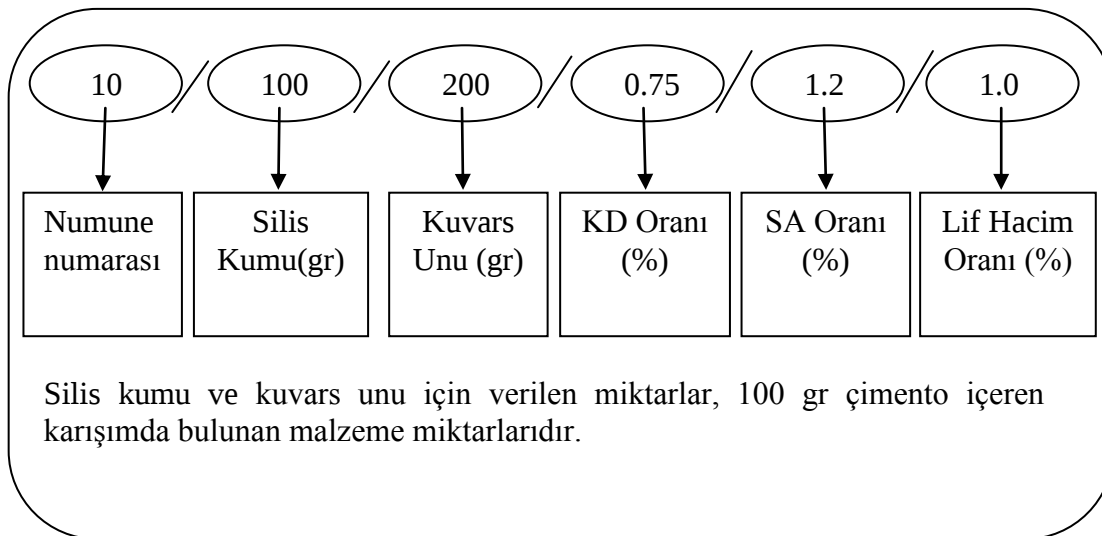
Çizelge 3.5 : Karışım oranları (1).

100 gr çimento içeren karışımlarda bulunan malzeme miktarları	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

Çizelge 3.6 : Karışım oranları (2).

100 gr karışım içerisindeki malzeme miktarları	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	86,58	10,82	0	0,52	2,08	0
	2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	2	86,28	10,79	0	0,86	2,07	0
	3/25/10/1.0/2.4/0	3	72,91	18,23	6,38	0,73	1,75	0
	4/50/50/1.0/2.4/0	4	48,76	24,38	24,38	0,73	1,76	0
	5/100/200/1.0/2.4/0	5	24,38	24,38	48,76	0,73	1,76	0
	6/100/200/1.00/1.8/0	6	24,49	24,49	48,97	0,73	1,32	0
	7/100/200/0.75/1.8/0	7	24,53	24,53	49,06	0,55	1,32	0
	8/100/200/0.45/1.2/0	8	24,69	24,69	49,39	0,33	0,89	0
	9/100/200/0.75/1.2/0	9	24,64	24,64	49,28	0,55	0,89	0
	10/100/200/0.75/1.2/1.0	10	24,46	24,46	48,92	0,55	0,88	0,73
	11/100/200/0.75/2.4/0	11	24,42	24,42	48,85	0,55	1,76	0
	12/100/200/1.25/1.8/0	12	24,44	24,44	48,88	0,92	1,32	0
	13/100/200/1.50/1.8/0	13	24,40	24,40	48,79	1,10	1,32	0
	14/100/200/0.75/1.2/0.5	14	24,55	24,55	49,10	0,55	0,88	0,37

Numune kodlamasındaki sayılar sırasıyla; numune numarasını, 100 gr çimento içeren karışımındaki silis kumu miktarını, kuvars unu miktarını, kıvam düzenleyici/ince malzeme oranını, süperakışkanlaştırıcı/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 100 gr silis kumu, 200 gr kuvars unu, %0.75 oranında kıvam düzenleyici, %1.2 oranında süperakışkanlaştırıcı ve %1 oranında lif 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 100 cm, düşey vidanın uzunluğu ise 40 cm dir. Ekstrüderin giriş kovanının altında malzemelerin parçalandığı 2 adet silindir bulunmaktadır. Ekstrüderin çıkışında ise ağız bölümü yer almaktadır. Ekstrüderin ağız, genişliği 50 mm, yüksekliği 100 mm ve duvar kalınlığı 10 mm olan dikdörtgen kesitli boru üretimi için uygun olarak tasarlanmıştır. Ekstrüder ağız Şekil 3.3' de gösterilmektedir. Malzeme, giriş kovanından ekstrüdere atıldığında ilk olarak girişte yer alan silindirlerle parçalanır. Parçalanan malzeme, silindirlerin altında bulunan yatay vidanın döndürme kuvveti ile ileriye doğru ittilir. Malzeme yaklaşık 40 cm 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 60 cm 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 ağızından yavaşça dışarı çıkar ve kesit şekli bu aşamada verilir.



- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1 Yatay vida motoru | 6 Vakum emiş ağız |
| 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 | |

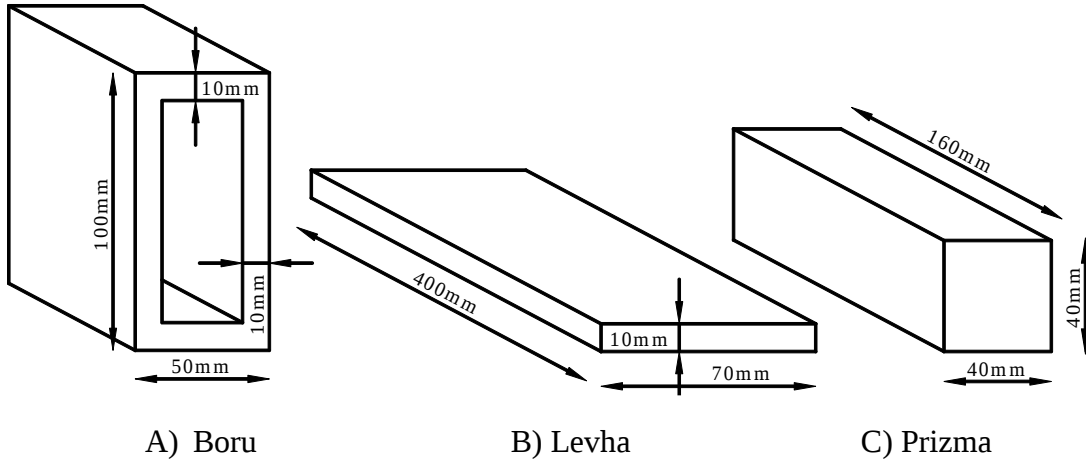
Şekil 3.2 : Vidalı ekstrüder.



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 kıvama 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 50 mm, yüksekliği 100 mm ve duvar kalınlığı 10 mm 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’ de 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 28 gün boyunca saklanmışlardır. Numuneler 28. günde iki ayrı gruba ayrılmıştır.

Birinci grup numune, 28. gün sonunda derhal mekanik ve fiziksel deneylere tabii tutulmuştur. Fiziksel deneyler kapsamında; su emme, kılcal geçirimsizlik ve birim hacim ağırlığı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik deneyler kapsamında da eğilme, basınç ve kırılma enerjisinin belirlenmesi deneyleri yapılmıştır. İkinci grup numune, malzemenin donma-çözülme performansını belirleyebilmek amacıyla donma-çözülme döngüsüne tabii tutulmuştur. Donma-çözülme döngüsünde numuneler, 8 saat 22 ± 2 °C’de suda çözündürme ve 16 saat -23 ± 2 °C’de dolapta dondurma olacak şekilde donma-çözülme döngülerine maruz bırakılmıştır. 35 döngü

sonunda donma-çözölme döngüsünden çıkan numunelere, 28. günde uygulanan mekanik deneyler uygulandı. Söz konusu numunelere ayrıca donma-çözölme döngüleri sonunda meydana gelebilecek ağırlık kaybının tespiti amacıyla ağırlık kaybı deneyleri yapılmıştır.



a) Uzun Boru Numune

b) Kısa Boru Numune

Şekil 3.5 : Dikdörtgen kesitli boru numuneler.

3.4 Sertleşmiş Haldeki ÇEM Üzerinde Yapılan Deneyler

Ekstrüzyon tekniği kullanılarak üretilen çimento esaslı malzemelerin, durabilite performanslarının belirlenmesi için donma-çözölme deneyleri uygulanmıştır. Donma-çözölme döngüsü tamamlandıktan sonra numuneler üzerinde donma-çözölme deneyleri kapsamında mekanik deneyler yapılmıştır. Mekanik deneylerin sonuçları, donma-çözölme döngüsü öncesi yapılan mekanik deneylerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler aşağıda özetlenmektedir.

3.4.1 Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyleri

Sertleşmiş haldeki çimento esaslı prizma numunelerin, fiziksel özelliklerindeki değişimleri belirlemek için birim ağırlık, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.

3.4.1.1 Sertleşmiş ÇEM’ de 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.

3.4.1.2 Sertleşmiş ÇEM’de su emme deneyi

Su emme oranı tayini için, 28 gün boyunca laboratuvar ortamında saklanan 3 adet prizma numune kullanılmıştır. Numuneler, kuru halde tartılarak ağırlıkları ölçüldükten sonra 24 saat boyunca suda bekletilmiştir. Bu süre sonunda numunelerin suya doymuş hale geldiği düşünülmüştür. Sudan çıkarılan numunelerin dış yüzeyi, nemli havlu ile hafifçe kurulanmış ve ıslak halde tartılarak ağırlıkları ölçülmüştür.

Numunelerin, 28. gün sonunda su emme oranları ayrı ayrı tespit edilmiş ve her bir üretimde kullanılan katkıların ve liflerin miktarlarının, su emme oranları üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Su emme oranlarının hesabı eşitlik 3.1’ de gösterilmektedir.

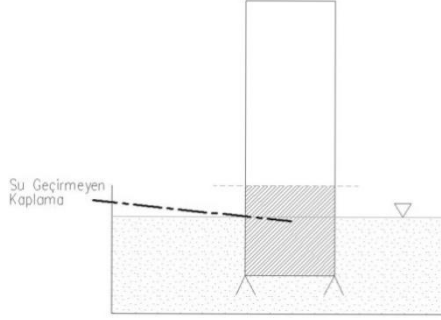
$$\text{Su Emme (\%)} = (W_d - W_0) / W_0 * 100 \quad (3.1)$$

Burada suya doymuş haldeki numune ağırlığını (gr), kuru haldeki numune ağırlığını (gr) ifade etmektedir.

3.4.1.3 Sertleşmiş ÇEM’de kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme deneyinde, 28 gün boyunca laboratuvar ortamında saklanan 3 adet prizma numune kullanılmıştır. Numunelerin, yalnızca su ile temas eden alt yüzeylerinden su emebilmesi amacıyla, yan yüzeyleri ısıtılmış parafin ile itinayla izole edilmiştir. Böylece Şekil 3.6’ da gösterilen düzenekte numunelerin sadece alt yüzeylerinin su ile temas etmesi sağlanmıştır. Kuru ağırlıkları ölçüldükten sonra, deney kodlarına göre tepsiye yerleştirilen numunelerin, 1dk, 4dk, 9dk, 16dk, 25dk, 36dk, 49dk, 64 dk ve 1 gün ölçümleri, 0.01 gr hassasiyete sahip elektronik terazide yapılmıştır. Her bir tartım esnasında dışarı alınan numunelerin alt yüzeyleri, nemli havlu ile hafifçe kurulandıktan sonra tartılmış ve sonra tekrar tepsiye yerleştirilmiştir. Bu deney yönteminde, numunenin sadece bir yüzü suyla temas etmektedir ve ölçülen betonun ağırlık artışından su emme oranının zamana bağlı verileri elde edilmektedir.

Numunelerin, 28. gün sonunda kılcal geçirimsizlik katsayıları ayrı ayrı tespit edilmiş ve her bir üretimde kullanılan katkıların ve liflerin miktarlarının, kılcal geçirimsizlik üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Kılcal geçirimsizlik katsayılarının hesabı eşitlik 3.2’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Kılcal su emme deneyi

$$Q^2 = k \cdot t \quad (3.2)$$

Burada Q birim alanda absorbe edilen su miktarını ve t zamanı ifade etmektedir.

3.4.2 Donma-çözülme deneyleri

3.4.2.1 Donma-çözülme ağırlık kaybı deneyi

Donma-çözülme döngüleri sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıplarının tayini için, 28 gün boyunca laboratuvar ortamında saklanan 3 adet prizma numune kullanılmıştır. Numuneler kuru halde tartılarak ağırlıkları ölçüldükten sonra donma-çözülme döngülerine maruz bırakılmıştır. Döngüler sonunda yüzeyinde kabuk atma veya ufalanmalar olan numunelerin yüzeyleri temizlenmiş ve tartılarak ağırlıkları ölçülmüştür.

Numunelerin, donma-çözülme döngüsü sonundaki ağırlık kayıpları ayrı ayrı tespit edilmiş ve her bir üretim de kullanılan katkıların ve liflerin miktarlarının, ağırlık kayıpları üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Donma-çözülme döngüleri sonunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıplarının hesabı eşitlik 3.3’ de gösterilmektedir.

$$\text{Ağırlık Kaybı (\%)} = ((W_d - W_0) / W_0) \cdot 100 \quad (3.3)$$

Burada donma-çözülme sonrası numune ağırlığını (gr) ve kuru haldeki numune ağırlığını (gr) ifade etmektedir.

3.4.2.2 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisinin tayini

Üç noktalı eğilme deneyi, donma-çözülme döngüsü öncesi ve sonrası prizma ve levha numuneler üzerinde uygulanmıştır. Bu deneyde, maksimum kapasitesi 100 kN olan Instron 5500 R kapalı çevrimli deplasman kontrollü deney makinesi kullanılmıştır. Deneyler, her bir üretimden 3 adet prizma numune ve 4 adet levha numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. 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 3.7’ de gösterilmektedir.

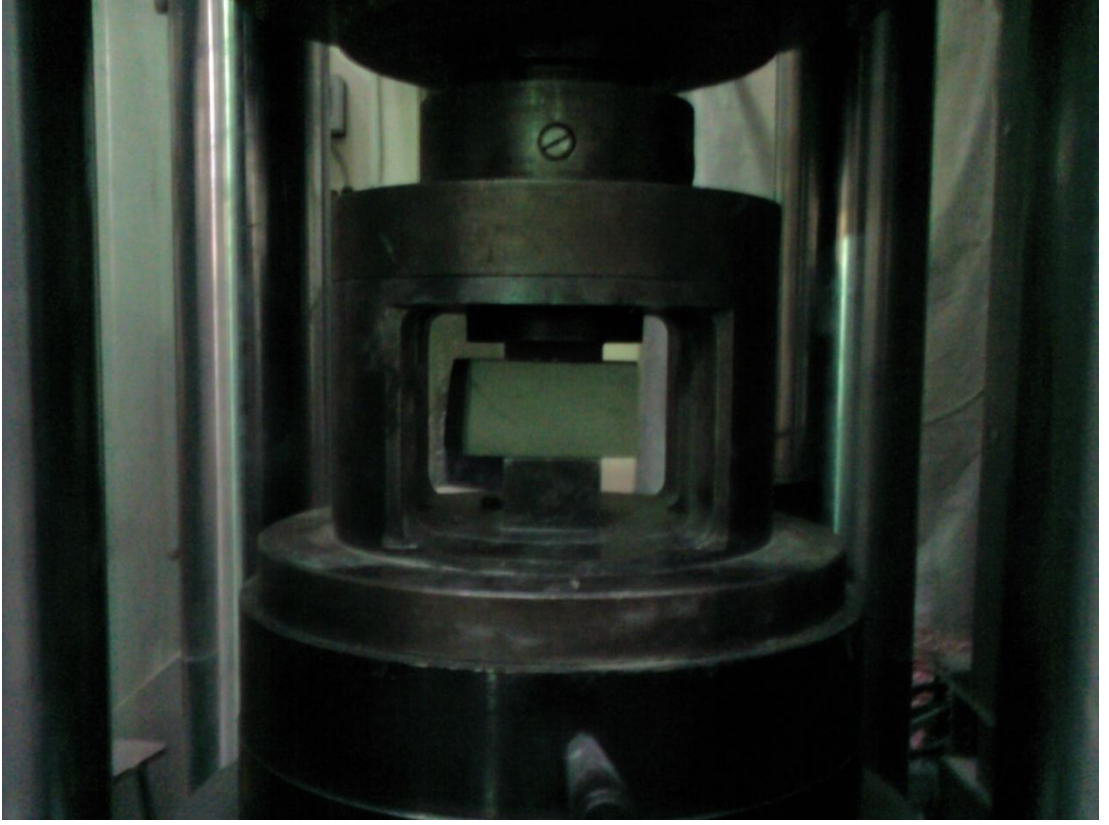


a) Levha numunelerde eğilme deneyi b) Prizma numunelerde eğilme deneyi

Şekil 3.7 : Üç noktalı eğilme deneyi.

3.4.2.3 Basınç deneyi

Donma-çözülme döngüsü öncesi ve sonrası, prizma numunelerde yapılan eğilme deneyleri 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 3.8’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : Basınç deneyi.

4. DENEYSEL SONUÇLARI

4.1 Su Emme ve Kılcal Su Emme Deney Sonuçları

4.1.1 Sertleşmiş ÇEM’de birim ağırlık deneyi sonuçları

Dikdörtgen kesitli uzun boru numunelerin ölçülen ağırlıklarının, boyutlarının ölçülmesinin sonucunda bulunan numune hacimlerine bölünmesiyle elde edilen numune birim ağırlıkları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : 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

4.1.2 Sertleşmiş ÇEM’de su emme oranı sonuçları

Laboratuvar ortamında 28 gün saklanan numuneler üzerinde yapılan su emme deneyi sonucunda, numunelerin donma-çözülme döngüleri öncesinde 3.1 eşitliği ile hesaplanan su emme oranları Çizelge 4.2 ‘de verilmiştir. Su emme oranı için verilen değerler 3 numune sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

Çizelge 4.2 : Su emme deney sonuçları.

Numune Kodu	Su Emme Oranı (%)
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	3,0
4/50/50/1.0/2.4/0	4,2
5/100/200/1.0/2.4/0	6,4
6/100/200/1.0/1.8/0	6,4
7/100/200/0.75/1.8/0	8,1
8/100/200/0.45/1.2/0	8,2
9/100/200/0.75/1.2/0	8,7
10/100/200/0.75/1.2/1.0	6,4
11/100/200/0.75/2.4/0	9,3
12/100/200/1.25/1.8/0	7,8
13/100/200/1.50/1.8/0	6,7
14/100/200/0.75/1.2/0.5	4,8

4.1.3 Sertleşmiş ÇEM’de kılcal su emme deneyi sonuçları

Laboratuvar ortamında 28 gün saklanan numuneler üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi sonucunda, numunelerin donma-çözülme döngüleri öncesinde 3.2 eşitliği ile hesaplanan kılcal geçirimlilik katsayıları Çizelge 4.3 ‘de verilmiştir. Kılcal geçirimlilik katsayıları için verilen değerler 3 numune sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

Çizelge 4.3 : Kılcal su emme deney sonuçları.

Numune Kodu	Kılcal Geçirirmlilik Katsayıları (cm ² /sn)
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	0,00023
4/50/50/1.0/2.4/0	0,00074
5/100/200/1.0/2.4/0	0,00063
6/100/200/1.0/1.8/0	0,00053
7/100/200/0.75/1.8/0	0,00063
8/100/200/0.45/1.2/0	0,00062
9/100/200/0.75/1.2/0	0,00046
10/100/200/0.75/1.2/1.0	0,00004
11/100/200/0.75/2.4/0	0,00081
12/100/200/1.25/1.8/0	0,00069
13/100/200/1.50/1.8/0	0,00021
14/100/200/0.75/1.2/0.5	0,00043

4.2 Donma-Çözülme Deney Sonuçları

4.2.1 Sertleşmiş ÇEM’de donma-çözülme sonunda ağırlık kaybı deneyleri sonuçları

Donma-çözülme döngüleri sonunda numuneler üzerinde yapılan ağırlık kaybı deneyi sonucunda, numunelerde 3.3 eşitliği ile hesaplanan ağırlık kayıpları sonuçları Çizelge 4.4’ de verilmiştir. Ağırlık kayıpları için verilen değerler 3 numune sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

Çizelge 4.4 : Ağırlık kaybı deney sonuçları.

Numune Kodu	Ağırlık Kaybı miktarı (%)
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	3,27
5/100/200/1.0/2.4/0	16,86
6/100/200/1.0/1.8/0	14,22
7/100/200/0.75/1.8/0	16,03
8/100/200/0.45/1.2/0	5,90
9/100/200/0.75/1.2/0	16,01
10/100/200/0.75/1.2/1.0	0,00
11/100/200/0.75/2.4/0	3,80
12/100/200/1.25/1.8/0	14,83
13/100/200/1.50/1.8/0	10,88
14/100/200/0.75/1.2/0.5	0,00

4.2.2 Eğilme deneyi sonuçları

Prizma ve levha numuneler üzerinde yapılan üç noktalı eğilme deneyi sonucunda, numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası ayrı ayrı tespit edilen eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri, levhalar için Çizelge 4.5’ de, prizmalar için Çizelge 4.6’ da verilmiştir. Eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri için verilen değerler, donma-çözülme döngüsü öncesi prizma ve levhalar için 4, donma-çözülme çevrimi sonrası prizmalar için 3, levhalar için 4 numune sonucu bulunan değerlerin ortalamasıdır.

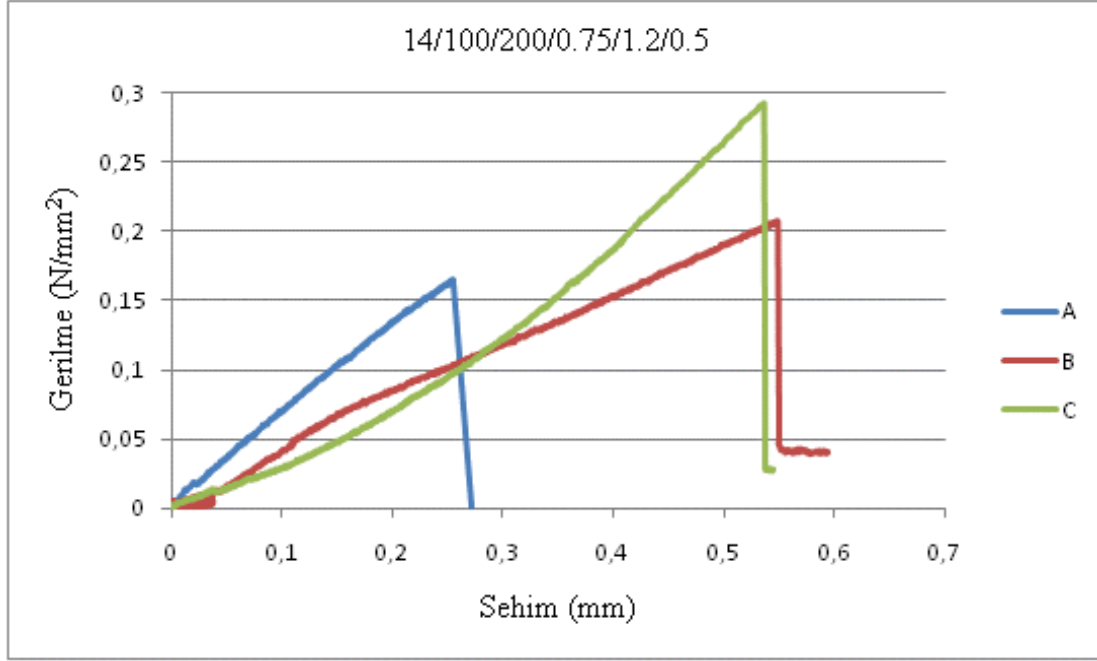
Çizelge 4.5 : Levhalarda eğilme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Donma-Çözülme öncesi		Donma-Çözülme sonrası	
	Eğilme Dayanımları (MPa)	Kırılma Enerjileri (joule/m ²)	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	2,3	33,4
3/25/10/1.0/2.4/0	8,4	175,5	2,5	31,6
4/50/50/1.0/2.4/0	5,4	33,9	4,7	25,8
5/100/200/1.0/2.4/0	4,1	31,2	4,9	47,5
6/100/200/1.0/1.8/0	5,0	42,2	3,7	38,4
7/100/200/0.75/1.8/0	3,2	19,9	3,2	37,8
8/100/200/0.45/1.2/0	3,5	19,5	5,6	41,8
9/100/200/0.75/1.2/0	4,5	27,1	1,4	5,3
10/100/200/0.75/1.2/1.0	6,4	309,6	0,7	44,3
11/100/200/0.75/2.4/0	4,8	31,0	5,0	44,3
12/100/200/1.25/1.8/0	4,6	41,0	2,6	22,9
13/100/200/1.50/1.8/0	5,4	56,0	3,7	40,3
14/100/200/0.75/1.2/0.5	4,5	74,8	4,0	49,8

Çizelge 4.6 : Prizmalarda eğilme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Donma-Çözülme öncesi		Donma-Çözülme sonrası	
	Eğilme Dayanımları (MPa)	Kırılma Enerjileri (joule/m ²)	Eğilme Dayanımları (MPa)	Kırılma Enerjileri (joule/m ²)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	6,2	169,7	0,4	5,50
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	7,0	244,6	1,2	24,5
3/25/10/1.0/2.4/0	8,5	322,6	2,7	99,0
4/50/50/1.0/2.4/0	6,4	209,0	2,7	56,8
5/100/200/1.0/2.4/0	5,5	184,2	6,9	400,2
6/100/200/1.0/1.8/0	5,9	242,5	5,5	267,7
7/100/200/0.75/1.8/0	6,1	209,6	4,5	190,6
8/100/200/0.45/1.2/0	4,5	77,7	2,1	30,6
9/100/200/0.75/1.2/0	4,2	117,5	2,6	98,4
10/100/200/0.75/1.2/1.0	6,4	330,7	5,3	745,4
11/100/200/0.75/2.4/0	5,8	212,9	2,3	82,9
12/100/200/1.25/1.8/0	5,5	200,7	6,7	379,0
13/100/200/1.50/1.8/0	6,8	309,9	6,4	326,7
14/100/200/0.75/1.2/0.5	6,0	254,4	4,5	427,2

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

Donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme deneyi sonucunda elde edilen parçalar üzerinde uygulanan basınç deneyleri ile numunelerin, donma-çözülme öncesi ve sonrası ayrı ayrı tespit edilen basınç dayanımları Çizelge 4.7’ de verilmiştir.

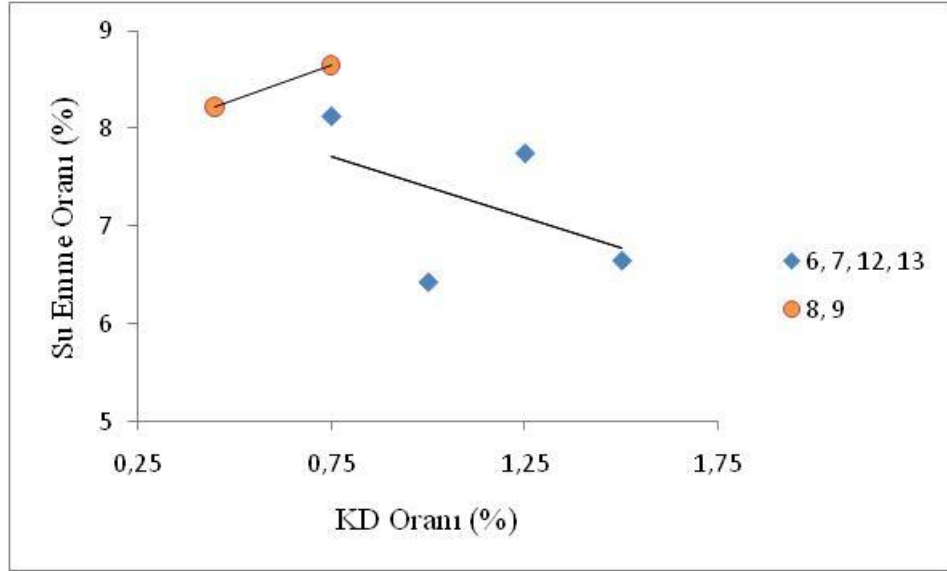
Çizelge 4.7 : Basınç deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Donma-Çözülme öncesi	Donma-Çözülme sonrası
	Basınç Dayanımları (MPa)	Basınç Dayanımları (MPa)
1/12.5/0.0/0.6/2.4/0	25,2	21,9
2/12.5/0.0/1.0/2.4/0	27,3	26,5
3/25/10/1.0/2.4/0	24,0	25,3
4/50/50/1.0/2.4/0	21,5	19,5
5/100/200/1.0/2.4/0	14,5	8,9
6/100/200/1.0/1.8/0	11,5	11,5
7/100/200/0.75/1.8/0	12,7	10,5
8/100/200/0.45/1.2/0	15,4	14,9
9/100/200/0.75/1.2/0	15,0	10,8
10/100/200/0.75/1.2/1.0	15,3	22,7
11/100/200/0.75/2.4/0	14,4	11,9
12/100/200/1.25/1.8/0	13,7	11,2
13/100/200/1.50/1.8/0	15,6	11,5
14/100/200/0.75/1.2/0.5	16,1	17,2

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

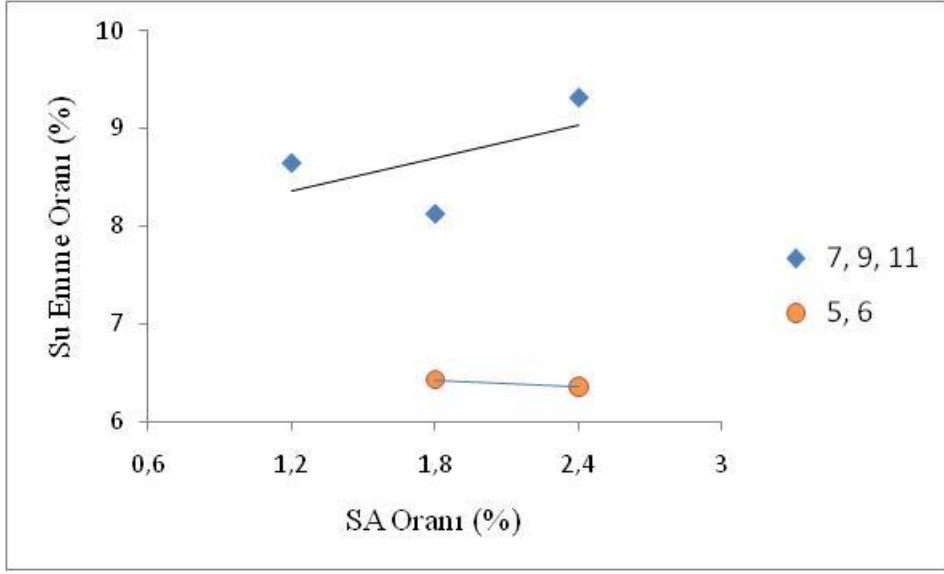
5.1 Su Emme ve Kılcal Su Emme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı oranlarda KD içeren 6,7,12,13 ve 8,9 numuneleri için, su emme oranının KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.1’ de verilmiştir. Su emme deney sonuçları, betonun dışı açık tüm boşluklarının miktarı hakkında fikir vermektedir [11]. Diğer bileşenleri aynı olan sadece KD oranının değişken olarak tutulduğu numunelerde, KD kullanım oranının artışıyla, su emme oranlarında belirgin bir değişim belirlenememiştir.



Şekil 5.1 : KD oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 ve 8,9 numuneleri).

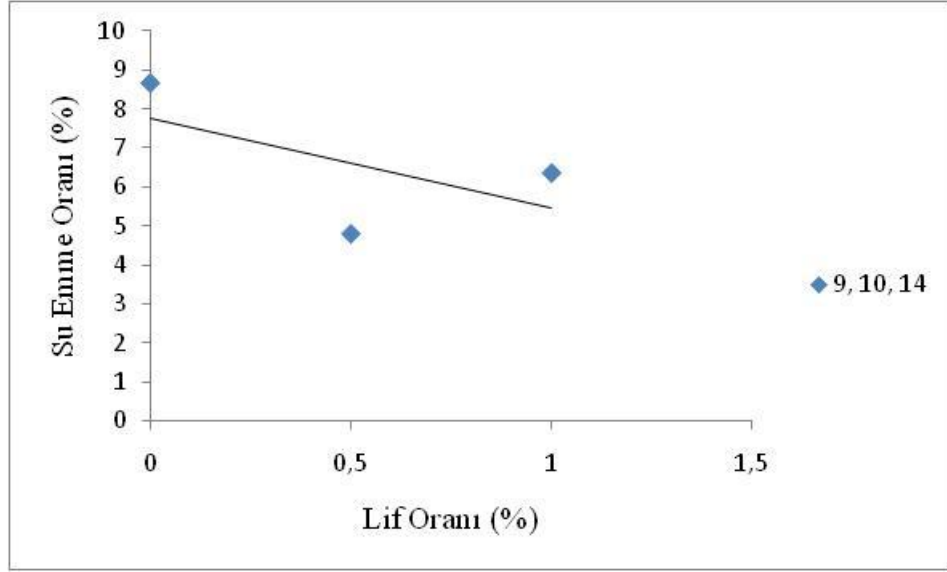
Farklı oranlarda SA içeren 7,9,11 ve 5,6 numuneleri için, su emme oranının SA oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.2’ de verilmiştir. SA kullanım oranının artışıyla, su emme oranlarında belirgin bir değişim belirlenememiştir.



Şekil 5.2 : SA oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (7,9,11 ve 5,6 numuneleri).

Farklı oranlarda PP lif içeren 10 ve 14 numuneleri ve lifsiz 9 numunesi için, su emme oranının lif oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.3’ de verilmiştir. Şekil 5.3’ de lifli ürünlerin su emme oranlarının lif içermeyen ürüne göre daha düşük değerler aldığı dikkati çekmektedir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen lifli kompozitlerde lif içermeyenlere göre düşük poroziteli ürünlerin elde edildiği literatürde de rapor edilmektedir [64].

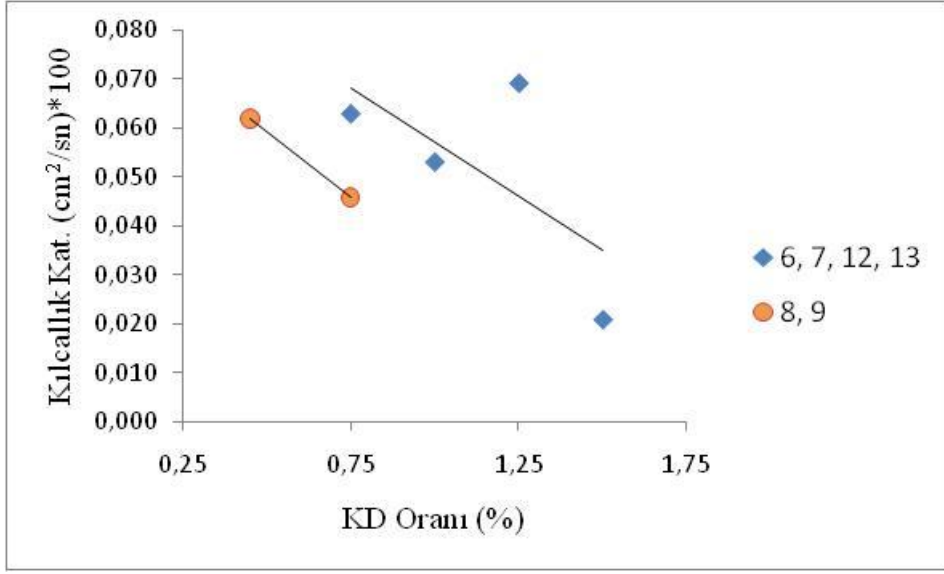
Lif oranıyla su emme miktarı arasında net bir ilişki kurmak mümkün olmamıştır. Bunun nedeni eldeki verilerin yetersiz oluşu ve sadece iki lif oranında üretim yapılmasıdır. Lif oranıyla su emme miktarı arasındaki ilişkinin net formunun belirlenmesi için daha fazla lif oranıyla üretim yapılmalı ve deneyler tekrarlanmalıdır.



Şekil 5.3 : Lif oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).

Farklı oranlarda KD içeren 6,7,12,13 ve 8,9 numuneleri için, kılcal su emme katsayılarının KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.4’ de verilmiştir. KD oranı artışıyla kılcal su emme katsayısı azalmaktadır. Kılcallık katsayısında meydana gelen azalma, KD katkısının ortamda meydana getirdiği küçük hava boşluklarına bağlanabilir. Oluşan hava boşluklarının kılcal boşlukların sürekliliğini bozduğu ve böylece kılcal su emme miktarını azalttığı söylenebilir.

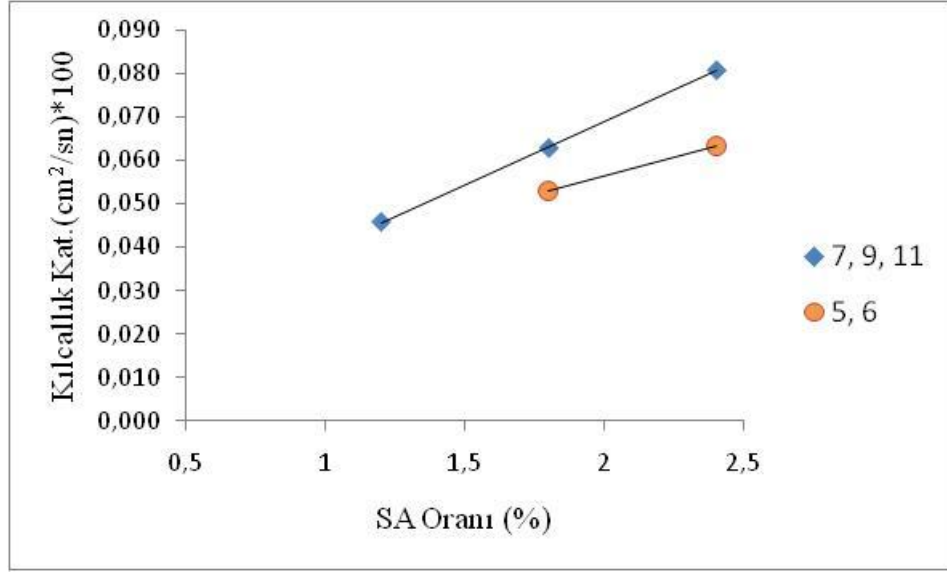
Şekil 5.4 ve Şekil 5.7 bir arada değerlendirildiğinde, kılcallık katsayısı ve donma-çözülmede ağırlık kaybı değerlerinin KD oranı ile değişiminin paralel bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 5.4’ de göre KD kullanım oranının artışıyla, çimento hamuru içerisindeki kılcal geçirimsizlik miktarı ve buna bağlı olarak kılcallık katsayısı azalmaktadır. Bilindiği gibi kılcal boşluk yapısı donma-çözülme performansı üzerinde çok etkili bir parametredir. Kılcal olarak emilen suyun azaltılması malzemenin donma-çözülme performansını artırmaktadır.



Şekil 5.4 : KD oranı ve kılcal su emme katsayısı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 ve 8,9 numuneleri).

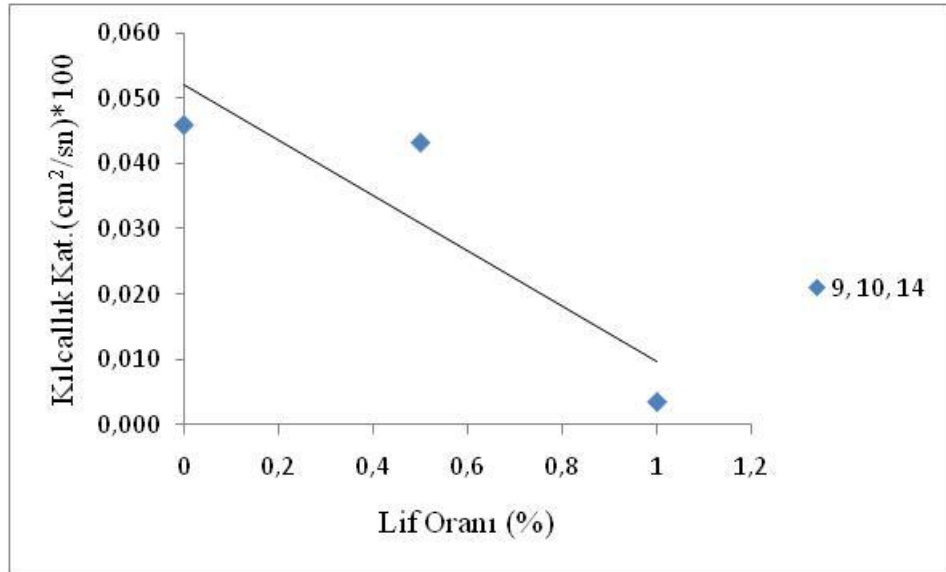
Farklı oranlarda SA içeren 7,9,11 ve 5,6 numuneleri için, kılcal su emme katsayılarının SA oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.5’ de verilmiştir. SA kullanım oranının artışıyla, kılcal su emme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Kılcallık katsayısı, kılcal su emme miktarı ve kılcal boşluk miktarının artmasıyla artmaktadır.

Hidratasyon olayı gerçekleşirken çimento hamuru içindeki kılcal boşlukların çapları küçülmektedir. Çaplarının küçülmesi ise betonun kılcal su emme kuvvetini büyüterek kılcal olarak emilen su miktarını artmaktadır [27]. SA kullanım oranının artışıyla daha düzenli bir kristal yapı oluştuğu varsayılırsa, bu yapıda kılcal boruların çaplarının daha dar olduğu kabul edilebilir. Bu düşünceden hareketle, SA miktarı arttıkça daha düzenli bir yapı oluştuğu, kılcal boşlukların sayısı aynı kalsa bile çaplarının azaldığı, bunun da kılcallık katsayısını ve kılcal su emme miktarını arttırdığı söylenebilir.



Şekil 5.5 : SA oranı ve kılcal su emme katsayısı arasındaki ilişki (7,9,11 ve 5,6 numuneleri).

Farklı oranlarda PP lif içeren 10 ve 14 numuneleri ve lifsiz 9 numunesi için, kılcal su emme katsayılarının lif oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.6’ da verilmiştir. Ekstrüde ürünlerde PP lif kullanımı ile kılcal su emme katsayısının azaldığı açıkça görülmektedir. Su emme deney sonuçlarında olduğu gibi bu sonuç da lifli kompozitlerin ekstrüde edilmesi ile daha düşük poroziteli ürünler elde edilmesine bağlanabilir [64]. Bununla birlikte, liflerin kılcal boşlukların sürekliliğini keserek kılcal olarak emilen su miktarını düşürmesi de önemli bir faktör olarak düşünülebilir.

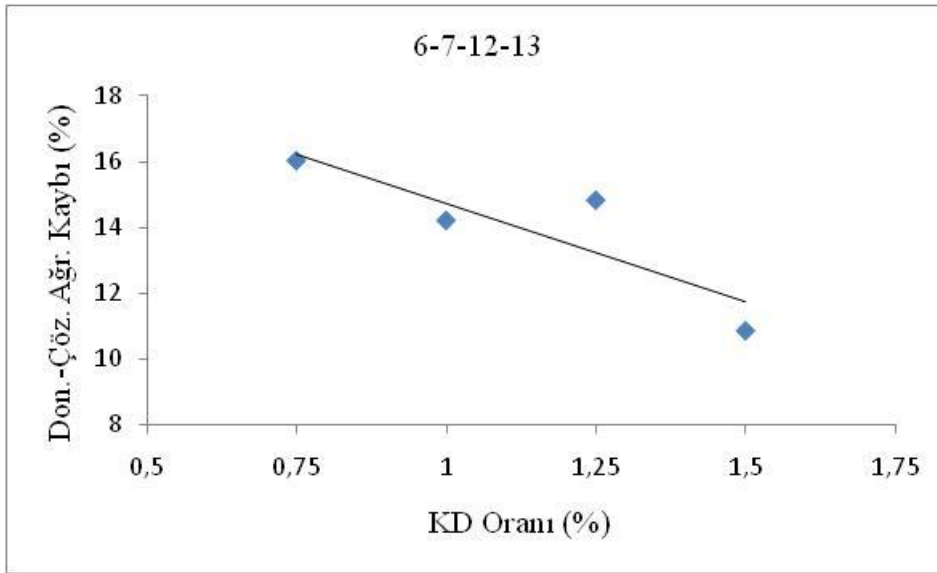


Şekil 5.6 : Lif oranı ve kılcal su emme katsayısı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).

5.2 Donma-Çözölme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı oranlarda KD içeren 6,7,12,13 numuneleri için, donma-çözölme döngüleri sonunda meydana gelen ağırlık kayıplarının KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.7’ de verilmiştir. KD kullanım oranının artışıyla, donma-çözölme döngüsü sonucunda meydana gelen ağırlık kaybının azaldığı belirlenmiştir.

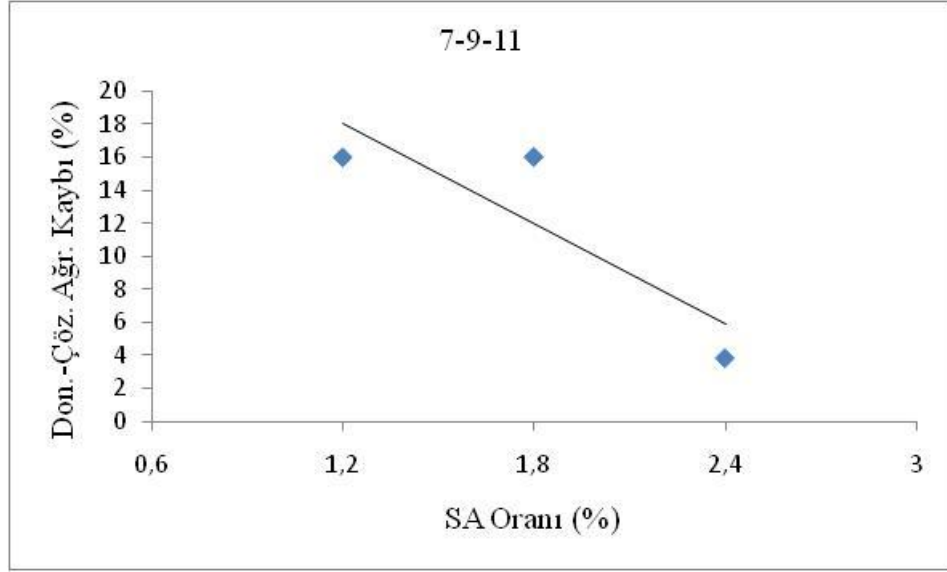
KD malzemesi, beton içerisinde küçük hava boşukları yaratarak boşluklar içinde donan suyun hacim genişlemesi durumunda kalabileceği hacimlerin oluşmasına olanak vermektedir [72]. Bu sayede donma-çözölme döngüleri sonucunda numuneler üzerinde meydana gelebilecek ufalanma ve dağılmalar azalmıştır.



Şekil 5.7 : KD oranı ve donma-çözölme ağırlık kaybı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).

Farklı oranlarda SA içeren 7,9,11 numuneleri için, donma-çözölme döngüleri sonunda meydana gelen ağırlık kayıplarının SA oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.8’ de verilmiştir. SA kullanım oranının artışıyla, donma-çözölme döngüsü sonucunda meydana gelen ağırlık kaybının azaldığı belirlenmiştir.

SA oranının artışıyla içyapı ve kristaller daha yavaş şekillenmekte ve bunun sonucunda daha düzenli bir kristal yapı oluşmaktadır. Oluşan düzenli kristal yapı malzeme performansını arttırdığı için SA oranının artışıyla donma çözölme döngüleri sonucunda ağırlık kaybı azalmaktadır.

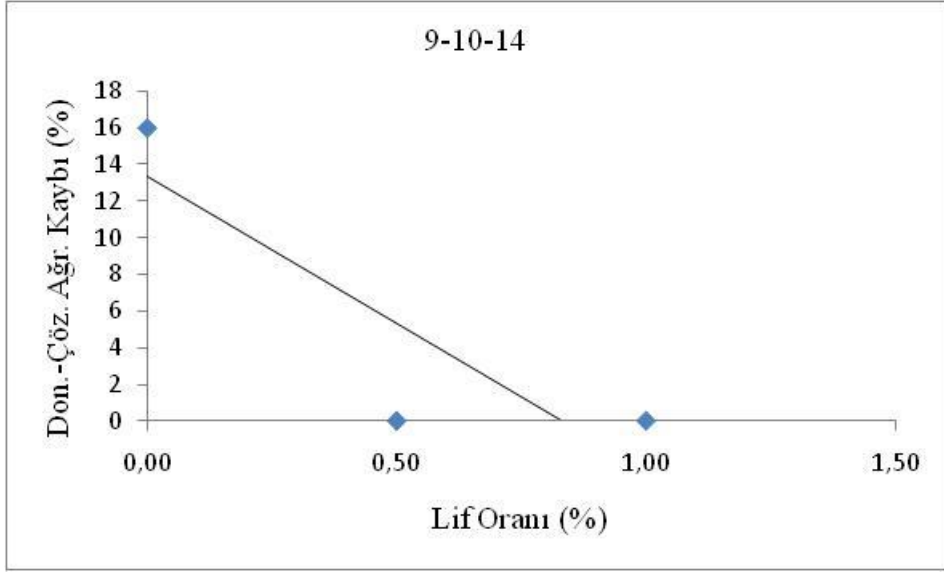


Şekil 5.8 : SA oranı ve donma-çözülme ağırlık kaybı arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).

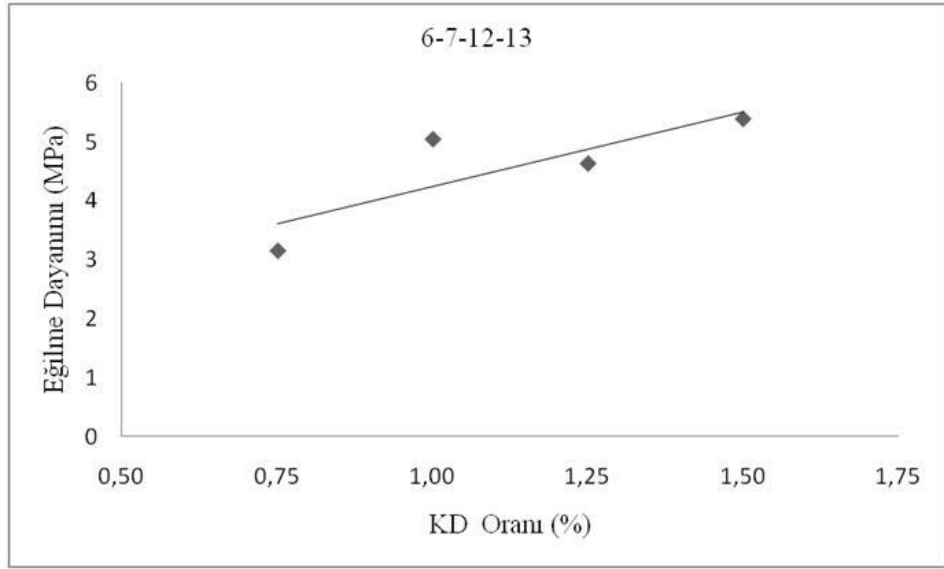
Farklı oranlarda PP lif içeren 10 ve 14 numuneleri ve lifsiz 9 numunesi için, donma-çözülme döngüleri sonunda meydana gelen ağırlık kayıplarının lif oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.9’ da verilmiştir. Lifli numunelerde donma-çözülme döngüsü sonucunda herhangi bir ağırlık kaybının olmadığı belirlenmiştir.

Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen kısa lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin geleneksel döküm yöntemleriyle üretilen kompozitlere göre dayanımlarında ve tokluklarında önemli bir gelişme sağlanmaktadır. Bu gelişimin ana etkenleri olarak, arayüzlerde kuvvetli bağların oluşması, yüksek kayma ve basınç kuvvetleri altında liflerin ekstrüzyon doğrultusunda hizalanmasından kaynaklandığı literatürde de rapor edilmektedir [57]. Bu sayede donma-çözülme döngüleri sonucunda meydana gelebilecek ufalanma ve dağılmalar azalmaktadır.

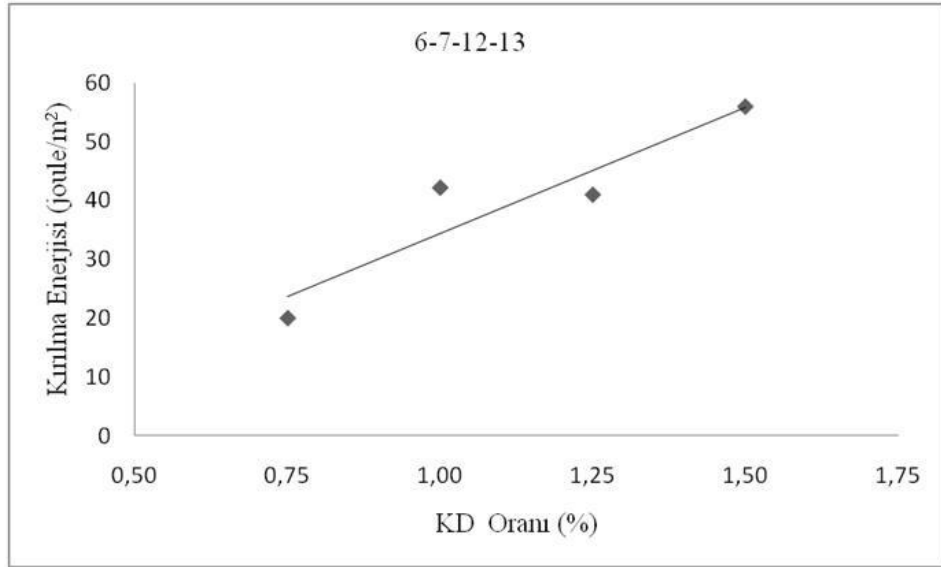
Sancak, ekstrüzyon yöntemiyle üretilen çimento esaslı kompozitlerde lif varlığının ve miktarının kompozit malzemelerin mekanik performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Lif oranının artışıyla kompozit malzemelerin, eğilme dayanımının ve tokluğunun arttığını belirlemiştir [2]. Kompozitin, eğilme dayanımı Şekil 5.10’ da ve kırılma enerjisi Şekil 5.11’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.9 : Lif oranı ve donma-çözülme ağırlık kaybı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).



Şekil 5.10 : KD oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12, 13 numuneleri).



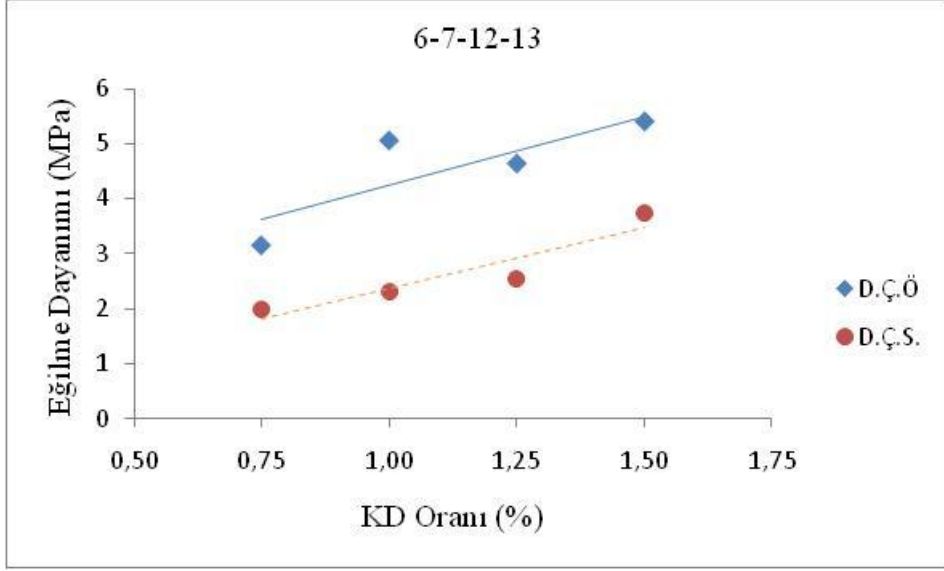
Şekil 5.11 : KD oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).

Donma-çözümeye deneyi sonunda yapılan mekanik deneylerden elde edilen grafikler incelendiğinde donma-çözülme döngülerinden sonra (D.Ç.S.) ekstrüde malzemelerin eğilme dayanımlarında, kırılma enerjilerinde ve basınç dayanımlarında donma-çözülme döngüsü öncesi (D.Ç.Ö.) elde edilen dayanımlara göre dikkate değer azalmalar her bir seri için meydana geldiği açıkça görülmektedir.

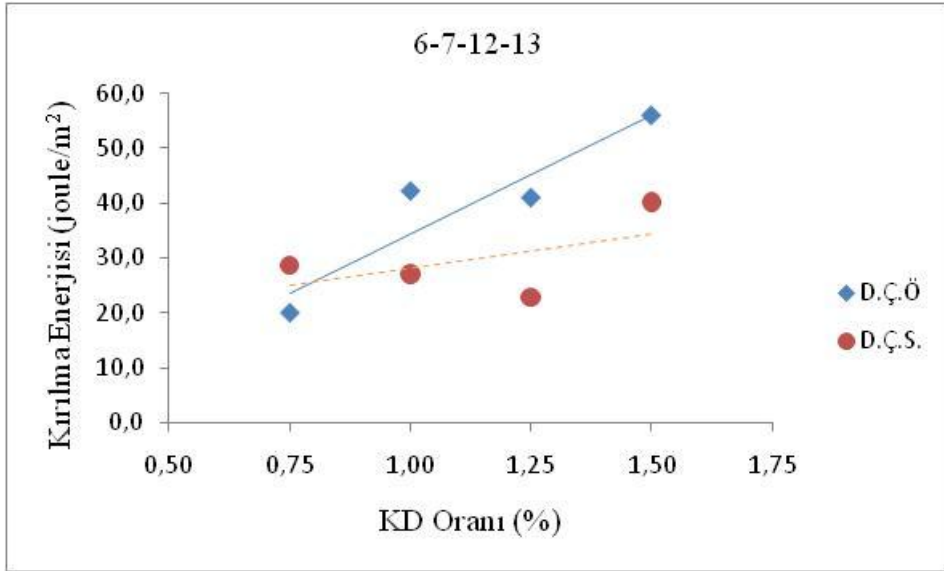
Farklı oranlarda KD içeren 6,7,12 ve 13 numuneleri için, donma-çözülme öncesi ve sonrası levha eğilme dayanımlarının KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.12’ de, levha kırılma enerjilerinin KD oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.13’ de, basınç dayanımlarının KD oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.14’ de verilmiştir.

Eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi değerlerinde, donma-çözülme döngüsü nedeniyle meydana gelen mukavemet düşüşleri incelendiğinde %0,75 ile %1,50 oranları arasında KD içeren numunelerin dayanımlarının %40 ile %45 arasında düşüşler gösterdiği anlaşılmaktadır. Shao, suda çözülebilen bağlayıcı KD katkı malzemesinin beton içerisinde hava boşluğu yapan bir katkı gibi yan etki gösterdiğini belirtmiştir. KD katkı malzemesi yüzeyi aktif bir madde olup beton içerisindeki sulu çözeltileri stabil duruma getirdiğini ve matris içerisine hava sürüklenmesini sağladığını belirtmiştir [72]. Shao’nun bu yaklaşımı da dikkate alındığında ve bu yaklaşımın Şekil 5.7’ de verilen donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı deney sonuçlarıyla bir arada değerlendirildiğinde KD oranı arttıkça mukavemetlerdeki düşüşün azalması beklenir. Ancak, mukavemetlerdeki azalma ile KD oranı arasında

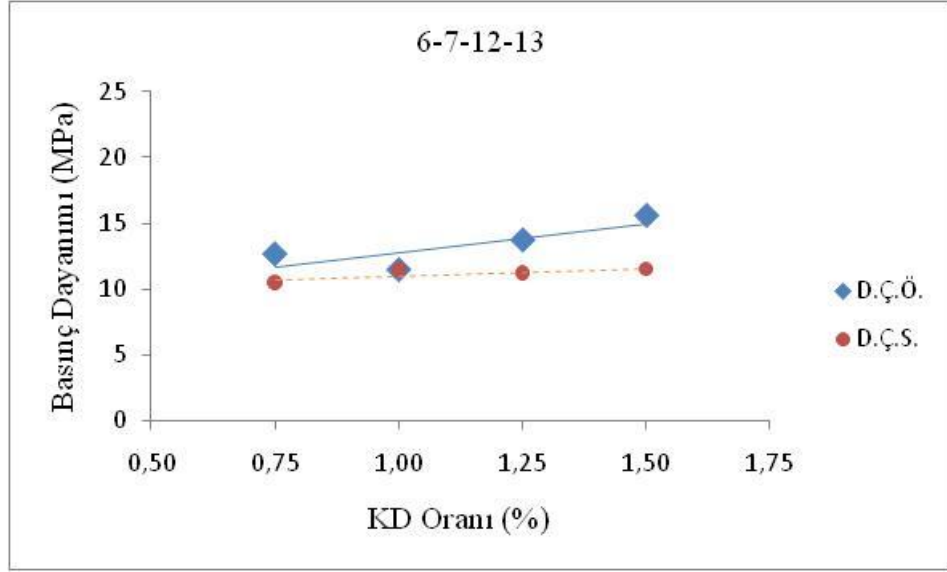
net bir ilişki ortaya konamamıştır. Bunun sebebi numune sayısının (4 numune) az olmasından dolayı değerlendirme de kullanılan veri miktarının yeterli sayıda olmamasıdır. İleride yapılacak çalışmalarda aynı parametrelerin daha fazla numune ile daha fazla veri sağlayacak değişkenlerle yapılması adı geçen ilişkilerin ortaya çıkarılması bakımından yararlı olacaktır.



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).

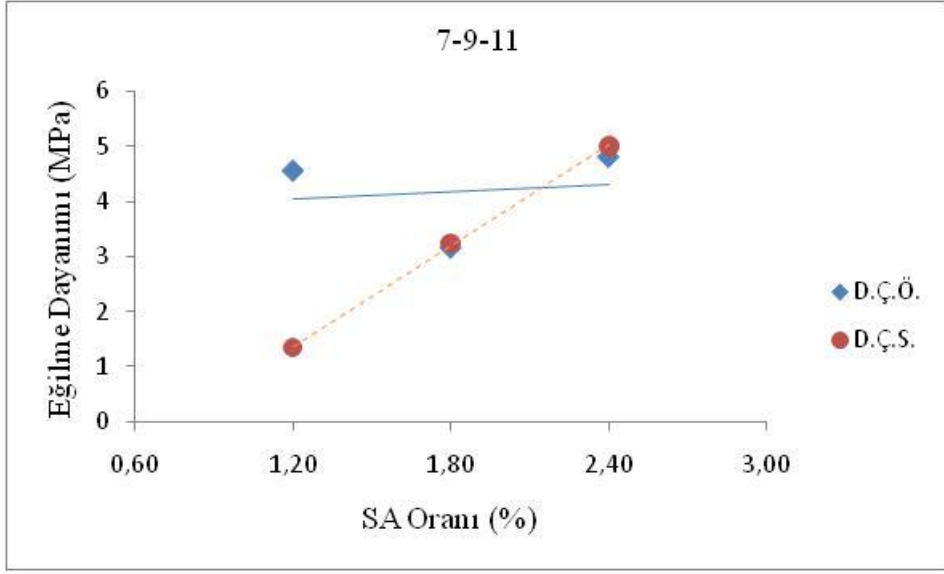


Şekil 5.14 : KD oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (6, 7, 12,13 numuneleri).

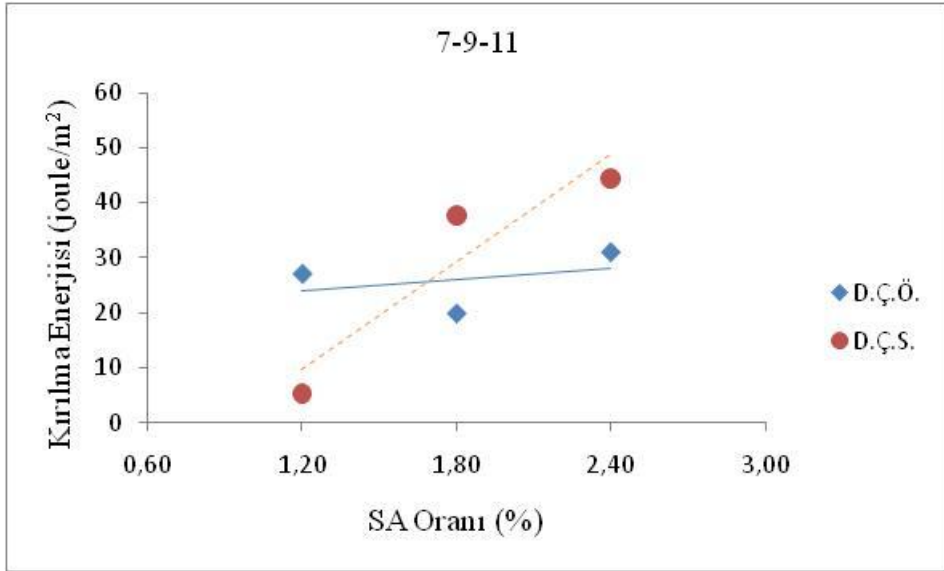
Farklı oranlarda SA içeren 7,9 ve 11 numuneleri için, donma-çözülme öncesi ve sonrası levha eğilme dayanımlarının SA oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.15’ de, levha kırılma enerjilerinin SA oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.16’ da, basınç dayanımlarının SA oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.17’ de verilmiştir. SA kullanım oranının artışıyla, donma-çözülme döngüleri sonunda (D.Ç.S.) eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Basınç dayanım değerlerinde ise belirgin bir değişim belirlenememiştir.

Çimento taneleri birbiriyle birleşmek suretiyle küçük topaklar oluşturmaya meyillidirler. SA malzemeler hava sürükleyerek, çimento tanelerinin birbirlerine yapışmasını ve topaklaşmasını önlerler ve beton içine dağılmalarını sağlarlar [73].

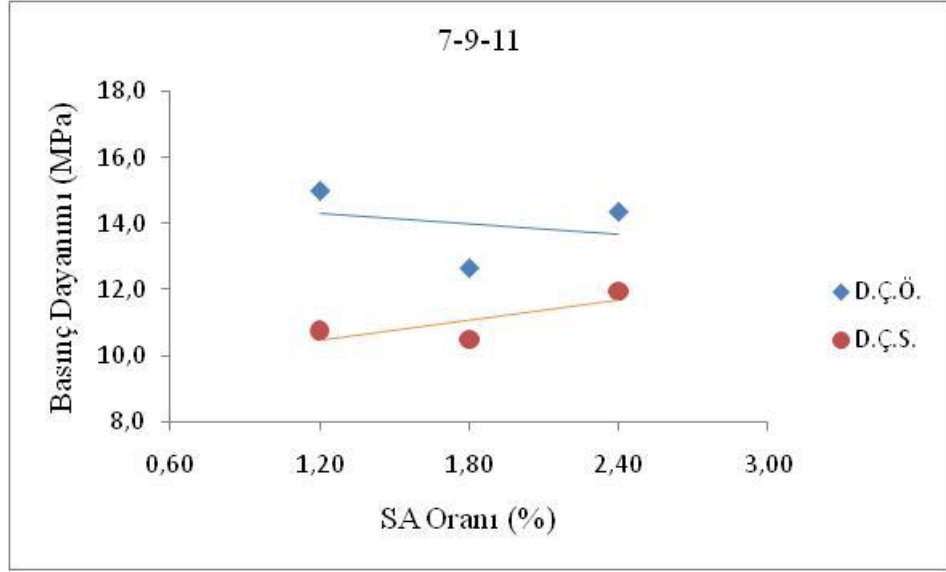
Dayanım değerlerindeki bu artış, SA kullanım oranının artışıyla içyapı da kristallerin daha düzenli dizilmesine, buna bağlı olarak daha durabil bir yapı oluşmasına bağlanabilir.



Şekil 5.15 : SA oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).

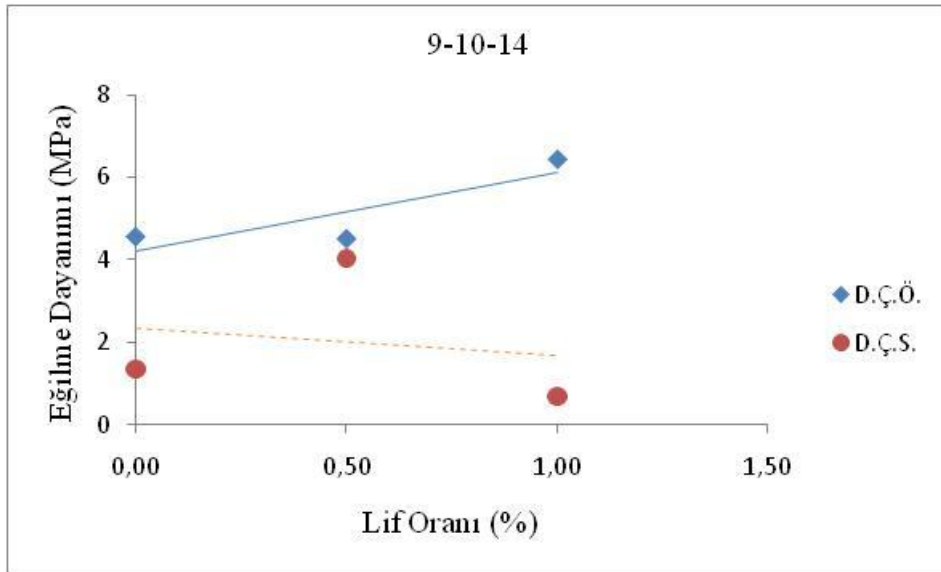


Şekil 5.16 : SA oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).

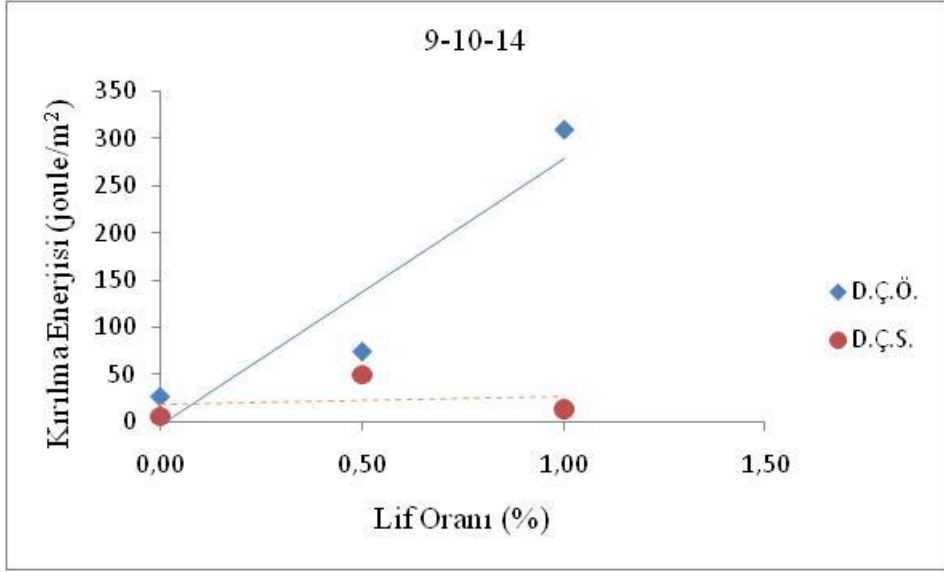


Şekil 5.17 : SA oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (7,9,11 numuneleri).

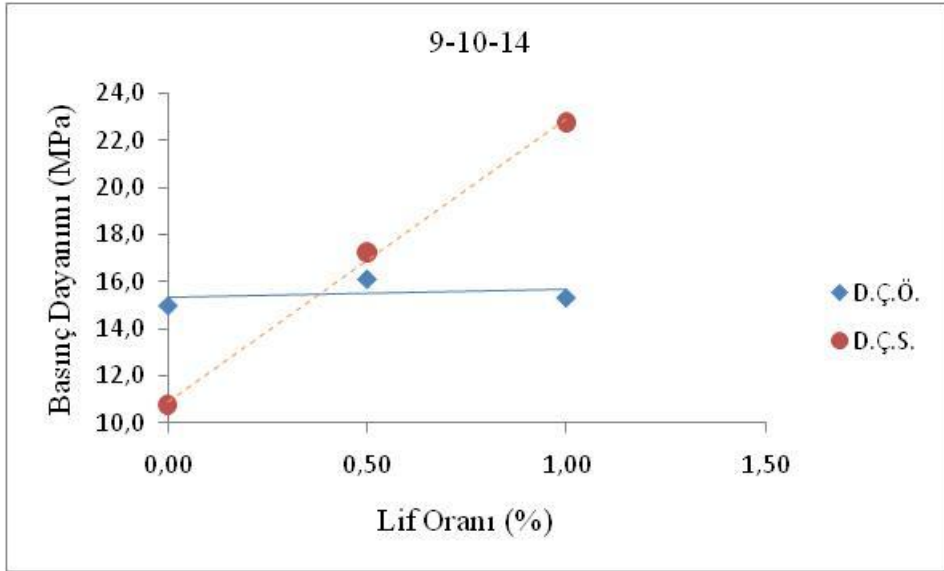
Farklı oranlarda polipropilen (PP) lif içeren 10 ve 14 numuneleri ve lifsiz 9 numunesi için, donma-çözülme öncesi ve sonrası levha eğilme dayanımlarının lif oranı ile olan ilişkisi Şekil 5.18’ de, kırılma enerjilerinin lif oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.19’ da, basınç dayanımlarının lif oranı ile olan ilişkisi ise Şekil 5.20’ de verilmektedir. Lifli numunelerde de lifsiz numunelerde olduğu gibi donma çözülme döngüleri sonunda dayanım kayıpları meydana gelmiştir. Ancak bu dayanım kayıplarının, lif oranları ile olan ilişkileri net bir şekilde ortaya konamamaktadır. Bu durumun sebebi de numune ve denenen lif oranı sayılarındaki yetersizliktir.



Şekil 5.18 : Lif oranı ve levhaların eğilme dayanımı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).



Şekil 5.19 : Lif oranı ve levhaların kırılma enerjisi arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).



Şekil 5.20 : Lif oranı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki (9,10,14 numuneleri).

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 donma-çözülme sonrası ağırlık kayıpları, su emme oranları, kılcal geçirimsizlik miktarları, eğilme dayanımları, kırılma enerjileri ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Donma-çözülme döngüleri sonunda numunelerde KD, SA ve PP lif oranlarının, su emme, kılcal geçirimsizlik, ağırlık kayıpları, eğilme dayanımları, kırılma enerjileri ve basınç dayanımları üzerindeki etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- KD ve SA oranı arttıkça numunelerin su emme oranlarında belirgin bir değişim belirlenmemiştir.

- Lifli numunelerin su emme oranlarının lif içermeyen numuneye göre daha düşük değerler aldığı belirlenmiştir. Ancak lif oranının artışıyla birlikte numunelerin su emme oranları arasında net bir ilişki belirlenmemiştir. Lif oranıyla su emme oranı arasındaki ilişkinin net formunun belirlenmesi için daha fazla lif oranıyla üretim yapılmalı ve deneyler tekrarlanmalıdır.

- KD ve lif oranı arttıkça numunelerin kılcal su emme miktarları azalmaktadır.

- SA oranı arttıkça numunelerin kılcal su emme miktarları artmaktadır.

- KD, SA ve lif oranı arttıkça numunelerin donma-çözülme ağırlık kayıpları azalmaktadır.

- Donma-çözümeye deneyi sonunda yapılan mekanik deneylerden elde edilen grafikler incelendiğinde, donma-çözülme döngülerinden sonra (D.Ç.S.) ekstrüde malzemelerin eğilme dayanımlarında, kırılma enerjilerinde ve basınç dayanımlarında donma-çözülme döngüsü öncesi (D.Ç.Ö.) elde edilen dayanımlara göre dikkate değer azalmalar her bir seri için meydana geldiği açıkça görülmektedir.

- KD oranı arttıkça, eğilme dayanımları ve kırılma enerjilerinin kendi içinde arttığı, basınç dayanımlarında ise belirgin bir değişim olmadığı fakat dayanım

değerlerinin donma-çözülme döngüsünden önceki değerlerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak numune sayısının az olması sebebiyle veriler arasında net bir ilişki belirlenememiştir. İleride yapılacak çalışmalarda aynı parametrelerin daha fazla numune ile daha fazla veri sağlayacak değişkenlerle yapılması adı geçen ilişkilerin ortaya çıkarılması bakımından yararlı olacaktır.

- SA oranı arttıkça numunelerin donma-çözülme döngüsünden sonra eğilme dayanımları ve kırılma enerjilerinin değerlerinde bir artış olduğu ama basınç dayanımlarında ise belirgin bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

- Lifli numunelerde de lifsiz numunelerde olduğu gibi donma çözülme döngüsünden sonra eğilme dayanımları ve kırılma enerjilerinin donma-çözülme döngüsünden önceki değerlerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak bu dayanım kayıplarının, lif oranları ile olan ilişkileri net bir şekilde ortaya konamamaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda aynı parametrelerin daha fazla numune ile daha fazla veri sağlayacak değişkenlerle yapılması ile adı geçen ilişkilerin ortaya çıkarılması bakımından yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Akman, M. S.**, 1990. *Yapı Malzemeleri*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye.
- [2] **Sancak, A.**, 2009. “Ekstrüzyon Tekniğinin Çimento Esaslı Malzemelerde Uygulanması”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü.
- [3] **Swamy, R. N.**, 1997. "Design For Durability nad Strength Through the Use of Flay-Ash and Slag in Concrete", 3rd *CAN-MET/ACI Intern Conf. On Advances in Concrete*.
- [4] **Gjorv, O.E.**, 2001. “Service life of concrete structure and performance based quality control”, *International Workshop on Innovations in Concrete Materials and Structures*, ICON-1, Whistler, BC, Canada.
- [5] **Mehta, P.K.**, 1986. *Concrete-Structure, Properties and Materials*, Prentice Hall Inc. Englewood, N.J.
- [6] **ACI-201-2R77**, 1986. *Guide to Durable Concrete* , *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1 , Detroit Michigan
- [8] **ASTM E 632-81**, 1982. *Standart Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials* , Philadelphia , PA.
- [8] <<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3156.pdf>>, alındığı tarih 18.03.2010.
- [9] **Uyan, M., Pekmezci B, Yıldırım H.**, 2003. “Akışkanlaştırıcı Katkı Kür ve Koşullarının Betonun Geçirimlilik Özelliklikleri Üzerine Etkileri”, *Sika Teknik Bülten*, sf: 10-14, sayı: 2003/I.
- [10] **Akman, M. S.**, 1992. *Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi*, İTÜ Yayınları.
- [11] **Uyan, M., Pekmezci B, Yıldırım H.**, 2007. “Akışkanlaştırıcı Katkı Kür ve Koşullarının Betonun Geçirimlilik Özelliklikleri Üzerine Etkileri”, *Sika Teknik Bülten*, sf: 235-242.
- [12] **Çorbacıoğlu, U.C.**, 2008. “Beton karışım tasarımının geçirimsizliğe ve mekanik özelliklere etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü.
- [13] **Sümer, M.**, 1989. “Betonda Sıvı Hareketinin Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü.
- [14] **Powers, T.C.**, 1958. “The Physical Structure and Properties of Concrete” , Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association Research Department, *Bulletin 90*, July, Chicago.
- [15] **Wischers G., Krum E.** 1975. “Zur Wirksamkeit Von Betondichtungsmittein”, *Betontechnische Berichte*, ss.105-141, Düsseldorf.
- [16] **Hansen, T.C.**, 1986. *Physical structure of hardened cement paste: A classical approach*, *Materials and Constructions*, **19**, pp: 423-436.

- [17] **Öztürk, A.**, 1996. “Betonun hızlandırılmış rötresinin iç yapıyla ilişkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü.
- [18] **Atahan, N.H.**, 2002. “Düşük Su/Çimento Oranlı Betonlarda Özelliklerin Çimento Hamurun Boşluk Yapısına Duyarlılığı”, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü.
- [19] **D.S.İ.**, 1993. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, *Sulama Kanallarında Sülfat Problemleri ve Çözüm Önerileri*, Ankara.
- [20] **Akkaya, Y.**, 1994. “Zararlı Bir Ortamda Betonun Uğradığı Hasarın Hasar Mekanizması ile İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü.
- [21] **Powers, T.C.**, 1964. The physical structure in portland cement paste, The Chemistry of cements, T.C. Powers (Ed.), Academic Press, London and New York, **1**, pp: 391-416.
- [22] **Neville, A.M.**, 1997. *Properties of concrete*, **4th** Edition, John Wiley Sons Inc., New York.
- [23] **Richardson, I.G.**, 2000. The nature of the hydration products in hardened cement paste, *Cement and Concrete Composites*, **22**, pp: 97-113.
- [24] **Powers, T.C., Copeland, L.E., Mann, M.**, 1956. “*Capillary Continuity or Discontinuity in Cement Pastes*”, Portland Cement Association Research and Development Laboratories.
- [25] **Okpala, D.C.**, 1989. Pore structure of hardened cement paste, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, **22**, No. 4, pp: 245-254.
- [26] **Cook, R.A., and Hover, K.C.**, 1999. Mercury porosimetry of hardened cement pastes, *Cement and Concretes Research*, **29**, pp: 933-943.
- [27] **Uyan, M.**, 1975. ‘‘Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı’’, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü.
- [28] **Li, Y.**, 1993. *Freeze-Thaw Durability of High-Strength Concrete*, University of Calgary, Canada.
- [29] **Jennings, H.M.**, 1988. Desing of high strength cement based materials: Part 2-3 Microstructure, *Material Science and Technology*, **4**, pp: 285-299.
- [30] **Kosmatka, S., B. Kerkhoff, and W.C. Panarese.**, 2002. Desing and Control of Concrete Mixtures , *14th ed. Portland Cement Association*, Skokie, III.
- [31] < <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3979.pdf>>, alındığı tarih 14.04.2010.
- [32] **Whiting, D.D., and M.A. Nagi.**, 1998. Manual of Control of Air Content in Concrete, *Portland Cement Association*, Skokie, III.
- [33] **Virtanen, J.**, 1983. ‘‘Freeze-Thaw Resistance Concrete Containing Blast-Furnace Slag, Fly Ash or Condensed Silica Fume’’, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete. AC SP-79, Vol.2, pp. 923-42.
- [34] **Saucier, F., Pigeon, M. and Cameron, G.**, 1991. ‘‘Air-void Stability, Part 5. Temperature, General Analysis, and Performance Index’’, *ACI Materials Journal*, Vol. **88**, No. 1, pp. 25-36.

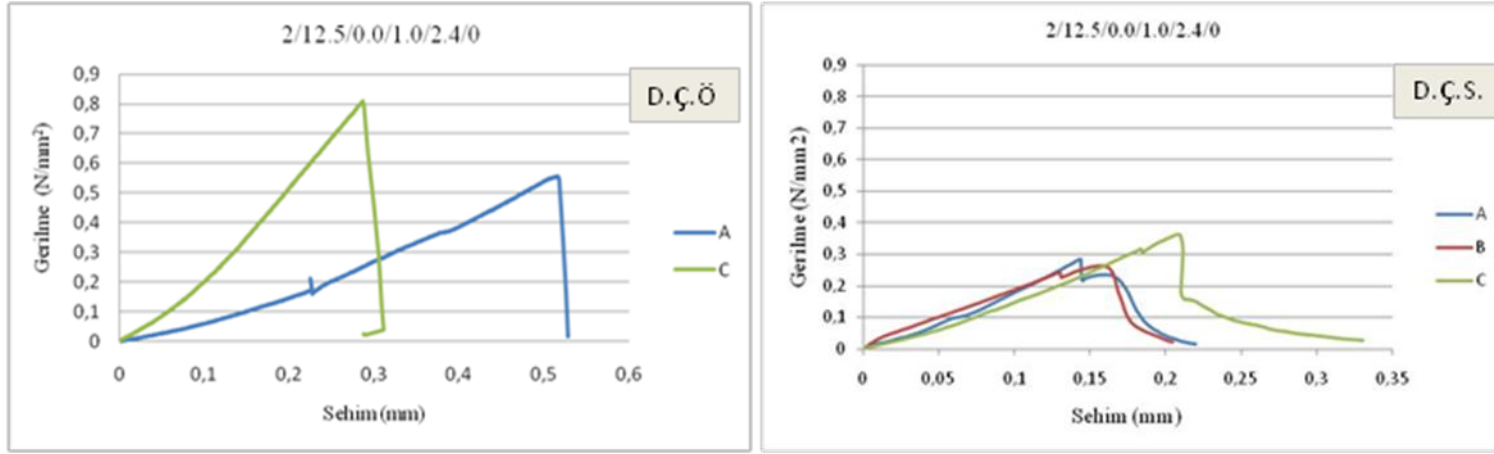
- [35] **Pigeon, M., Plante, P., Pleau, R. And Banthia, N.,** 1992. “ Influence of Soluble Alkalies on the Procedure and Stability of the Air-Void System in Superplasticized and Non Superplasticized Concrete”, *ACI Materials Journal*, Vol. **89**, No.1, pp. 24-31.
- [36] **Powers, T.C.,** 1956. “*The Physical Structure of Cement and Concrete*”, Cement and lime Manufacture, Vol. **29**, Number. 2, pp. 13-14, March.
- [37] **Postacioğlu, B.,** 1969. “*Yapı Malzemesi Dersleri*” , İ.T.Ü. İstanbul, Sayı 73.
- [38] **Kocataşkın, F.,** 1960. “Betonun Geçirgenliği ve Tecriti”, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayını*, Sayı 429, sf: 22-27
- [39] **Babbitt, J.D.,** 1937. “ The Diffusion of Water Vapor Through Various Building Materials ”, *Canadian Journal of Research*, Vol. **17**, Sect.A, pp.15
- [40] **Postacioğlu, B.,** 1987. Beton, “*Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton*”, Cilt: **2**, sf: 333-343.
- [41] **Neville, A.M., Brooks, J. J.,** 1987. *Concrete Technology* , Logman Scientific and Technical, Essex U.K.
- [42] **Litvan, G. G.,** 1972. Phase Transitions of Absorbates : Mechanisms of Frost Action in Hardened Cement Paste , J. Amer. Ceram. Soc. V **55**, NI, pp.38-42.
- [43] **Baradan, B., Yazıcı H., Ün H.,** 2002. *Betonarme Yapılarda Kılcalılık* (Durabilite), D.E.Ü. Yayınları.
- [44] **Akkaya, Y.,** 2000. “Microstructural characterization of high performance fiber reinforced cement composites”, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [45] **Hannant, D. J. and Magnani, S.,** 1994. A Comparison of Severe of Hailstorm Damage on Two Types of Fiber-Reinforced Cement Roofing Sheets, Composites, pp.243.
- [46] **Shao, Y.,** 1995. “Characterization of high performance fiber-reinforced cement composites”, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [47] **Lankard, D. R.,** 1984. Slurry Infiltration Fiber Concrete (SIFCON), *Concrete International*, 6(12), pp 44-47.
- [48] **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.
- [49] **Daniel, J. I.,** 1993. Thin Fiber Reinforced Cement Products, *Presentation at ACBM Center Annual Meeting*.
- [50] **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.
- [51] **Tadmor, Z. and Klein I.,** 1978. Engineering Principles of Plasticating Extrusion, *Kleiger Publishing Co.*, Huntington, NY.

- [52] **Tadmor, Z. and Gogos, C.**, 1979. Principles of Polymer, Wiley, NY.
- [53] **Harper, J. M.**, 1981. Extrusion of Foods, I, *CRC Press*, Boca Raton, FL.
- [54] **Mu, B.**, 1999. "Short fiber-reinforced cementitious composites manufactured by extrusion technology", *PhD Thesis*, Hong Kong University, Hong Kong.
- [55] **Kuder, K. G.**, 2005. "Extruded fiber-reinforced cementitious composites for use in residential construction", *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [56] **Shao, Y., Marikunte, S. and Shah, S. P.**, 1995. Extruded fiber-reinforced composites, *Concrete Int.*, 17(4), pp.48–52.
- [57] **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, pp.251-260.
- [58] **Stang, H. and Pedersen, C.**, 1996. HPFRCC – Extruded Pipes, *Fourth Materials Engineering Conference*, ASCE, Washington D.C., USA, pp.261-269.
- [59] **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, pp.1277-1282.
- [60] **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, pp. 492-501.
- [61] **Mu, B., Li, Z. and Peng, J.**, 1999. Cementitious composite manufactured by extrusion technique, *Cement and Concrete Research*, 29, pp.237-240.
- [62] **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*.
- [63] **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, pp.509-517.
- [64] **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.
- [65] **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, pp.26-36.
- [66] **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, pp.271-279.
- [67] **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, sf: 311-316.

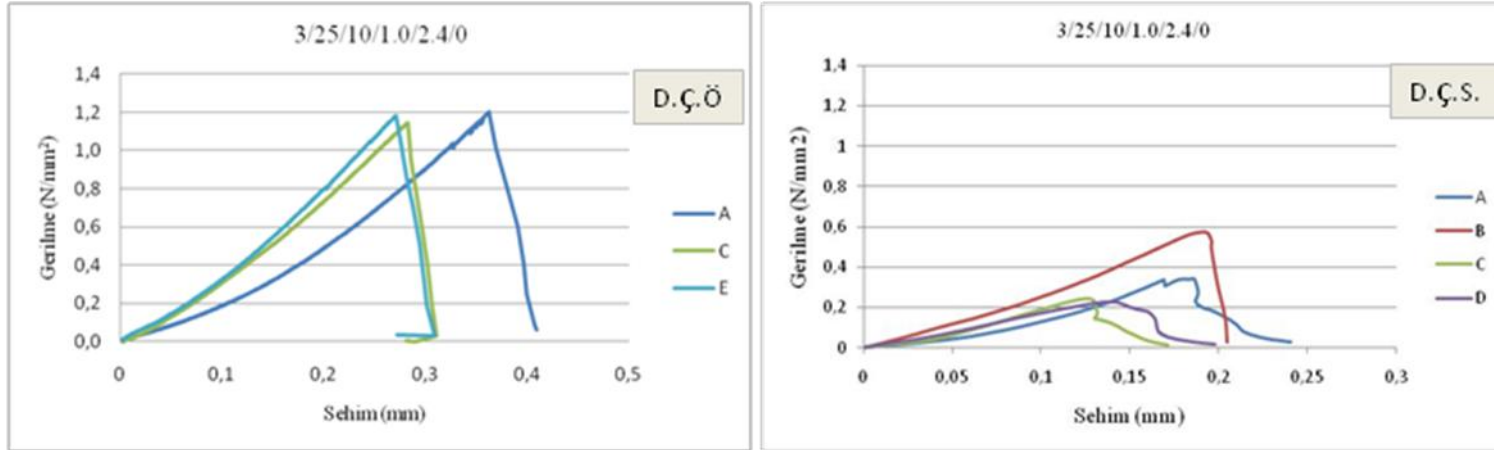
- [68] **Shao, Y., Qui, J. and Shah, S. P.**, 2001. Microstructure of extruded cement-bonded fiberboard, *Cement and Concrete Research*, **31**, pp.1153-1161).
- [69] **Qian, X., Zhou, X., Mu, B. and Li, Z.**, 2003. Fiber alignment and property direction dependency of FRC extrudate, *Cement and Concrete Research*, **33**, pp.1575-1581.
- [70] **Ferron, R. P. D.**, 2008. ‘‘Formwork Pressure of Self-Consolidating Concrete: Influence of FlocculationMechanisms, Structural Rebuilding, Thixotropy and Rheology’’, *PhD Thesis*, Northwestern University, Illinois.
- [71] **Moras, S., Shao, Y.**, 2000. Extruded cement-wood fiberboard with expanded polystyrene beads, *International Inorganic-bonded Wood and Fiber Composite Materials*, Sun Valley, ID, USA, pp.89-103.
- [72] **Shao, Y., Qiu, J.**, 2002. The Role of Polymer Additives in Extrusion of Fiber-Cement Composites, 2nd *Material Specialty Conference of the Canadian Society or Civil Engineering*, Montreal, Quebec, Canada, June 5-8.
- [73] **Uyan, M.**, 1982. ‘‘ Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi ’’, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü.

EKLER

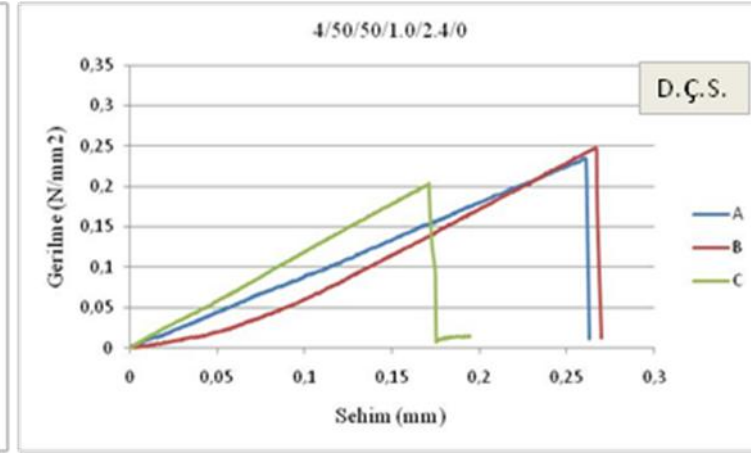
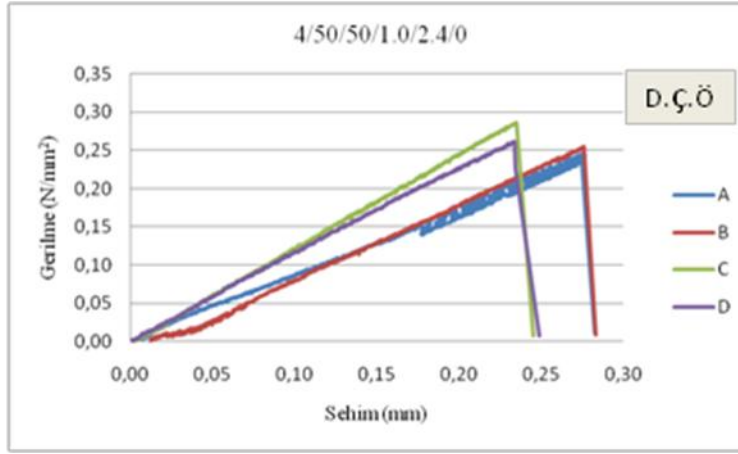
EK A.1 : Levha numunelerine ait gerilme-sehim grafikleri.



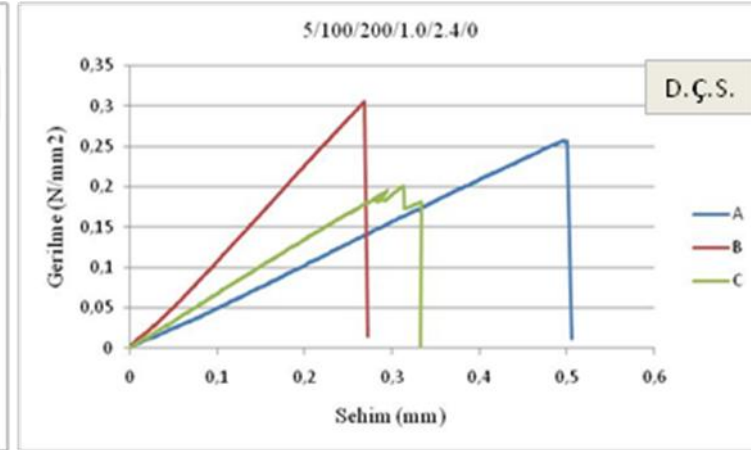
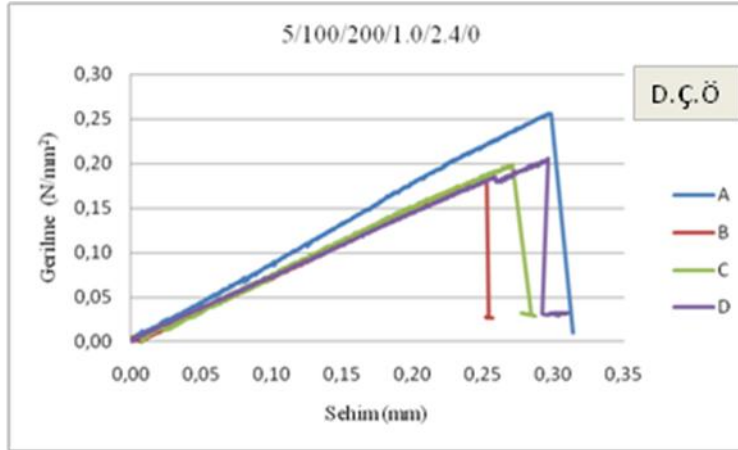
Şekil A.1 : 2/12.5/0.0/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



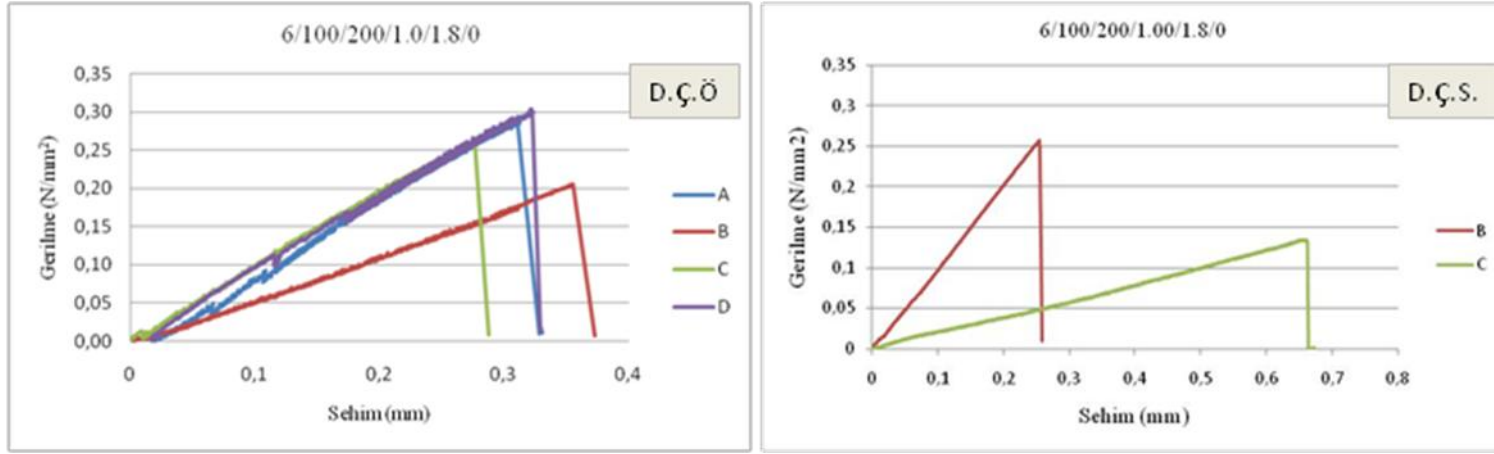
Şekil A.2 : 3/25/10/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



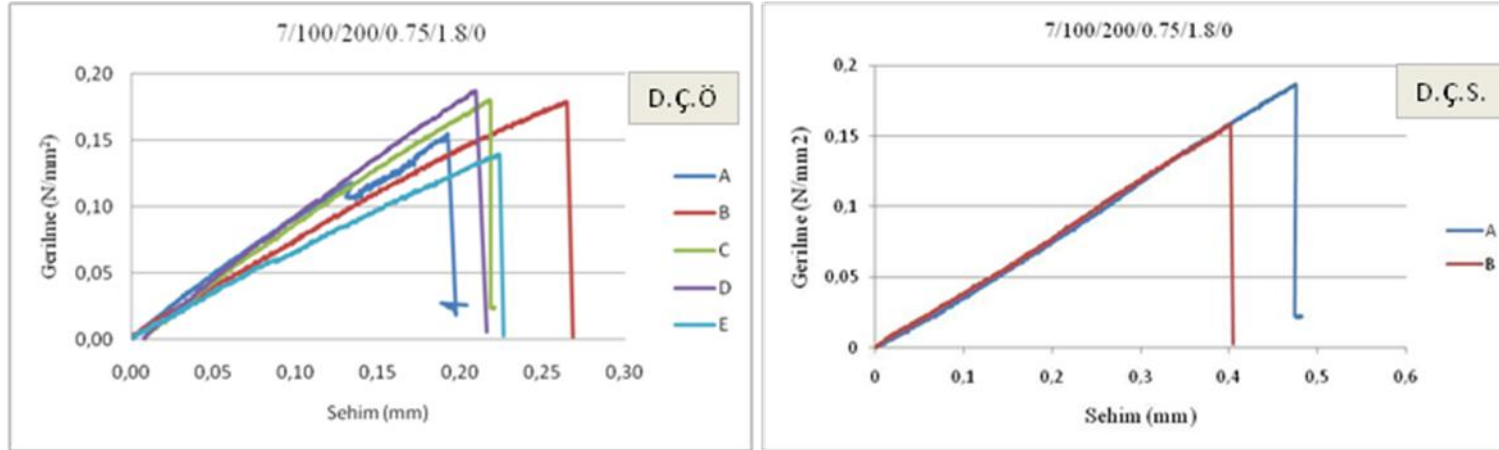
Şekil A.3 : 4/50/50/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



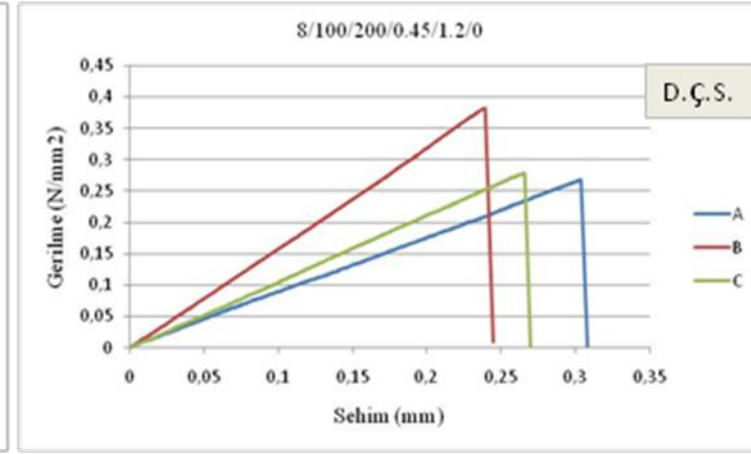
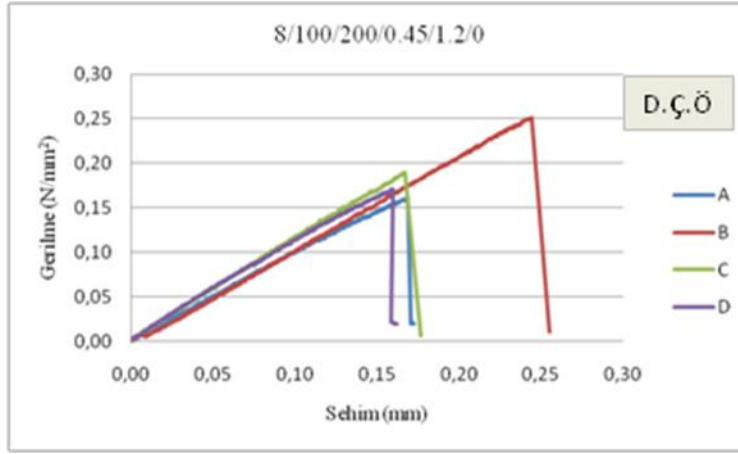
Şekil A.4 : 5/100/200/1.0/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



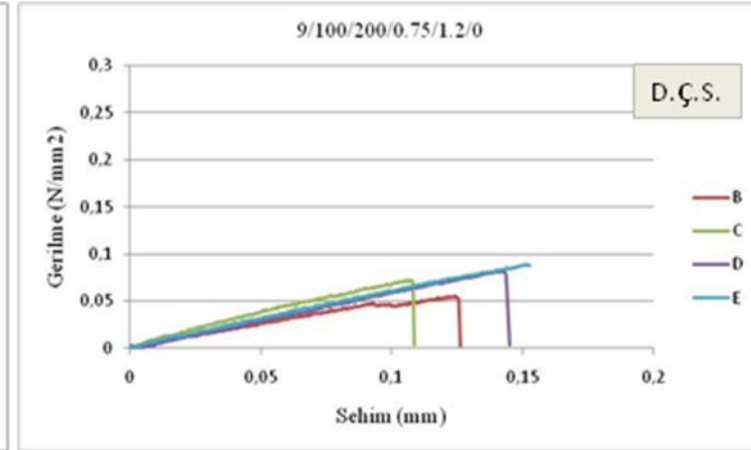
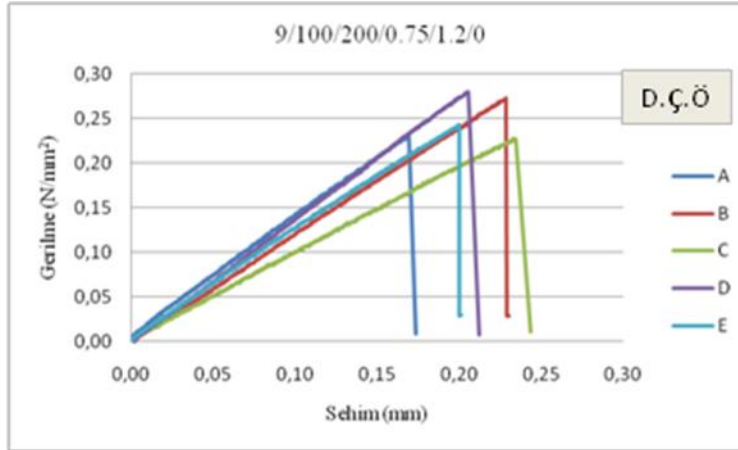
Şekil A.5 : 6/100/200/1.0/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



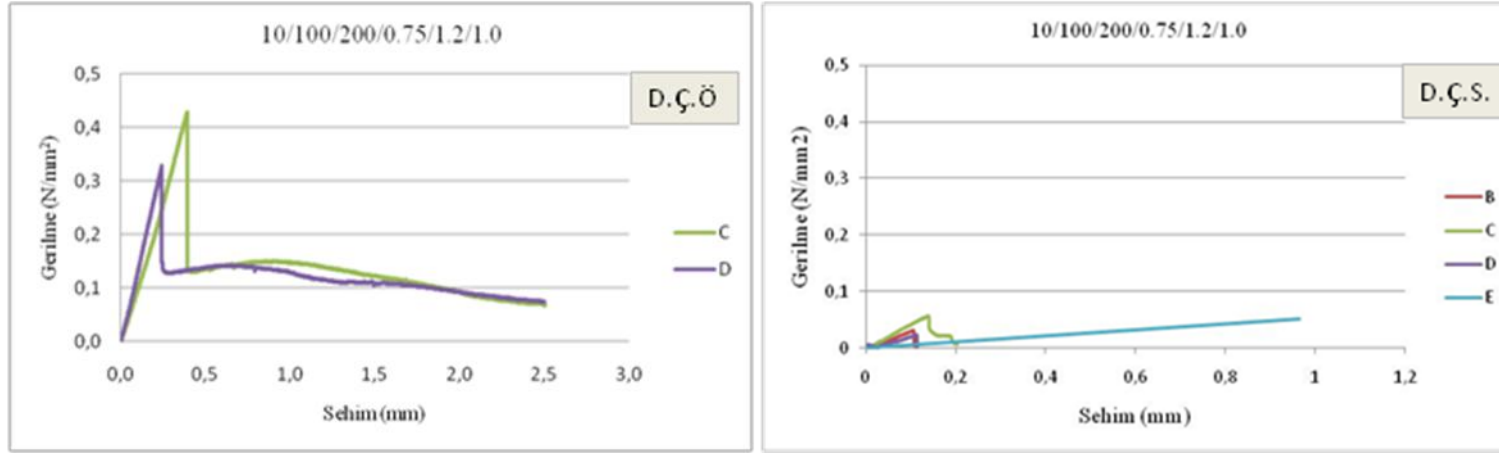
Şekil A.6 : 7/100/200/0.75/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



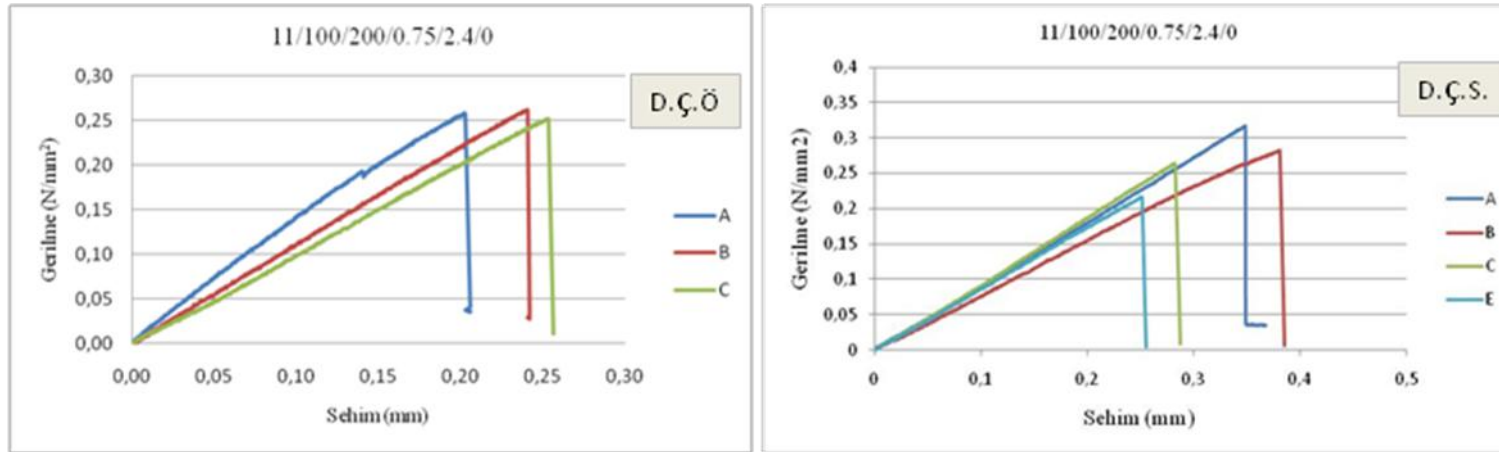
Şekil A.7 : 8/100/200/0.45/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



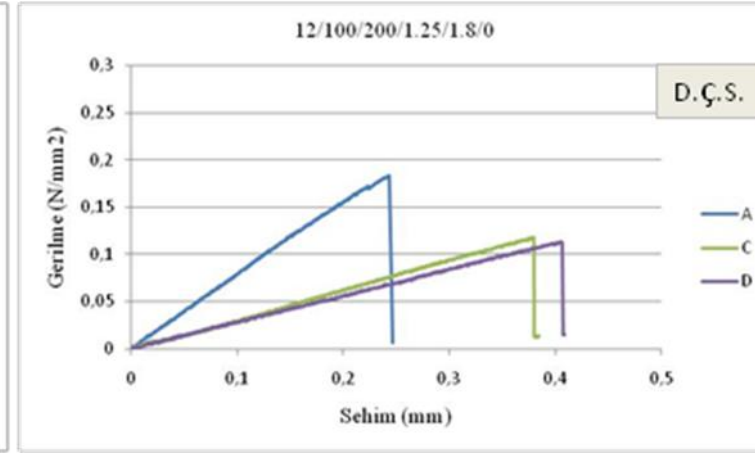
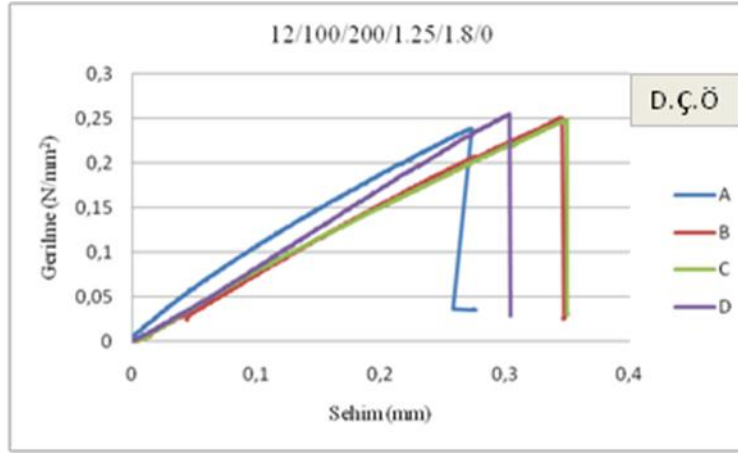
Şekil A.8 : 9/100/200/0.75/1.2/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



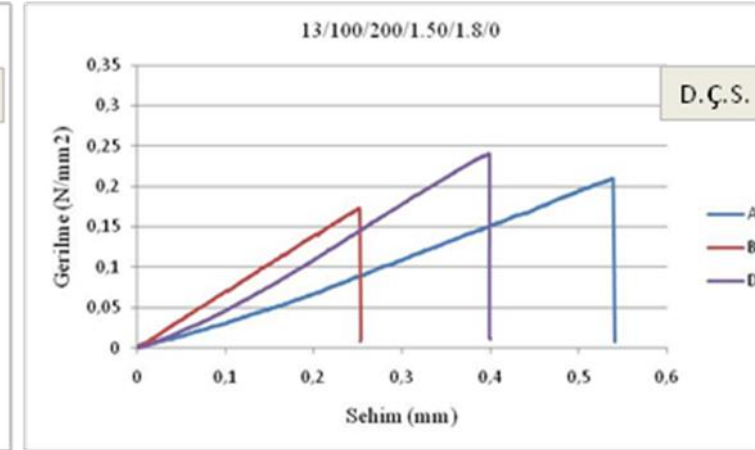
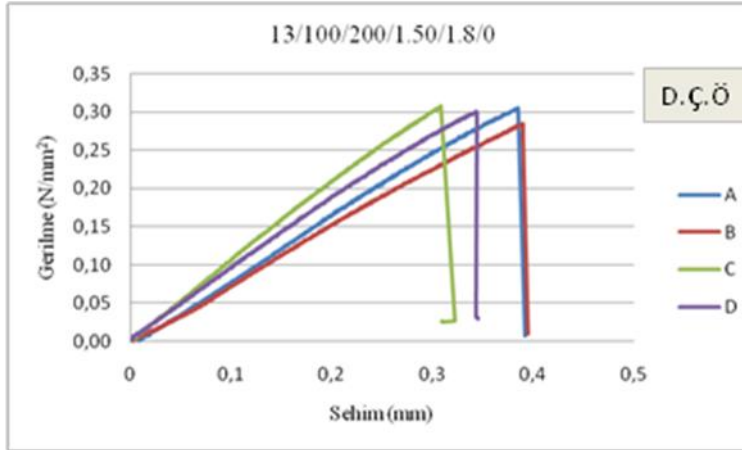
Şekil A.9 : 10/100/200/0.75/1.2/1.0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



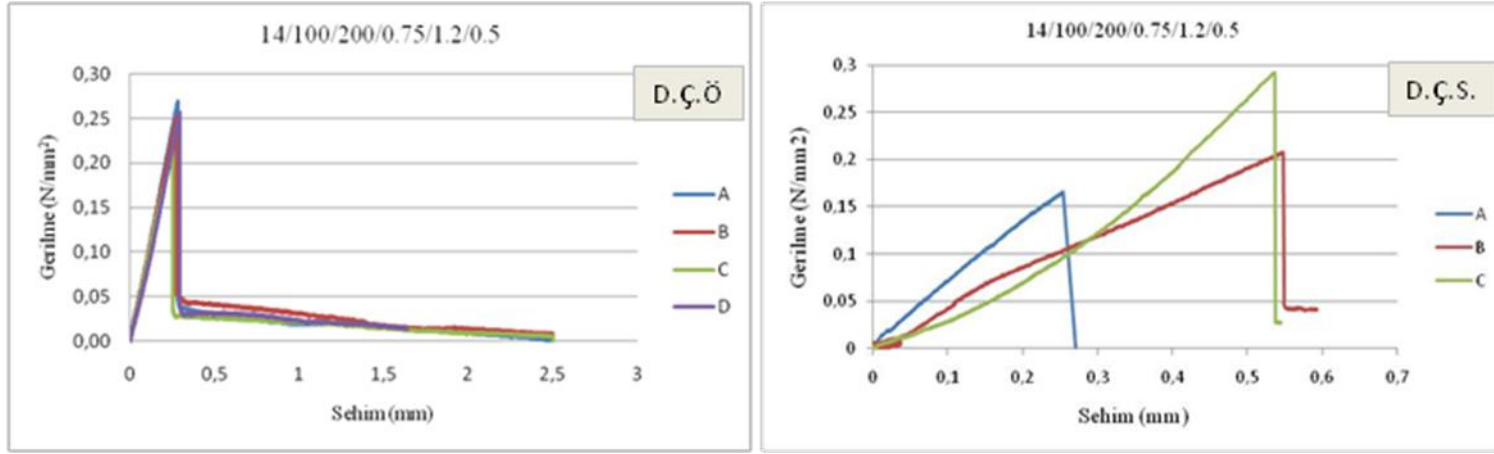
Şekil A.10 : 11/100/200/0.75/2.4/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil A.11 : 12/100/200/1.25/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil A.12 : 13/100/200/1.50/1.8/0 kodlu levha numunelerine ait gerilme-sehim grafiği.



Şekil A.13 : 14/100/200/0.75/1.2/0.5 kodlu levha numunelerine ait gerilme-schim grafiği.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Mehmet ÖZEN

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir / 25.02.1983

Adres : 7515 Sok. Metrokent Gönen Siteleri No: 3029/4C Menemen / İzmir

Lisans Üniversite : İnşaat Mühendisliği Bölümü / Celal Bayar Üniversitesi

Yüksek Lisans Üniversite : Yapı Mühendisliği / İstanbul Teknik Üniversitesi