



T.C.

**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMERİK MATRİSLİ SELÜLOZ ESASLI KOMPOZİT GERİ
DÖNÜŞÜM MALZEMELERİNDEN ÜRETİLMİŞ LEVHALARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seçkin SÜRME

DANIŞMAN

Doç. Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ

AKSARAY, 2016



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMERİK MATRİSLİ SELÜLOZ ESASLI KOMPOZİT GERİ
DÖNÜŞÜM MALZEMELERİNDEN ÜRETİLMİŞ LEVHALARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seçkin SÜRME

DANIŞMAN

Doç. Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ

AKSARAY, 2016

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün "132304006" numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Seçkin SÜRME", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Polimerik Matrisli Selüloz Esaslı Kompozit Geri Dönüşüm Malzemelerinden Üretilmiş Levhaların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç Dr. Necmi Düşünceli**
 Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Doğan Demiral**
 Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Kemal Nurveren**
 Niğde Üniversitesi

Teslim Tarihi:2016

Savunma Tarihi: 06.05.2016

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışımında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Seçkin SÜRME

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, kompozit kağıt malzemelerin geri dönüşümü yoluyla elde edilen ve farklı oranlarda yüksek yoğunluklu polietilen malzeme içeren karışımlar, sıcak presleme işlemiyle levha haline getirilmiştir. Üretilmiş olan levhalardan DIN 1037 standartlarına göre çekme, eğme numuneleri çıkarılarak, bunlar üzerinde malzeme özelliklerini belirlemek üzere çekme, eğme ve su emdirme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları kapsamlı olarak değerlendirilerek alternatif ürün üretimi amacına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin ortaya konması aşamasında; Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne maddi desteği için teşekkür ederiz (Proje No:2015-074).

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen makine mühendisliği bölümü öğretim üyelerine, tezimin planlanmasında, araştırılmasında ve yürütülmesinde tecrübelerinden faydalandığım, bilgilendirme ve yönlendirmeleri sayesinde tezimi oluşturmamda bana yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Necmi Düşünceli'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SEÇKİN SÜRME

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

DOĞRULUK BEYANI.....	i
ÖNSÖZ.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. KAĞIT KOMPOZİTLERİN GERİ DÖNÜŞÜM VE GERİ KAZANIMI.....	3
2.1 Termal Sıkıştırma.....	3
2.2 Sulu Hamurlaştırma (Hyropulping).....	4
2.3 Alüminyum ve Polietilenin Geri Dönüştürülmesi.....	6
2.3.1 Plastik ürünlerin dönüşümleri.....	6
2.3.2 Enerji kazanımı.....	8
2.3.3 Piroliz.....	8
2.3.4 Gaz haline getirme (Gasification).....	10
2.3.5 Plazma teknolojisi.....	11
3. ALÜMİNYUM.....	12
3.1 Alüminyumun Özellikleri.....	13
3.2 Tabiatta Bulunuşu.....	13
3.3 Elde Edilişi.....	14
3.4 Alaşımları ve Kullanıldığı Yerler.....	15
4. POLİETİEN.....	16
4.1 Termoplastikler.....	17
4.2 Polietilen Malzemeler.....	17
4.3 Uygulama Alanları.....	20
4.4 Yüksek Yoğunluklu Polietilen.....	21
4.4.1 Yüksek yoğunluklu polietilenin özellikleri.....	21
4.4.2 Kullanım alanları.....	22
4.4.3 Tüketimi.....	22
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
5.1 Genel Esaslar.....	23
5.1.1 Çekme deneyi literatür bilgisi.....	23
5.1.2 3 Nokta eğme deneyi literatür bilgisi.....	27
5.1.3 Çivi çekme deneyi literatür bilgisi.....	31
5.1.4 Su emdirme deneyi literatür bilgisi.....	32
5.2 Plakaların Hazırlanması.....	32
5.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	34
5.3.1 Çekme deneyi numuneleri.....	34

5.3.2 3 Nokta eğme deneyi numuneleri.....	35
5.3.3 Çivi çekme deneyi numuneleri.....	35
5.3.4 Su emdirme deneyi numuneleri.....	36
5.4 Çekme Deneyleri.....	36
5.4.1 Çekme deneyi prosedürü.....	37
5.4.2 Çekme deneyi sonuçları.....	37
5.5 3 Nokta Eğme Deneyleri.....	39
5.5.1 3 Nokta eğme deneyi prosedürü.....	39
5.5.2 3 Nokta eğme deneyi sonuçları.....	40
5.6 Çivi Çekme Deneyleri.....	41
5.6.1 Çivi çekme deneyi prosedürü.....	41
5.6.2 Çivi çekme deneyi sonuçları.....	43
5.7 Su Emdirme Deneyleri.....	44
5.7.1 Su emdirme deneyi prosedürü.....	44
5.7.2 Su emdirme deneyi sonuçları.....	45
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
7. SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51

ÖZET

Bu tez çalışması, geri dönüşüm yolu ile elde edilen kompozit kağıt malzemelerin yüksek yoğunluklu polietilen ile farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışımın sıcak presleme vasıtasıyla üretilmiş olan plakaların mekanik özelliklerinin belirlenmesini içermektedir.

İlk bölümde geri dönüşüm yöntemleri, polietilen malzeme ve mekanik deneyler hakkında bilgiler verilmiştir. Kağıt kompozit malzemelerin geri dönüşümü sırasında karşılaşılan sorunlar ile atığın geri dönüşüm tesisine ulaştırılmasına kadar geçtiği aşamalar anlatılmıştır.

İkinci bölümde kompozit kağıt malzemeden çekme, eğme numunelerinin hazırlanma prensiplerinden bahsedilmiştir. Küçük parçalar haline getirilerek, farklı yüzdelerde polietilen karıştırılıp sıcak presleme ile plakalar elde edilmiştir. Elde edilen plakalar kesilerek deney numuneleri haline getirildikten sonra mekanik deneyler yapılmıştır.

Son olarak, yapılan deneylerin sonuçları analiz edilerek, mukavemet özelliklerinin genel değerlendirmesi yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre elde edilen malzemelerin hangi alanlarda alternatif olarak kullanılabileceği tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kompozit kağıt, mekanik özellikler, geri dönüşüm, yüksek yoğunluklu polietilen.

ABSTRACT

This thesis study involves the determination of the mechanical features of the plaques produced via hot pressing the composite paper materials obtained by recycling with high-intensity polieliten in different ratio.

In the first part, infotmations about recycling methods, polietilen material and mechanical experiments are given. It is explained that what problems were experienced while recycling composite paper materials and the stages they went through while reaching to the recycling institution.

In the second part, the principles of preparing the samples of pulling and curving from composite paper material are mentioned. They were chunked into little pieces, mixed with different percentage of polieliten and then plaques were obtained by hot pressing. Finally mechanical experiments were held after these plaques turned into experiment samples by being cut.

At the end, the results of the experiments are analized and endurance features are evaluated generally. According to the final results, it is negotiated that in which fields these new materials could be alternatively used.

Keywords: Composite paper,mechanical features,recycling, high-intensity polieliten.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1: Kompozit kağıt malzeme bileşenleri.	1
Şekil 2.1: Yonga levha üretim aşamaları.	3
Şekil 2.2: Yonga levha kullanım alanlarına örnekler.	4
Şekil 2.3: Sulu hamurlaştırma makinesinin şematik çizimi.	5
Şekil 2.4: Eleme makinesinin şematik çizimi.	5
Şekil 2.5: Polietilen ve alüminyumun temizlenmesinde döner tambur.	6
Şekil 2.6: Döner tambur aşamasından sonra polietilen ve alüminyum.	6
Şekil 2.7: Alüminyum/Plastik ekstrüzyonu.	7
Şekil 2.8: Ecoallenne firması tarafından üretilen bazı plastik ürünler.	7
Şekil 2.9: Temizlenmiş ambalajdan yakıt üretilmesi.	8
Şekil 2.10: Piroliz prosesi.	9
Şekil 2.11: Gazifikasyon yöntemiyle sentetik gaz üretim aşamaları.	10
Şekil 5.1: Kuvvet-Uzama grafiği.	23
Şekil 5.2: Karbon oranı düşük çeliklerin çekme grafiği.	26
Şekil 5.3.a: Sert malzemelerin kırılması.	27
Şekil 5.3.b: Yumuşak malzemelerin kırılması.	27
Şekil 5.4: 3 nokta eğme deneyi düzeneği.	28
Şekil 5.5: 3 noktalı ve 4 noktalı eğme deneyleri değişim grafiği.	29
Şekil 5.6: Plakaların hazırlanması.	33
Şekil 5.7: Plakaların CNC tezgahta işlenmesi.	34
Şekil 5.8: Çekme deneyi numunesi ebatları.	34
Şekil 5.9: 3 nokta eğme deneyi numunesi ebatları.	35
Şekil 5.10: Çivi çekme deneyi numunesi ebatları.	35
Şekil 5.11: Su emdirme deneyi numunesi ebatları.	36
Şekil 5.12: CNC tezgahta işlenerek oluşturulan çekme numuneleri.	36
Şekil 5.13: Çekme cihazı ve çekme aparatları.	37
Şekil 5.14: Çekme deneylerine ait gerilme-gerinim grafiği.	38
Şekil 5.15: 3 nokta eğme deneyi numuneleri.	39
Şekil 5.16: 3 nokta eğme deneyinin çekme cihazında yapılışı.	39
Şekil 5.17: 3 nokta eğme deneylerine ait yük-sehim grafiği.	40
Şekil 5.18: Çivi çekme deneyi numuneleri.	42
Şekil 5.19: Çivi çekme deneyi aparatları.	42
Şekil 5.20: Çivi çekme aparatlarının çekme cihazında kullanımı.	43
Şekil 5.21: Numunelerin saf suda bekletilmesi.	44
Şekil 5.22: Numunelerin ağırlık ölçümü.	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1: Termoplastiklerin tipik özellikleri.	17
Çizelge 4.2: Y.Y.P.E.'nin özellikleri.	21
Çizelge 5.1: Çekme deneyi mukavemet değerleri tablosu.	38
Çizelge 5.2: 3 nokta eğme deneyi mukavemet değerleri tablosu.	41
Çizelge 5.3: Çivi çekme deneyi mukavemet değerleri tablosu.	43
Çizelge 5.4: Su emdirme deneyi değerleri.	46



SİMGELER DİZİNİ

A	Yüzey Alanı (mm^2)
A₀	Kesit Alanı (mm^2)
Al	Alüminyum
Al(OH)₄	Alüminyum Oksit Alüminat
Atm	Atmosfer Basıncı Birimi
b	Numune Genişliği (mm)
c	Maksimum Gerilme Noktasının Tarafsız Eksene Uzaklığı (mm)
cm³	Santimetre Küp
d	Kiriş Yüksekliği (mm)
Dk	Dakika
E	Elastiklik Modülü (MPa)
F	Kuvvet (N)
f	Sehim (mm)
Gr	Gram
h	Kiriş Yüksekliği (mm)
I	Dikdörtgen Kesit İçin Atalet Momenti (mm^4)
KD	Kesit Daralması
KU	Kopma Uzaması
Kg	Kilogram
Kw	Kilowatt
L	Mesnetlerin Aralığı (mm)
L₀	Malzemenin İlk Boyu (mm)
L_k	Malzemenin Koptuğu Andaki Uzunluğu (mm)
m	Yük-Sehim Eğrisinin Eğimi (N/mm^2)
Mm	Minimetre
Mm²	Minimetre Kare
Mpa	Megapascal
M_e	Eğilme Momenti (Nmm)
NaOH	Sodyum Hidroksit
P	Birim Alana Etki Eden Yük (N)
P_a	Malzemeye Akma Noktasında Etki Eden Yük (N)
P_k	Malzemeye Kopma Noktasında Etki Eden Yük (N)
P_{max}	Malzemeye Etki Eden Maksimum Yük (N)
r	Yarıçap (mm)
V₀	Malzemenin Başlangıçtaki Hacmi (mm^3)
V_k	Malzemenin Koptuğu Noktadaki Hacmi (mm^3)
Δ_L	Malzeme Boyunda Meydana Gelen Uzama (mm)
ε	Deformasyon Miktarı
σ	Maksimum Normal Gerilme (N/mm^2)
σ_a	Akma Gerilmesi (N/mm^2)
σ_ç	Çekme Gerilmesi (N/m)
σ_k	Kopma Gerilmesi (N/mm^2)
°C	Santigrat Derece
π	Pi Sayısı

KISALTMALAR DİZİNİ

ASTMD 883	American Standard for Testing and Materials
AYPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
CNC	Computer Numerical Control
Eva	Ethylene-Vinyl Acetate
HALS	Hindered Amin Light Stabilizers
LAYPE	Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen
LSD	Least Significant Difference
MDF	Medium Density Fiberboard
OSB	Oriented Strand Board
OYPE	Orta Yoğunluklu Polietilen
PE	Polietilen
PL	Plastik
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
UV	Ultraviolet
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

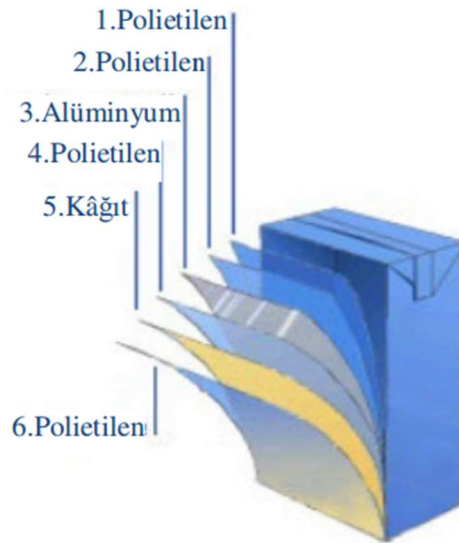
1. GİRİŞ

Genel anlamda kompozit malzeme, farklı özelliklerdeki ve sayıca fazla malzemelerin olumlu özelliklerini birleştirmek için veya bu malzemelerde bulunmayan bir özelliği ortaya çıkarabilmek için elde edilen malzemelerdir. Bir başka anlamda da, kullanılan malzemelerin eksik yönlerini bertaraf ederek daha güçlü özellikler oluşturabilmek için birleştirilen, farklı türden malzemelerden oluşmuş malzemelerdir [1].

Daha çok yiyecek ve içecek paketleme sektörlerinde kullanılan kompozit malzemeleri bileşenlerine ayırmak mekanik metotlarla mümkün olmamaktadır. Kompozit paketler, içerdikleri bileşen yüzdelere göre başlıca üç tür olarak sınıflandırılabilirler. Bunlar; kağıt-karton ağırlıklı, metal ağırlıklı ve plastik ağırlıklı kompozit ambalajlardır.

Sıvı gıda ürünlerinin uzun süre korunmasında daha çok kağıt karton ağırlıklı kompozitler kullanılmaktadır ve günümüzde çokça tercih edilmektedir.

Özellikle sıvı gıda ürünlerinin uzun süre korunması için kullanılmakta olan kompozit esaslı içecek kartonlarının içeriklerinde %5 oranında alüminyum, %20 oranında polietilen, %75 oranında da kağıt bulunmaktadır [2]. Altı katmandan oluşan kompozit kağıt malzemenin bileşenleri Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1: Kompozit kağıt malzeme bileşenleri [1].

Geçmiş yıllarda bir şehirde yapılmış olan katı atık değerlendirme çalışmasında kağıt kompozit miktarı %0,7 olarak belirlenmiştir. Bu şehir için günlük 14 bin ton katı atık miktarına sahip olduğu düşünülecek olursa, yılda 34 bin ton atık kağıt kompozit miktarına ulaşılmaktadır. Bu hesaptan yola çıkılarak ülkemizde kullanılan kağıt kompozit miktarı yılda 100 bin tonlara ulaşmaktadır.

Türkiye’de bakanlık lisanslı geri dönüşüm tesisi sayısı 4’tür. Bu tesislerin en büyük olan 2 tanesinin toplamdaki işleme kapasiteleri yılda 8 bin tonu geçmemektedir. Diğerlerinin de eşit kapasitede olduğunu varsaysak dahi bu 4 tesisin toplam işleme kapasitesi, sadece İstanbul’daki atık haldeki kağıt kompozit içecek ambalajı potansiyelini karşılamamaktadır. Yılda 100 bin ton kağıt kompozit içecek kartonunun piyasaya sunulduğu kabul edilecek olursa, bu lisans sahibi tesislerin ülkemizdeki toplam potansiyelin %10’undan fazlasını karşılayamayacağı düşünülmektedir.

2. KAĞIT KOMPOZİTLERİN GERİ DÖNÜŞÜM VE GERİ KAZANIMI

1994 yılında kullanılmaya başlayan yonga levha üretimi yöntemi, kompozit içecek kartonlarının geri dönüşümüyle ilgili ilk yöntemdir. Kağıt kompozit malzemelerin bileşenlerine ayrılmadan işlenmesiyle imal edilen malzemeler paketlenme, inşaat sektörü ve mobilya sektöründe kullanılmaktadır. Daha sonra kağıt kompozit kartonların içeriğinde büyük orandaki kağıt elyafların tekrar kazanıldığı geri dönüştürme yöntemleri başlamıştır. Bu geri dönüştürme işlemlerinden sonra arta kalan alüminyum ve polietilen malzemeler başlarda yakıt amaçlı kullanılmaktaydı. İlerleyen dönemlerde arta kalan bu malzemelerin işlenerek farklı ürünler oluşturulduğu imalat yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır.

2.1 Termal Sıkıştırma

Atık kağıt kompozit kartonlardan bütün olacak şekilde yeni ürünler elde edilmesi termal sıkıştırma olarak adlandırılmaktadır. Termal sıkıştırmayla elde edilen yeni ürünlere yonga levha adı verilmektedir. Bu metotta kullanılan kağıt kompozit malzemeler geriye hiç atık malzeme bırakmaz. Öncelikle atık kağıt kompozit malzemeler küçük parçalara ayrılarak presleme işlemine tabi tutulur. Ardından metal esaslı plakalarla 170 °C'ye ısıtılırlar. Isıtma işlemi yapılırken, kompozit malzemenin içeriğindeki polietilen sayesinde ekstra yapıştırıcı kullanmaya gerek kalmaz. Küçük parçalara ayrılmış olan kağıt kompozitlerin içindeki polietilen eriyerek alüminyum ve kağıt parçaları birbirine bağlar. Kağıt kompozitin içeriğinde bulunan alüminyum, ısının eşit miktarda yayılmasını sağlar. Elde edilen bu plakalar soğuk preste soğutularak ayarlanan kalınlıklar için tekrar preslenir (Şekil 2.1) [1,3].



Şekil 2.1: Yonga levha üretim aşamaları.

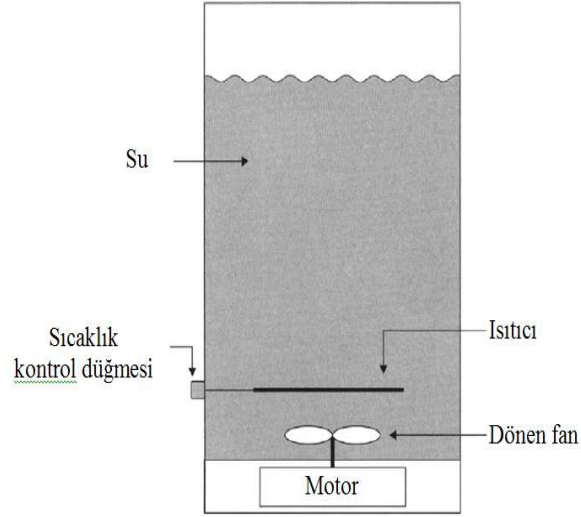
Bu metotla elde edilen plakalar nemlenmeye karşı dayanıklıdır ve yalıtım özellikleri çok iyidir. Bu yüzden mobilya, zemin döşeme ve iç cephe dekorasyonları için oldukça uygundur (Şekil 2.2). Yonga levhalar özel yapıştırıcılarla yapıştırılarak ahşap yüzey kaplamaları ile kaplanarak, ofis mobilyalarının üretiminde kullanılan ahşap esaslı ürünlere alternatif olarak kullanılabilirler. Ama bu durumun tersine imalatçı firmalar, kağıt kompozit malzemelerden üretilen yonga levhalar yerine ahşap esaslı sunta ve MDF malzemeler kullanmayı tercih etmektedirler [1,3].



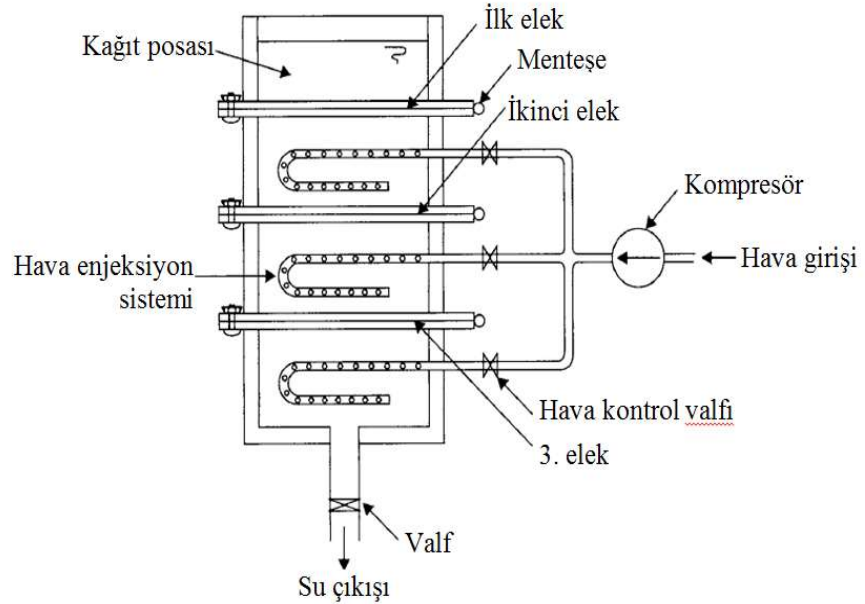
Şekil 2.2: Yonga levha kullanım alanlarına örnekler.

2.2 Sulu Hamurlaştırma (Hydropulping)

Kağıt kompozit malzemeler küçük parçalara ayrılarak sulu hamurlaştırma tankının içine alınır (Şekil 2.3) ve sıcak su ile karıştırma işlemiyle selüloz lifleri sulu kağıt hamuru haline gelir. Elde edilen bu karışım daha sonra elek içerisine dökülür. Elek içerisine hava basılarak içeride eleklerin temizlenmesini ve malzemelerin birbirinden ayrılmasını sağlayan sirkülasyon oluşturulur. Karıştırma işleminden sonra eleğin altındaki vana açılarak suyun tahliyesi sağlanır. Altta biriken selüloz lifleri elekten toplanır (Şekil 2.4). Son olarak lifler yıkanarak kağıt üretiminde kullanılmak üzere kağıt fabrikalarına gönderilir.



Şekil 2.3: Sulu hamurlaştırma makinesinin şematik çizimi [3].



Şekil 2.4: Eleme makinesinin şematik çizimi [3].

Kağıt kompozit malzemeler sulu hamurlaştırıcıda işlenebileceği gibi atık mukavva, çeşitli ofis atıkları ya da defter kitap gibi malzemelerle de işlenebilir. Temizlenmiş kağıt oranı, sulu hamurlaştırmanın ardından gelen sisteme göre değişiklik göstermektedir. Geri dönüştürme işleminde döner tambur ile işlem yapılıyorsa %5'e kadar kağıt kullanılan mukavvaların sisteme karıştırılmasının zararı olmamaktadır.

Hamurlaştırıcı tankının içindeki karışım, alüminyum ve plastik şeritlerin liflerden arındırılması için yıkanır. Bu düzenekte malzeme yıkayıcısı olarak silindir kesitli, ızgaralı, basınçsız ve döner mekanizmalı yıkayıcılar tercih edilmektedir. Bu şekildeki

yıkayıcılara ait görüntü Şekil 2.5'te verilmiştir. Yıkama işleminin ardından oluşan artık lifler kağıt üretimine, alüminyum ve polietilen de yeni geri kazanım sistemlerine gönderilir. Yıkandıktan sonra arta kalan alüminyum ve polietilen parçacıkları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Polietilen ve alüminyumun temizlenmesinde döner tambur.



Şekil 2.6: Döner tambur aşamasından sonra polietilen ve alüminyum.

2.3 Alüminyum ve Polietilenin Geri Dönüştürülmesi

2.3.1 Plastik ürünlerin dönüşümleri

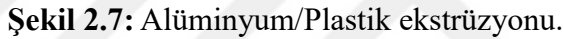
Alüminyum (AL) normal şartlar altında, polietilen (PE) gibi plastik malzemelerin enjeksiyon veya ekstrüzyon prosesine herhangi bir negatif etki etmez. Bu nedenle plastik ürünlerin üretim proseslerine dahil edilebilir [4].

AL-PL balyaları, plastik geri dönüşüm merkezlerine gönderilerek tekrar yıkanır ve bütün artık liflerden temizlenir. Bu arındırmadan sonra karışım santrifüj edilerek kurutulması sağlanır. Kurutulmuş plastik, plastik geçişi sıcaklığına kadar tutkallaştırma işlemiyle ısıtılır. Bu ısıtmayla plastik içerisindeki tüm nem ortadan



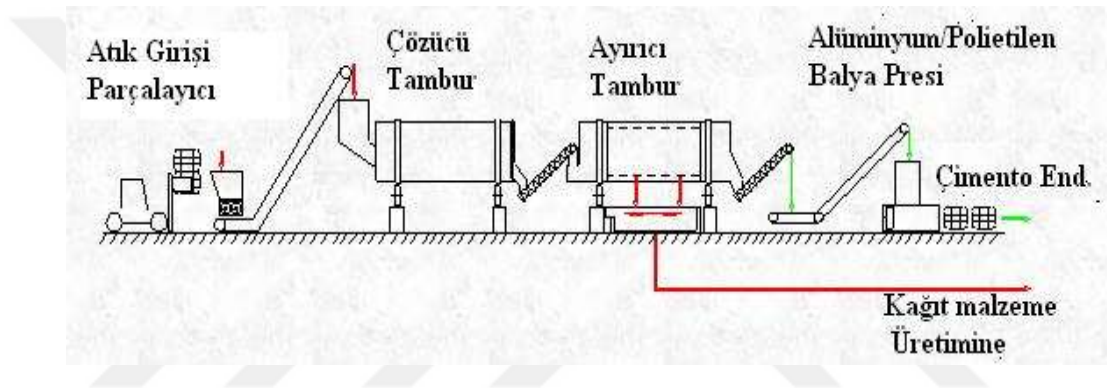
Şekil 2.7: Alüminyum/Plastik ekstrüzyonu.

Ecoallene isimli bir firma, kompozit kağıt malzemelerin liflerinden temizlenmiş alüminyum ve plastik karışımından yeni ürünler olarak plastik malzeme üretimi yapmaktadır. Bu yöntemle üretilen mukavim malzemeler granül şeklinde plastik kalıp sektöründe kullanılmaktadır (Şekil 2.8). Mekanik hamurlaştırma işleminde selüloz, plastik ve alüminyum karışımı oluşturulduktan sonra filtrelemeyle birbirinden ayrılan kağıt lifleri tekrar kağıt imalatında hammadde olarak kullanılmaktadır. Artan alüminyum ve plastik karışımı yıkanarak, parçalandıktan sonra 170°C’de eritilerek, piyasada ofis mobilyaları, ev gereçleri ve oyuncak olarak üretilmek üzere hazırlanır (URL-1).



2.3.2 Enerji kazanımı

Kağıt karton paketlerin geri dönüştürülmesinden arta kalmış AL ve PE karışımları çimento fırını ya da boyler kazanlarında yakılmak suretiyle enerji kazanma amaçlı kullanılmaktadır. Fosil esaslı yakıtların tüketimini azaltmaya yarayan bu sistem, çimento fırınlarında ek yakıt olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.9). AL tutulma işlemini sağlamlaştırmak amacıyla bu prosesler gerçekleştirilirken fırınların içerisinde gaz yıkama sistemleri ya da elektrostatik çöktürücüler barındırılmaktadır. Alüminyum yakılırken oksijenle reaksiyona girerek alüminyum trioksit meydana getirir. Oluşan bu alüminyum trioksit de su arıtma işleminde polielektrolit olarak görev alabilir.



Şekil 2.9: Temizlenmiş ambalajlardan yakıt üretilmesi (URL-2).

Plastik ve alüminyum karışımı, Sortec isimli bir firmada çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak katalizör görevi yapacak şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum, bu aşamada açığa çıkan enerji sonucunda oksitlenmektedir. Boksitin ısınmasıyla oluşan çimento üretiminde, alüminyum oksit gerekli bir bileşendir (URL-3, URL-4).

2.3.3 Piroliz

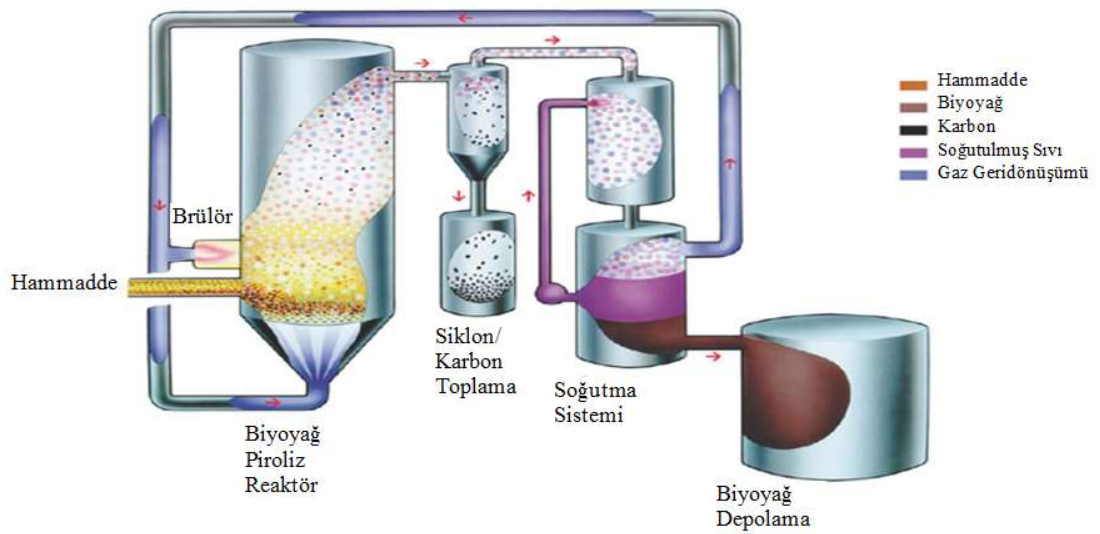
Piroliz işlemi, makromoleküllerin havadan arındırılmış alanda ısı yardımıyla bileşenlerine ayrılması sağlanarak, enerji elde etmede kullanılacak olan yağ ve gazların oluşturulmasıdır. Bu proses sonucunda oluşan ürünler katı halde, sıvı halde ya da gaz halde olabilir. Pratikte organik haldeki atık maddeye dış ortamdan ısı enerjisi verilir. Piroliz prosesi ile karışık haldeki plastik atıklar, petrol ürünleri, yanabilecek haldeki gaza ya da karbon bileşenli atık maddelere dönüştürülebilmektedir. Yanabilecek halde olan gaz çoğunlukla piroliz reaktörünü piroliz reaktörünü ısıtmada, ya da yakıt olarak veya farklı kimyasal maddelerin üretilmesinde hammadde olarak kullanılır. Karbon bileşenli atık maddeler ise

yakılabilir veya içeriğindeki ağır metaller dolayısıyla emniyet sağlanarak ortadan kaldırılabılır. Bunun yanında bu madde aktif karbon imalatında da kullanılmaktadır.

Pirolizde iki önemli değişken vardır. Bunlardan ilki ısıtma hızıdır. Isıtma hızı, yakıtın ne hızda yüksek sıcaklıklara ulaştırıldığıyla ilgili bir özelliktir. Diğer değişken ise son sıcaklıktır. Bu değişkenler piroliz prosesinden elde edilecek olan ürünün seçimi konusunda etki eder. Sıcaklığın aşırı yüksek olması ve ısıtma hızının düşük olması halinde pirolizden elde edilecek ürünün çoğu gaz halde olmaktadır. Bunun yanında ısıtma hızının yavaş olması halinde ve aynı zamanda sıcaklığın da düşük olması durumunda ise oluşacak olan ürünlerin büyük çoğunluğu katı halde olacaktır.

Piroliz sistemi çevre koşulları bakımından oldukça olumludur. Çevre kirliliğine çok az sebebiyet verir ve prosesin sonucunda kullanılabilecek yakıt açığa çıkar. Bütün bunların yanında piroliz prosesi, şeker kamışı küspesi, orman atıkları gibi homojen halde ve yapısı bilinmekte olan maddelerin yakılması sonucunda düzenli sonuçlar verirken, kentsel atıklar gibi heterojen haldeki ve yapısı bilinmemekte olan atıkların yakılması sonucunda olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

Piroliz prosesi, atık kağıt kartonların geri dönüştürülmesinde alternatif metotlardan bir tanesidir. Piroliz prosesi için kullanılan fırınlarda oksijen oranı düşük olduğu durumlarda alüminyumun oksitlenmesinin önüne geçilerek polietilenin oksijen ile reaksiyona girmesi sağlanır. Bu şekilde piroliz için enerji üretilmiş olur. Aşağıda piroliz prosesinin evrelerini gösteren şema gösterilmektedir (Şekil 2.10).



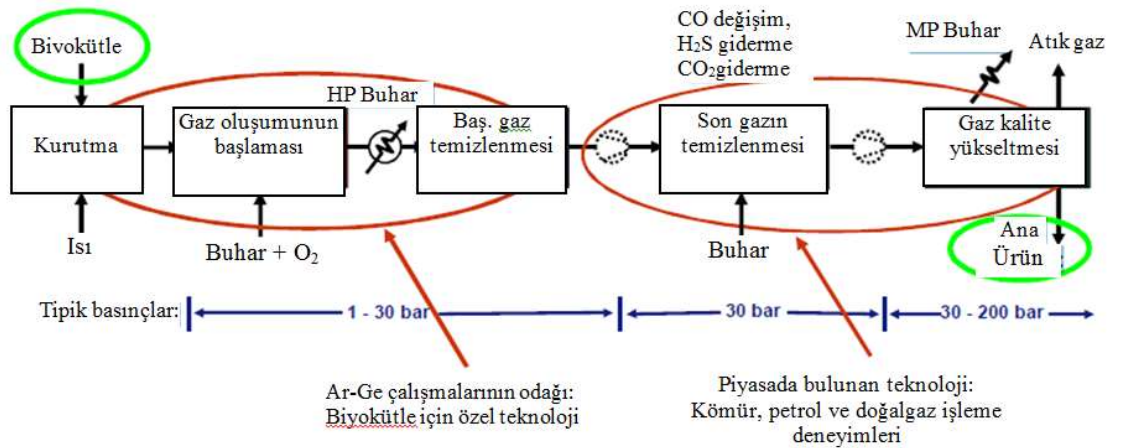
Şekil 2.10: Piroliz prosesi (URL-5).

2.3.4 Gaz haline getirme (Gasification)

Atık haldeki kağıt kompozit kartonlarda bulunan katı haldeki PE, yüksek sıcaklıkta yakılarak gaz halindeki başlıca bileşenlerine ayrıldıktan sonra enerji olarak kullanılmaktadır. Arta kalan AL ise granülleştirildikten sonra metal işleme endüstrisinde kullanılır.

Gaz haline getirme işlemi, içeriğinde karbon bulunduran bir maddenin oksijen, hava, su ve bunların karışımından oluşan gazlı bileşiklerin kullanılarak termokimyasal olarak gazlı bir ürüne dönüştürülmesidir. Gaz haline getirme, katı formdaki ya da sıvı formdaki maddeler yüksek sıcaklıklarda gazlı bileşenlerine ayrılırlar. Ayrılan bu gazlı bileşenlerin hidrojen ve karbonmonoksit bulunduran yerlerinden kimyasallar, buhar, sentetik doğalgaz, güç ve sıvı yakıt oluşturulur.

Biyoatık maddelerden üretilmiş sentetik gaz işleminde, prosese gelen biyoatık (kağıt liflerinden temizlenmiş alüminyum ve plastic karışımı) yüksek sıcaklıklarda kurutularak oksijen ve buhar eşliğinde gaz oluşumu başlar. Proseste oluşan gaz, temizlenmesi amacıyla bir sonraki aşamaya aktarılır. Bu son üniteye giren gazlardan kükürt ve karbondioksit buhar eşliğinde uzaklaştırılması sağlanarak gaz iyileştirilir. Son olarak da gazın kalitesi yükseltildikten sonra ana ürün elde edilmiş olur ve atık haldeki gaz sistemden uzaklaştırılmış olur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Gazifikasyon yöntemiyle sentetik gaz üretim aşamaları [5].

Corenso isimli bir firma günümüzde gaz haline getirme metodu uygulamaktadır. Burada kağıt liflerden ayrıştırılan alüminyum ve plastik ekogaz tesisine gönderilir. Bu tesiste AL granülleştirilerek geri dönüştürülürken, PE'den gaz elde edilir. Gaz haline getirme prosesiyle geri dönüştürülerek elde edilen buhar, kağıt üretim

prosesinde kullanılır. Corenso firması 2001 yılında üretime başlamıştır ve bu tesiste 85 bin ton/yıl kompozit kağıt prosesten geçirilmektedir. Bu kompozit kağıtlardan 50 bin tonu Almanya'dan, birkaç bin tonu Hollanda'dan ve geri kalanlar ise Finlandiya'dan gelmektedir (URL-6).

2.3.5 Plazma teknolojisi

Selülozik liflerden ayrılan AL ve PE, birbirlerinden termal plastik teknolojisiyle ayrılırlar. Bu sistem doğrultusunda, plazma torcu aracılığıyla oksijenden arındırılmış ortamda alüminyum plastik bileşeni 12.000 °C sıcaklıkta birbirinden ayrılırlar. Bu prosesle alüminyumda %99 oranındaki saflıkta ingot ve plastikten de yüksek saflıkta parafin oluşturulur. Prosesin sonucunda oluşan gazlar da arındırılarak atmosfere bırakılır (URL-2).

Plazma teknolojinin avantajlarından bahsedecek olursak, enerji verimliliğinin yüksek olması, doğal kaynakların geri kazanılması, sistemden çıkan gazların arıtmaya gerek duymaması ve temiz bir yöntem olmasıdır.

Kağıt kompozit kartonların içeriğindeki üç bileşenin verimli olarak ayrıştırılması Alcoa Aluminio isimli firma tarafından plazma teknolojisi ile yapılmaktadır. Bu firma 2006 senesinde üretime başlamıştır ve çalışır hale gelene kadar 40 milyon dolar harcanmıştır. Bu firmada kağıt lifler hamurlaştırılma yoluyla ayrıştırıldıktan sonra alüminyum ve plastik karışımı 15.000 °C'ye ısıtılır ve bu ısıtma sonrasında saf olarak alüminyum ve petrokimya sanayisinde kullanılmak üzere parafin yağı imalatı yapılmaktadır. 400-500 kW-saat elektrik enerjisiyle 1 ton alüminyum üretilmektedir. Plazma tesisi 8 bin ton/yıl alüminyum ve plastik karışımı işlemektedir ve bu da 32 bin ton/yıl aseptik malzemeyle eşdeğerdir.

3. ALÜMİNYUM (AL)

Alüminyumun kimyasal simgesi “AL”, yoğunluğu 2,5, atom ağırlığı 26,97 ve atom numarası 13’tür. Alüminyum, gümüş gibi beyaz renkte ve özgül ağırlığı 2,7 olan hafif bir metaldir (URL-7).

Ergime noktası 650°, kaynama noktası 1.800°’dir. AL yüzeyi, metali oksijenin etkisine karşı koruyan ince bir oksit tabakayla örtüldüğünden havaya karşı dayanıklıdır. Kolaylıkla levha ve tel durumuna getirilebilmektedir. Çekiçle dövülebilir. Isı ve elektrik için iyi bir iletkenidir.

AL tabiatta en fazla bileşiği bulunan metaldir. Bileşikler durumunda dünya yüzeyinin aşağı yukarı % 8’ini meydana getirir. Genellikle feltspat, mika ve bunların bozulmalarından meydana gelen kil şeklinde bulunur. Öteki önemli bileşikleri buztaşı ve oksittir. Bunların her ikisi de teknikte önemi olan alüminyum filizleridir. Ülkemizde Zonguldak ve Toroslar’da zengin boksit damarları vardır.

Alüminyum ilk olarak Danimarka’lı fizik ve kimyacı Oersted tarafından oksitten elde edildi. Bu işte indirgen olarak potasyum kullanılmıştı. Ama, 1886’da bulucularının adlarıyla isimlendirilen Hail - Heroult metodu alüminyumun ucuza elde edilmesini sağladı. Hail - Heroult metoduyla alüminyum elde edilmesi iki safhada olur:

Önce yüzde 50 oranında alüminyum oksiti (alümin) kapsayan boksit, yabancı maddelerden temizlenerek saf alümin istihsal edilir.

Sonra bu saf alümin ve kriyolit elektroliz edilir. Alüminyum kimyaca aktif bir metal olduğundan, alkali ve toprak alkali metalleri dışında ötekilerini tuzlarından açığa çıkarır.

Asitler ve hidroksitler alüminyumı kolayca etkilerler. Saf olarak pek ender kullanılır. Ama alaşımları geniş bir kullanma alanına sahiptir. Tabiatta elementel halde bulunmayıp, bileşikler halinde bulunur. Bileşikleri yer kabuğunun % 8’ini teşkil eder ve bolluk sırasında üçüncü gelir. Hemen hemen bütün kayalar özellikle

volkanik kayalar % 60 alüminyum ihtiva eden alümino silikat mineralleridir. 1825 yılında Hans Oersted, metalik alüminyumu; alüminyum klorürü, potasyum civa karışımı (potasyum amalgaması) ile ısıtmak ve sonra da civayı buharlaştırmak (destillemek) suretiyle, metalik parlaklık gösteren bir toz halinde elde etmiştir.

3.1 Alüminyumun Özellikleri

Saf alüminyum gümüş gibi parlaktır ancak hava temasından sonra oksitlenip mat bir görünüm kazanır. Aynı zamanda yumuşak ve dayanıksızdır. Bu özelliklerinin yanında diğer elementlerin az miktarları ile yaptığı alaşımları sert ve dayanıklıdır. Alüminyum alaşımları işlenebilir, dövülebilir, kaynakla eklenebilir, üzerine cila ve boya yapılabilir. Üzerinde oluşan oksit tabakası koruyucu özelliktedir. Oksit tabakası çok ince olmasına rağmen çok dayanıklı bir koruyucudur.

Oluşan oksit tabaka, eritildiğinde daha kalın hale gelir ve erimiş haldeki alüminyum metalini de korur. Yani metalin yanmasını engeller. Bu sebeple ince alüminyum varakı, hidrojen alevinde bile yakmak mümkün değildir. Alüminyum oksijen hamlacı ile bu koruyucu oksit tabakasına sahip olmasından dolayı kesilemez. Alüminyum manyetik değildir, elektrik ve ısı iletme özelliğine sahiptir.

Birçok kimyasal maddeye karşı ve bazı asidik özellikteki maddelere karşı dayanıklı olmalarına rağmen, hidrolik aside ve alkalilere karşı çok aktiftir. Yüzeyindeki film tabakası halindeki alüminyum oksit, alkali ortamda çözünmektedir. Alüminyum ve oksijenin birleşmesi durumunda yüksek oranda ısı açığa çıkar. Toz halindeki alüminyum yeterli miktarda oksijen ile karıştırılırsa patlayıcı bir karışım elde edilir.

3.2 Tabiatta Bulunuşu

Alüminyum, doğada alüminyum silikat halindedir ve korkayaçlarda, feldispatlarda, mikalarda, killi topraklarda, boksitte ve demir oranı yüksek lateritlerde bulunur. En önemi alüminyum cevheri olan boksitte % 52 oranında alüminyum oksit bulunur. Boksit kayaçları görsel anlamda, içerdikleri bileşimlere bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir.

Sarı tonlarında, gri tonlarında ve kırmızı tonlarında değişen renklerde ve kilden kayaca kadar farklı biçimlerde olabilir. Dünya üzerinde neredeyse bütün kıtalarda boksit mineralleri bulunmaktadır. ABD, Avustralya, Hindistan, Endonezya, Malezya, Çin, Sovyetler Birliği, Gana, Yunanistan, Yugoslavya, Macaristan, İtalya ve Fransa'da büyük boksit mineralleri mevcuttur.

Metalik alüminyum elde edilmesi için ancak % 45 veya daha büyük oranda alüminyum oksit ihtiva eden toprağımsı boksit cevherleri elverişlidir. Yüzde 40-60 oranında alümina ihtiva eden gipsit ve böhmit adlı iki mineral, günümüzde ekonomik açıdan işlenmeye değer görülmektedir. Boksit dışında başka alümina kaynakları da mevcuttur.

Bunların başlıcaları alümina killeri, davsonit, alünit, alüminyum ihtiva eden kilaşları, korkayaçlar ve saprolit ile sillimanit mineralleridir. Doğı Avrupa ülkeleri boksit dışındaki cevherlerden faydalanma yoluna gitmişlerdir. Madencilikte kullanılan boksit bugüne kadar büyük ölçüde yüzeyde veya yüzeye yakın katmanlarda bulunmuştur.

Dolayısıyla, cevheri saran ince toprak ve kayaç katmanlarının kaldırılması dışında bir işlem gerektirmeyen açık kuyulardan çıkartılır. Alüminyumu bileşikleri halinde ihtiva eden ve endüstriyel öneme sahip Turkuaz, kriyolit, zımpara taşı, korendon, kaolin önemli minerallerindendir.

3.3 Elde Edilişı

Alüminyumun birçok minerali olmasına rağmen, dünyadaki alüminyum imalatının neredeyse tamamı boksit minerallerinden elde edilir. Saf alüminyumun eldesi için iki kademedен oluşan işlemler yapılmaktadır. Birincisi boksit filizinin içindeki demir ve silisin “bayer” metoduna göre arıtılmasıdır.

Bunun için alüminyumun amfoter özelliğinden yararlanılır. Ham boksit sıcak NaOH çözeltisi uygulanır. Alüminyum oksit alüminat iyonu $Al(OH)_4$, ayrıca silisyum oksid de silikat iyonu vererek çözeltiye geçer. Çözeltideki alüminat ilave edilen alüminyum hidroksit kristali ile aşlanarak alüminyum hidroksit halinde çöktürölür.

Buradan alınan çökelti yıkanır ve $1093^{\circ}C$ 'de ısıtılarak suyu alınır. Beyaz alüminyum oksit tozu elde edilir. İkinci işlem ise saflaştırılmış olan alüminyum oksidin Hall Heroult metoduna göre $1000^{\circ}C$ sıcaklıkta ergimiş sodyum alüminyum florür banyosunda çözölerek bir doğıru akım etkisinde bırakılmasıdır. Bu işlemde 750 kg alüminyum elde etmek için 750 kg grafit elektrot harcanır.

3.4 Alaşımları ve Kullanıldığı Yerler

Alüminyumun en önemli alaşımlarından biri duralüminyumdur. %0,6 oranında mangan, %4,5 oranında bakır, %1,5 oranında magnezyumdan oluşmaktadır. Makine parçaları imalatında kullanılır.

Alüminyum çeliği, %5 oranında alüminyum barındıran bir çelik türüdür. Transformatör ve dinamo imalatında kullanılır.

Alüminyum bronz, %90 oranında bakır ve %10 oranında alüminyum içerir. Gemi ve makine yapımında kullanılır. Alüminyum magnezyum alaşımı, %5 magnezyum içeren bir alaşımdır.

Alüminyum kaloen, feldispat gibi mineralleri seramik, porselen ve çimento sanayisinin temel maddeleridir. Elmařtan sonra gelen en sert mineral korendondur. Korendonun içerisinde krom bulunursa yakut, kobalt bulunursa safir oluşur. Bu taşların değeri, berraklıkları ve renklerinin yoğunluğu ile artarak elmaş değeriine ulaşmaktadır.

Tren rayları, ağır makina manivelaları gibi ağır iş gören kısımların çatlak ve kırıkları alüminyum kaynağu ile tamir edilir. Alüminyum kaynağu toz halindeki alüminyum ve demir oksitin karıştırılarak yüksek sıcaklığa maruz bırakılmasıyla elde edilir. Alüminyum en çok taşımacılık ve mimaride kullanılmaktadır. Uçak kanatları ve gövdesi, vagon, otomobil karoseri ve küçük deniz araçları yapımında yaygın olarak kullanılır.

Ayrıca alüminyum, alaşım dökümleri, silindir başalrı, yağ tavlaları ve çeşitli motorlarda kullanılmaktadır. Boksitin ark fırınında karbon yardımıyla işlenmesiyle elde edilen alüminyum daha ekonomik olarak elde edilmektedir.

4. POLİETİLEN (PE)

Bir maddenin en küçük bileşeni olan atomların zincirler halindeki halkalar şeklinde birbirlerine bağlanarak oluşan büyük moleküller yapısındaki sentetik maddeler plastik (polimer) olarak adlandırılır. Mako moleküller ise polimerlerin en küçük yapı taşlarını meydana getiren halka şeklindeki büyük yapıli moleküllerdir. Makro moleküllerde bulunan atomların hepsi, bitişığindeki diğeri atoma bağlanma değeriyle bağlanmaktadır. Bu modelde meydana gelen yapı, zincir şekline benzetilmektedir. Plastiklerin elde edilmesi; polikondanzasyon, poliadisyon ve polimerizasyon gibi kimyasal tepkimeler yoluyla ya da doğal oluşumların değışmesiyle olur. Literatürde yer alan polimer terimi, daha çok sanayide kullanılan plastik ifadesiyle aynı anlamda olan bir terimdir. Polimer ve plastik ifadelerinin yanında bazı hallerde reçine terimi de kullanılır. Daha çok plastiklerin karışimleri ve birleşimleri olan durumlarda reçine ifadesi kullanılmaktadır. Polimerdeki gibi plastik yerine kullanılmaktadır.

Plastiklerin birçoğı, ana bileşeni meydana getiren reçine ile ifade edilir. Bu plastikler saf polimerlerdir. Reçineler direkt olarak son ürün üretiminde kullanıldığı gibi, içeriğine birçok katkı maddesi katılması yoluyla, son üründe istenen bazı özelliklere bağlı kalarak da işlenebilirler.

Plastikler, temelde termoplastikler, termoset plastikler ve polimer alaşımları olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [6].

Çoğunlukla ısıtılıp daha sonra soğutulunca başlangıçtaki şeklini alan maddeler termoplastik, ısıtılıp soğutulduğunda eski halini alamayan maddeler ise termoset olarak bilinmektedir. ASTM D 883 standartlarına göre de plastikler bu şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunun dışında, sınıflandırma için plastiklerin mekanik özellikleri de eklenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda plastikler üç ana gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar; rijit plastikler, yarı rijt plastikler ve rijit olmayan plastiklerdir.

Rijit plastikler elastiklik modülü 700 MPa'dan büyük olan plastiklerdir. Yarı rijit plastikler elastiklik modülü 70MPa ile 700MPa arasında olan plastiklerdir. Rijit olmayan plastikler ise elastiklik modülü 70MPa'dan küçük olan plastiklerdir.

4.1 Termoplastikler

Termoplastikler genel itibariyle sanayi alanında geniş kullanım alanına sahip olan plastiklerdir. Başlıca termoplastik çeşitleri ve tipik özelliklerinin olduğu çizelge aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: Polimerik Malzemelerin Erime ve Camsı Geçiş Sıcaklıkları

İsmi	Kimyasal gösterimi	T _m °C	T _g °C
Polipropilen	$(-\text{CH}_2-\text{CHCH}_3-)_n$	60-170	-5
Poliimid	$[-\text{N}-(\text{CO})=\text{R}_1=(\text{CO})=\text{N}-\text{R}_2-]_n$		
Poliamid	$[-\text{R}_1-\text{CO}-\text{NH}-\text{R}_2-\text{NH}-\text{CO}-]_n$	170-225	
Polisulfonlar	$[-(\text{C}_6\text{H}_5)-\text{SO}_2-(\text{C}_6\text{H}_5)-]_n$	370-175	-230
Polivinil Klorür	$(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$	75-95	
Polistren	$(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-)_n$	70-115	
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	126-132	-100
Alçak Yoğunluklu Polietilen	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	110	-100
Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	120-130	-100
Orta Yoğunluklu Polietilen	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	110-130	-100
Polimetil Pentenler	$[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_4\text{H}_9)-]_n$	230-250	18-40
Polieter-Oksitler	$[-\text{CH}_2-\text{O}-]_n$	175-200	-85-(-50)
Fenilen Oksit Reçineler	$[-\text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3)_2-\text{O}-]_n$	260	204-234

4.2 Polietilen Malzemeler

Polietilen beyaz tonlarında, ısıtıldığında yumuşayabilen, yarı geçirgen ve mukavemet olarak çok dayanıklı bir polimerik maddedir. Piyasada satılan polietilenler genellikle şeffaf olanlardır. Polietilenlerin şeffaflığıyla yoğunluğu arasında doğrudan bir ilişki vardır. Yoğunlukları azaldıkça şeffaflıkları da azalır. Yoğunluklarına göre polietilenler 4 gruba ayrılırlar. Bunlar; alçak yoğunluklu polietilen, lineer alçak yoğunluklu polietilen, orta yoğunluklu polietilen ve yüksek yoğunluklu polietilendir. Dört polietilen türü için de monomer yapı taşı etilen olup, polimer molekülünün farklı yapıları ortaya çıkmaktadır. Polimerlerin çeşitliliği, molekülü meydana getiren zincir şeklindeki makro moleküllerin çeşitli yapılarda dallanmasıyla sağlanır. Dallanma özelliklerine bakılacak olursa LAYPE’de dallanma yok denecek kadar az, YYPE’de biraz fazla, OYPE’de daha fazladır. AYPE’de ise dallanma en üst seviyededir.

Dallanmaların kısa ya da uzun oluşları da polimer malzemelerin özelliklerini etkiler. Yoğunluktan dolayı şeffaflık seviyesi arttıkça, malzemenin mukavemeti ve sertliği artar, erime sıcaklığı ise yükselir. Bu özellikteki malzemeler ile gaz ve sıvıların etkileşime girmesi zordur. Etilen, polimerleşmeyi başlatıcı özellikteki bir katalizör ile polimerleşir ve polietileni oluşturur.

Polietilen zincirinde yer alan karbon atomları trans şeklinde düzenlenmiştir. Polietilen, bir çözücüde çözünüp soğutulduktan sonra kristallendirilirse tek kristal elde edilmiş olur. Zincirdeki dallanmalar kristal yapının özelliklerini oluşturur. Dört molekül yapılarında dallanma azdır ve kristallik genel olarak fazladır. Polimerlerin içerisindeki kristallik arttıkça malzemenin sertliği artar, mekanik özellikleriyle kimyasal özellikleri iyileşir. Bunun yanında sıvı ve gazlara karşı dayanımları artar. Erime indeksi molekül ağırlıklarıyla ters orantılıdır. YYPE'lerin mukavemetleri yüksek, erime indeksleri düşüktür [7].

Polimerik malzemeler hafiftir ve kullanım kolaylığına sahiptir. Aynı zamanda esnektirler ve kaynak özellikleri de çok iyidir. Özellikle elektrofüzyon veya alın kaynağı ile birleştirilmiş PE boru hatlarında kaynak yerleri oldukça sağlam olup, kaynak noktalarının eksiz boru bölgelerinden daha sağlam olduğu tespit edilmiştir.

Basınca maruz kaldıklarında ise birleşim noktalarında kopma meydana gelmez. Bu özellikleri, birleşim noktalarındaki sızıntıları da önlemiş olur.

Polimerlerin ortalama molekül ağırlıkları, polimerleri en iyi tanımlayan özellikleridir. Erime indeksleriyle polimerlerin ortalama molekül ağırlıkları belirlenir ve bu özellikleri birbiriyle ters orantılıdır. Ortalama molekül ağırlıkları azaldıkça mukavemet özellikleri azalır ve erime akış indeksleri düşer.

Gel Permeation Chromotography cihazı ile polimerlerin molekül ağırlıkları ölçülmektedir.

Polietilenlerin bazı dış etkilere karşı dayanımlarını ve dirençlerini artırmak için eritilerek basınç altında karıştırma yöntemiyle farklı kimyasal maddeler polietilenlerin içine katılır. Bu kimyasallar ve özellikleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Oksitlenmeyi Önleyiciler: Oksitlenmeyi önleyici kimyasalların yapısı genelde fenoliktir. Bu kimyasallar iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar primary antioksidant ve secondary antioksidanttır. Primary antioksidantların diğer bir ifade edilişi de radikal

söndürücülerdir. Bunlar ısıtılan polietilendeki makromoleküllerden açığa çıkan radikalleri pasifleştirir ve artışlarını engeller. Secondaryler ise oksijenden dolayı bozunan polietilenden açığa çıkan hidroperoksitleri parçalayarak bozunma olayının sürekliliğini önler. Primary ve secondary oksidantlar, polietilenin bozunmaya karşı dayanımını uzun süre artırır.

•UV Kararlılık Sağlayıcılar: Güneş ışığında bulunan ultraviyole ışınlar karbon bağlarına etki ederek zamanla bu bağları zayıflatır ve kopmasına sebep olur. Bu olayı engelleyebilmek adına polietilen içerisine farklı kimyasallar eklenerek güneş ışınlarının bu zararlı etkisinin polietilenden önce soğurulması sağlanır. Polietilen zincirine eklenen kimyasallar, UV absorbe edici ve UV quencher olarak iki gruba ayrılır. Bu iki grup dışında bunların karışımlarından oluşan kimyasallar da kararlılık artırmada kullanılmaktadır. Kararlılık artırıcı kimyasallar HALS, benzofenon ve nikel quencher olarak üçe ayrılır. Günümüzde kullanılmakta olan kimyasallar bu üç grup veya bu kimyasalların farklı karışımlarından oluşan kimyasallardır. HALS olarak adlandırılan kimyasalların tam adı Hindered Amin Light Stabilizers'tur ve yeni geliştirilen bir maddedir. Şu anda oldukça yaygındır ve üretimini birçok firma yapmaktadır. Bunların dışında UV önlemek için kullanılan renkli pigmentlerin etkileri de oldukça fazladır. Polimerlerin zararlı güneş ışınlarına karşı dirençlerini artırmak için karbon siyahı özellikle tercih edilmektedir. Ancak bazı pigmentler UV katkılarıyla kullanılırsa katkının etkisini azaltacağından her pigment UV engelleme amaçlı kullanılmamaktadır.

•Kaydırıcı ve Bloklaşmayı Önleyiciler: Yağ asitlerinde bulunan aminler kaydırıcı amaçlı, büyük oranda silisyum dioksit bulunduran inorganik maddeler de bloklaşmayı önleyici olarak kullanılmaktadır. Tane büyüklüğü ve yerleşimi ile yağ absorpsiyonu, bloklaşmayı önleyici katkılarda oldukça önemlidir. Kaydırıcıyla birlikte kullanılan bloklaşmayı önleyicilerde ise yağ absorpsiyonu önemlidir.

Polietilen malzemeler plastik işleme sektöründe en yaygın kullanılan malzemelerdir. Polietilenlerin kullanıldığı bazı plastik işleme sahalarından başlıcaları; Film ekstrüzyonu, ekstrüzyonla kağıt metal kaplama, şişirme ile kalıplama, rotasyon el kalıplama, enjeksiyonla kalıplama, toz kaplamalar, tel ve kablo imali, boru hortum imalatı ve köpük film imalatı olarak sıralanabilir.

Polietilen malzemelerin adlandırılması aşağıdaki gibidir;

Alçak yoğunluklu polietilenler (AYPE)

Yüksek yoğunluklu polietilenler (YYPE)

Orta yoğunluklu polietilenler (OYPE)

Lineer alçak yoğunluklu polietilenler (LAYPE)

Alçak yoğunluklu polietilenlerin elde edişi; otoklav içerisinde ya da boru şeklindeki tübular reaktör içerisinde, yüksek basınç altında ve 130 °C ve 350 °C arasındaki bir sıcaklıkta, organik peroksitler vasıtasıyla oluşan polimerizasyonu ile sağlanır. AYPE malzemelerin yoğunlukları 0,91 gr/cm³ ile 0,92 gr/cm³ arasındadır.

Yüksek yoğunluklu polietilenin eldesi ise titanyum tetraklorürün katalizörü ve organometalik katalizörler aracılığıyla 10 atm ve 20 atm aralığındaki basınç ve 70 °C ve 80 °C aralığındaki sıcaklıklarda etilen polimerizasyonu ile sağlanır. YYPE maddelerin moleküler yapıları dallanmamış yapıdadır. Yoğunlukları ise 0,948 gr/cm³ ve 0,968 gr/cm³ arasındadır.

Orta yoğunluklu polietilenlerin yoğunlukları 0,926 gr/cm³ ve 0,948 gr/cm³ arasındadır. Alçak basınç prosesleriyle ya da yüksek basınç prosesleriyle oluşturulur. Lineer alçak yoğunluklu polietilen ise 1980’li yıllarda bulunmuştur ve alçak basınç ve düşük sıcaklıklarda gaz fazlı reaktörlerde elde edilir. Yoğunlukları ise AYPE’de olduğu gibi düşüktür.

4.3 Uygulama Alanları

Alçak yoğunluklu polietilenler şeffaf yapıdadır ve yüzeyleri parlak olup işleme kolaylıkları vardır. AYPE filmler gıda ambalajlama, inşaat sektörü, ziraat sektörü ve çöp gübresi torbası gibi alanlarda uygulanmaktadır. Bunların dışında YYPE maddeler kağıda alternatif olarak da kullanılmaktadır.

Yüksek mukavemet değerleri ve parlak yüzeyleri dolayısıyla EVA kopolimeri maddeler film uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra ağır hizmet torbalarının üretiminde ve sıvı ambalajlamada kullanılmaktadır.

Ekstrüzyon kalıplamasında yaygın olarak AYPE ve YYPE tercih edilmektedir. AYPE, yapısı gereğı esnek, sert ve parlak olması istenen yerlerde; YYPE ise kasa, yeraltı kanalları ve büyük ebatlı eşyaların imalatında kullanılmaktadır.

Farklı bir alan olan araç yakıt depolarında ise yüksek molekül ağırlıklı YYPE malzemeler kullanılmaktadır. Kağıt yüzeyler veya kumaş yüzeylerin kaplanması AYPE kullanılmaktadır. AYPE kaplamalar, kaplama yüzeylerinin düzgün ve sert olmasını sağlar ve dış koşullara karşı dayanımlarını artırır.

4.4 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

Petrokimya tesisi, yüksek yoğunluklu polietilenin Türkiye’de bulunan tek imalatçısıdır. Üretime 1985 yılında başlamıştır. Petrokimya tesisinin üretim kapasitesi ise yılda 40.000 tondur. 1993 yılına gelindiğinde kapasitesini yılda 60.000 tona çıkarmıştır. Bu kapasiteyi de artırabilmek için 1997 yılında yine çalışmalara başlanmış ve 2001 yılında bu çalışmalar bitmiştir. Petrokimya tesisinde üretilen yüksek yoğunluklu polietilen malzemeler Türkiye’deki tüketimin % 25’ini karşılamaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilen imalathanesinde ana ürün olarak kullanılmakta olan YYPE’nin yanı sıra yan ürün olarak da low polimer üretimi yapılmaktadır. Low polimerlerin üretim miktarı YYPE’nin türüne göre değişim göstermektedir ve yaklaşık olarak kullanılan etilenin % 1,5 ve % 2’si aralığındadır.

4.4.1 YYPE özellikleri

YYPE’lerin elektriğe karşı dirençleri fazladır ve hidrofobik bir polimerik malzemedir. Film tabakası şeklindeyken gazları geçirir. Nitrik asit karşısında dirençsizdir. Çözücülerin büyük bölümünde 60 OC’nin altında iken çözünemez. Suya karşı ve inorganik tuzların sudaki çözeltilerine karşı dirençlidir. [8].

Yüksek yoğunluklu polietilenler kopma, kırılma ve parçalanma hallerine dayanıklılığını kaybettiği gibi, bunların kalıplanabilmesi için de yüksek sıcaklık ve yüksek basınca gereksinim duyarlar. YYPE’ nin tipik özellikleri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2: YYPE’nin özellikleri.

Özgül Ağırlık	0,94 – 0,97 g/cm ³
Elastiklik Modülü	0,41 – 1,24
Erime Noktası °C	127 – 137
Dayanma Gücü	21 – 38

4.4.2 Kullanım alanları

Yüksek yoğunluklu polietilenin kullanım alanlarına örnek verecek olursak;

- Ev eşyaları ve oyuncaklar,
- Ambalajlama filmleri,
- Sert borular, deterjan ve kozmetik şişeleri, su ve gaz şişeleri,
- Levha, kâğıt, kumaş ve metal kaplamada rotasyonel kalıplama maddeleri
- Market poşetleri, plastik poşetler, laminasyon, file çuvallar,
- Basınçlı su boruları, gaz ve kanalizasyon boruları,
- Su dağıtımı, kanalizasyon, sulama dağıtım şebeke boruları şeklinde örnekler verilebilir.

4.4.3 Tüketim

Yüksek yoğunluklu polietilen teknolojisindeki en büyük ilerleme multi-stage reaktörler kullanılarak imal edilen, direnci ve işleme kolaylığını artıran bimodal HMW YYPE' de olmuştur. Bu türdeki malzemeler film ve şişirme uygulamalarında AYPE ve LAYPE pazarlarından pay kapmada oldukça başarılı olmuştur. 5 litreden düşük kapasitedeki şişe üretimiyle şişirmelik uygulamalar YYPE talebinin yaklaşık olarak %40'ına sahiptir. Bu kaplar deterjan, sıvı sabun, şampuan, süt şişesi gibi oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Geri dönüştürülebilen polietilen malzemelerin bazı alanlarda kullanımının artması 1. kalite YYPE'nin kullanım alanlarını daraltsa da süt ve meyve suyu için YYPE kullanılmasının artmaya devam etmesi öngörülmektedir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

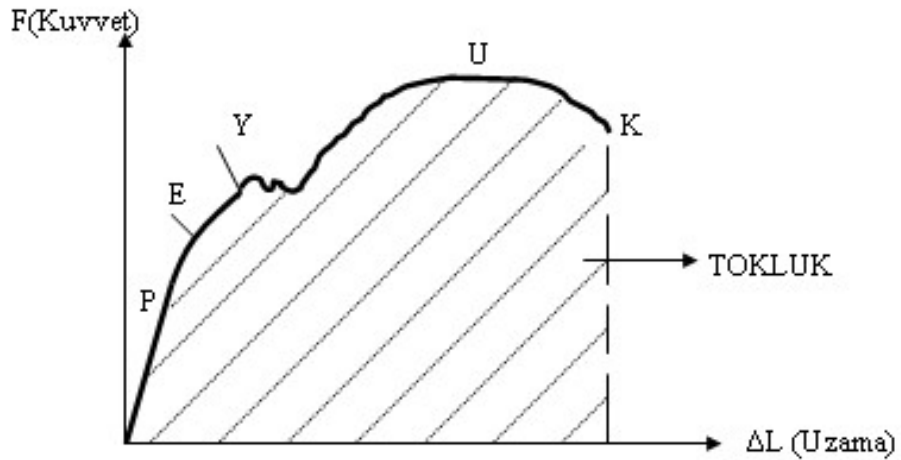
5.1 Genel Esaslar

5.1.1 Çekme deneyi literatür bilgisi

Mühendislik alanında kullanılan malzemeler rijit özellik sergilemediği için, yüklemeye maruz kaldıklarında deforme olarak şekil ve boyutlarında değişim olmaktadır. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için testler yapılmaktadır. Bu testler içerisinde en önemli olanı “çekme deneyi testi”dir.

Çekme deneyinin amacı, malzemelerin elastik ve plastik özelliklerinin statik yük altında belirlenmesidir. Bu deneyi uygulayabilmek için, deney malzemesi standartlara uygun şekilde daire ya da dikdörtgen kesitli olarak hazırlanır. Ardından çekme cihazına yerleştirilerek eksenel ve değişken kuvvetler uygulanır [9].

Çekme deneyi cihazının yapısı genel olarak; deney numunesinin bağlandığı, aşağı yukarı yönlerde hareket edebilen iki çeneden ve bu çenelere hareket veren ünitelerden oluşur. Bu üniteler uzama miktarını ve uygulanan yükü ölçmeye yarar. Çenelerden biri sabitlenir. Diğer çene sabit hızda hareket ettirilerek çekme kuvveti uygulanır. Bu kuvvete karşılık gelen uzama miktarı veri olarak kaydedilir. Aşağıda standart bir çekme deneyi için kuvvet-uzama grafiği gösterilmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Kuvvet-Uzama grafiği.

Düşük seviyelerdeki yüklemelerde kuvvet ve uzama miktarı doğru orantılı olarak değişkenlik gösterir. Bu aralıkta malzeme elastik davranış gösterir. Yani kuvvet faktörü ortadan kaldırılınca uzaman sıfırlanarak malzeme ilk halini alır. Bu elastik davranış grafik üzerindeki P noktasına kadar devam eder. Bu noktayı geçtikten sonra malzemenin elastiklik özelliği devam eder ancak uzama ve kuvvet arasındaki doğru orantı bozulur. Bu davranış ise elastiklik limiti olan E noktasında sona erer. E noktasından sonra malzeme plastik şekil değişimine uğrar. Plastik şekil değişiminden sonra kuvvet sıfırlansa bile deformasyon sıfıra inmez. Malzeme kalıcı olarak şekil değişimine uğramıştır.

Uygulanan yük artırıldığı takdirde malzeme Y noktasında akmaya başlar. Bu noktada kuvvet sabitken yüksek oranda plastik deformasyon meydana gelir. Akma gerilmesi altındaki malzeme çalışma sertleşmesine maruz kalarak daha mukavemetli bir hal alır ve daha fazla yüklemeye dayanabilecek hale gelir.

Uygulanan yükleme daha fazla artırıldığında U noktasındaki maksimum gerilme seviyesine ulaşır. Bu noktada malzemenin kesitinde daralma oluşmaya başlar. Bu olay malzemenin boyun vermesi olarak tanımlanır. Malzemenin boyun vermesi de çalışma sertleşmesine neden olur. Bu sayede daha fazla yüklemeye dayanabilecek hale gelir ancak boyun bölgesindeki kesit daralması sebebiyle taşınan net kuvvet azalmaya başlar. Daha sonra K noktasına doğru ilerleyen malzeme kopma noktasına ulaştıktan sonra kesit alanı iyice daralır ve kopar.

Kuvvet-uzama grafiğinde eğrinin altında kalan alan malzemenin tokluğunu ifade eder. Kuvvet-uzaman eğrisi ölçeklendirilerek üzerinden veriler alınır. Uzaman miktarı deney numunesinin başlangıç uzunluğuna bölünerek birim uzama elde edilir. Uygulanan kuvvet de başlangıç kesit alanına bölünerek gerilim elde edilmiş olur. Numune kopma aşamasına kadar çok miktarda deformasyona maruz kaldıysa sünek yapıya sahiptir. Az deformasyona uğrayıp hemen koptuysa gevrek yapıya sahiptir [10].

Birim alanda etki eden yük gerilme olarak ifade edilir ve hesaplanışı aşağıdaki gibidir;

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (5.1)$$

malzemeye uygulanan kuvvet sonucunda meydana gelen uzama miktarının, malzemenin ilk boyuna oranı birim şekil değiştirme olarak ifade edilir ve hesaplanması aşağıdaki gibidir;

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5.2)$$

Birim uzama ile malzemeye etki eden normal gerilme yani çekme ve basma gerilmeleri arasındaki doğrusal ilişkinin sonucu olan birim uzama başına gerilme miktarı elastisite modülü olarak ifade edilir. Elastisite modülünün hesaplanması aşağıdaki gibidir;

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.3)$$

Bir malzemeye kuvvet uygulandığında, oluşan şekil değişimleri malzemenin elastiklik sınırları içerisindeki gerilmelere bağlıdır. Bu durum Hooke Kanunu olarak adlandırılmaktadır. Elastiklik modülü malzemenin karakteristik özelliğidir.

Malzemenin maruz kaldığı çekme kuvvetinin stabil olduğu varsayıldığı durumda, plastik şekil değişiminin büyük oranda arttığı ve çekme grafiğinin değişkenlik gösterdiği bölgeye karşılık gelen gerilme değerine akma dayanımı denir ve aşağıdaki formülle hesaplanır;

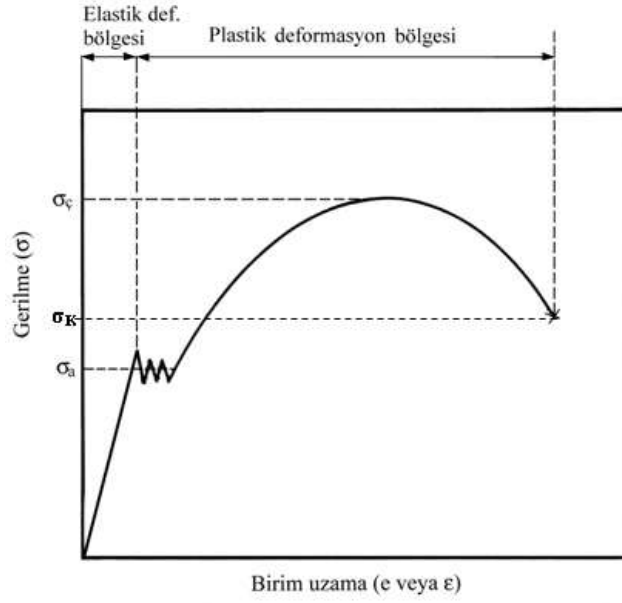
$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0} \quad (5.4)$$

malzemenin kırıldığı ya da koptuğu noktaya kadar dayanabildiği en yüksek çekme gerilmesine çekme dayanımı denir. Çekme dayanımı, çekme grafiğindeki en büyük gerilme değeridir ve hesaplanması aşağıdaki gibidir;

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad (5.5)$$

Deney malzemesinin koptuğu andaki gerilme değeri kopma gerilmesidir (Şekil 5.2).

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0} \quad (5.6)$$



Şekil 5.2: Karbon oranı düşük çeliklerin çekme grafiği.

Deney malzemesinin uzunluğunda oluşan en büyük yüzde plastik uzama miktarı, yüzde kopma uzaması olarak ifade edilir. Çekme deneyi sonucunda malzeme koptuktan sonra, koptuğu ana kadarki uzamasına ait uzunluk son boy olarak ölçülür. Malzemenin boyunda oluşan bu uzama

$$\Delta_L = L_K - L_0 \quad (5.7)$$

Formülüyle hesaplanır. Bu formülde L_0 malzemenin ilk boyu, L_K ise malzemenin koptuğu noktadaki uzunluğu ifade eder. Kopma uzaması

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (5.8)$$

formülü ile hesaplanır. Kopma uzaması numunelerin sünekliliği konusunda bilgi sahibi olmamıza yarar.

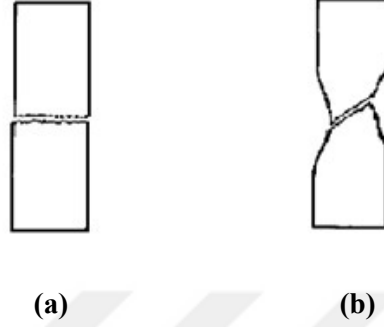
Deney malzemesinin kesit alanındaki oluşan en fazla yüzde daralma oranına yüzde kesit daralması denir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100 \quad (5.9)$$

Bu formülde A_0 malzemenin başlangıçtaki kesit alanı, A_K ise kopma noktasındaki kesit alanı ya da kopma yüzeyinin alanıdır. A_K 'nın bulunabilmesi için numune hacminin sabit kalacağı ifadesi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K} \quad (5.10)$$

Tıpkı kopma uzaması gibi, kesit daralması da malzemenin sünekliliğinin bir göstergesidir. Sünek deney numunelerinde belirgin şekilde boyun verme oluşurken, gevrek malzemelerde boyun verme gözlemlenmez. Gevrek ve sünek yapıdaki numunelerin kopma şekilleri Şekil 5.3.a ve 5.3.b’de verilmiştir.



Şekil 5.3.a: Sert malzemelerin kırılması. **b:**Yumuşak malzemelerin kırılması.

5.1.2 3 Nokta eğme deneyi literatür bilgisi

Eğme deneyinin yapılma amacı, deney numunelerinin dayanıklılığı ile ilgili bilgileri öğrenmek ve numunelerin sehime karşı mukavemetini belirlemektir. Enine eksenlerde yüklemeye maruz kalan kiriş modeli malzemeler, eğilme yüklemesi altında kalır. Kirişin her noktasında eğilme momenti oluşur. Bu eğilme momenti de eğilme gerilmesine maruz kaldığı anlamına gelir. Literatürdeki eğilmeye ait formüllerin kullanılabilmesi için numunelerin homojen yapıda olması gerekmektedir.

TSE standartlarının TS 205 maddesine göre eğme deneyi, iki noktadaki desteklerin üzerine sabitlemeden yerleştirilen ve çoğunlukla yuvarlak ve dikdörtgen kesitli olabilen deney numunelerinin, yönü sabit kalmak koşuluyla orta noktadan bir kuvvet uygulandığı anda meydana gelen şekil değişimi olarak ifade edilir.

Numuneler eğme deneyine tabi tutularak elastiklik modülü, eğilme momentleri, eğilmeye karşı mukavemeti ve maksimum sehim miktarları hesaplanır.

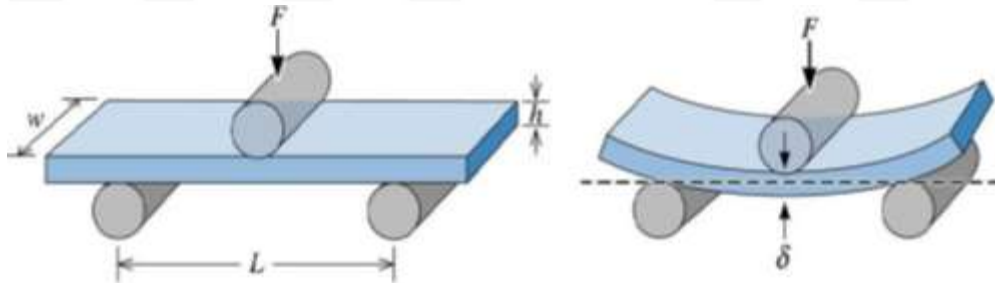
3 nokta eğme deneyi, eğilme gerilmesi altında çalışan bütün malzemelerin maruz kaldığı gerilmelerin büyüklüklerini belirlemek için kullanılır. Dökme demirler, mukavemeti yüksek olan çelikler ve kompozit malzemeler gibi gevrek yapıdaki malzemelere uygulanır.

Eğme olayı, iki noktada bulunan desteklere sabitlenmeden yerleştirilen, çoğunlukla yuvarlak veya dikdörtgen kesitli deney numunelerinin, eksenini kaydırmadan orta

noktasından bir kuvvet verildiği zaman meydana gelen şekil değişimidir. Eğme deneyi yapılırken, deney malzemesi bir yüklemeye maruz kaldığında, deney numunesinin bir bölgesinde basma gerilmesi, diğer bölgelerde de çekme gerilmesi oluşur.

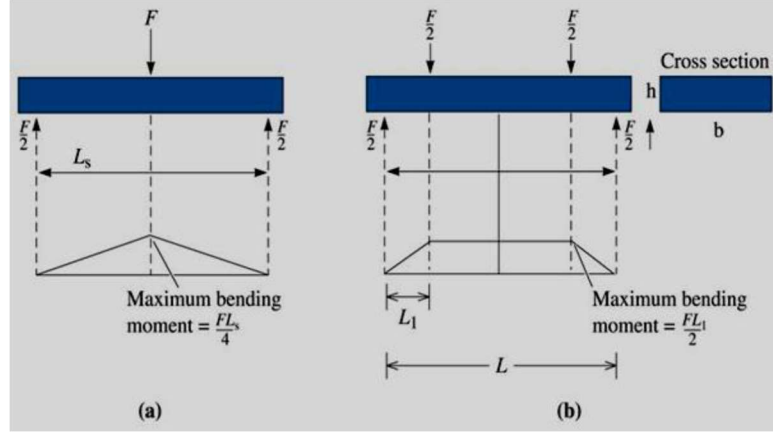
Eğme deneylerinin farklı uygulanma teknikleri mevcuttur. Bu teknikler arasında en fazla uygulama bulan deney 3 nokta eğme deneyidir. 3 nokta eğme deneyinde esas hedef, deney numunesi kırılmaya başlayana dek uygulanan kuvveti devam ettirmektir.

3 nokta eğme deneyinde seçilen deney numunesini basit kiriş modeli olacak şekilde almak esas prensiptir. Basit kiriş modelinde denklem ideal moment hali baz alınarak oluşturulduğundan, deney numunesinde meydana gelecek olan kayma gerilmesinin, normal gerilmeye nazaran ihmal edilecek şekilde olması amaçlanır. Bu nedenle deney numunesinin kesit alanının değişmemesi ve malzeme uzunluğunun en fazla olduğu değere oranlandığında minimum 16 kat fazla olması gerekmektedir. 3 nokta eğme deneyinin sınır koşulları basit kiriş modeli ile aynıdır. Deney malzemesi iki noktadaki desteklerin üzerine zemine paralel olacak şekilde yerleştirilir ve numunenin orta noktasından aşağı yönde kuvvet uygulanır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: 3 nokta eğme deneyi düzeneği.

3 nokta eğme deneyi esnasında, uygulanan kuvvet artırılırken, numunenin orta noktasında meydana gelen sehim miktarı belirlenir. Belirlenen bu değerlerin sonucunda, uygulanan kuvvet miktarına karşı gelen sehim miktarının grafiği oluşturulur [11]. Bu değerler belirlenirken, malzemenin en çok sehim oluşan ve en fazla momentin meydana geldiği orta nokta kullanılır. Mukavemetle ilgili bilgiler eşliğinde, 3 nokta ve 4 nokta eğme deneylerinde kullanılacak olan formüller Şekil 5.5'teki hesaplar kullanılarak oluşturulur.



Şekil 5.5: 3 noktalı ve 4 noktalı eğme deneyleri değişim grafiği.

Basit eğilme durumunda deney numunesinde meydana gelen maksimum gerilme aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\sigma = \frac{M_e \cdot c}{I} \quad (5.11)$$

Burada,

σ = Maksimum normal gerilme (N/mm²)

M_e = Eğilme Momenti (Nmm)

I = Dikdörtgen kesit için atalet momenti (mm⁴)

$c = h/2$ = Maksimum gerilme noktasının tarafsız eksene uzaklığı (mm)

3 nokta eğme deneyinde oluşan maksimum gerilme aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\sigma_{3\text{nokta}} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (5.12)$$

4 nokta eğme deneyinde oluşan maksimum gerilme aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\sigma_{4\text{nokta}} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (5.13)$$

Burada;

σ = Maksimum normal gerilme (N/mm²)

F = Kuvvet (N)

L = İki destek arası mesafe (mm)

b = Kiriş genişliği (mm)

h = Kiriş yüksekliği (mm)

Malzemede meydana gelen deformasyon miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\varepsilon = \frac{6fh}{L^2} \quad (5.14)$$

Burada;

f = Sehim (mm)

h = Kiriş yüksekliği (mm)

L = İki destek arası mesafe (mm) dir.

Malzemedeki eğilme momenti;

$$M_e = \frac{F.L}{4} \quad (5.15)$$

F = Kuvvet (N)

L = Mesnetlerin aralığı (mm)

Malzemenin orta noktasında meydana gelen sehim ise;

$$f = \frac{F.L^3}{48.E.I} \quad (5.16)$$

formülüyle hesaplanır.

L= Mesnetlerin aralığı (mm)

I = Kesit atalet momenti (mm⁴)

E = Elastik modülü (MPa)

Numune genişliği b ve numune kalınlığı h olmak üzere dikdörtgen kesit alanına sahip numuneler için düzlemsel atalet momenti aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (5.17)$$

Teğet modülü çoğunlukla elastiklik modülü şeklinde ifade edilir. Elastiklik modülü, elastik bölgedeki meydana gelen gerilmenin, karşılığindeki şekil değişimine orandır. Hesaplanışı aşağıdaki gibidir;

$$E_{eğ} = \frac{L^3m}{4bd^3} \quad (5.18)$$

Burada,

E_{eg} : Eğilme elastik modülü (N/mm²)

L = Destekler arası mesafe (m)

b = Kiriş kesitinin genişliği (m)

d = Test edilen kirişin kesitinin yüksekliği

m = Yük (F) – sehim (f) eğrisinin eğimi (N/m²)

5.1.3 Çivi çekme deneyi literatür bilgisi

Ahşap esaslı malzemelerin tekrar ayrılmamak üzere birleştirilebilmesi için çoğu zaman yapıştırıcı malzemeler tercih edilir. Bu nedenle çivi ve vidalar da vazgeçilmez bir bağlantı aracı olarak kullanılma özelliğini yitirmemektedir. Böylelikle mobilya üreticisi firmalar için çivi ve vidaların mukavemet değerleri de çok fazla hassasiyet göstermektedir. Değişik ölçülerde vida ve çivilerle birleştirme yöntemleri kullanılarak zemin döşemede kullanmak için yonga levha ve odunlardan ahşap kirişler imal edilmiştir.

Vida için yapılan deneylere ait örneklerin, lif eksenine dik olacak şekilde ve paralel olacak şekilde vida tutma direnimleri TS10506 maddesindeki esaslara göre 4000kp kapasitedeki deney düzeneğinde 15mm/dk hızda ayarlanarak vida numuneden çıkana dek kuvvet uygulanır [12]. Aynı şekilde bu deney çivi tutma direncini belirlemek için de aynı deney düzeneğinde TS10505 maddesindeki kurallara göre 1,5 mm/dk hızla, çivi numuneden çıkana dek kuvvet uygulanır [13].

Çivi ve vidanın numuneden ayrıldığı anda ölçülen kuvvet F ve numuneye girme mesafesi yüzey alanları A olmak üzere, bütün vida ve çivi türleri için tutma dirençleri;

$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{F_{\text{max}}}{A} = \frac{F_{\text{max}}}{h(2\pi r)} \text{ N/mm}^2 \quad (5.19)$$

formülünden hesaplanır. Bu formülde;

$\sigma_{\text{ç}}$ = Çekme gerilmesi (N/mm²)

h = Girme derinliği (mm)

$h(2\pi r)$ = Silindir Alanı (mm²)

Hazırlanmış olan deney numuneleri kendi aralarında çoklu varyans analizleri yapılarak birleşme yüzeylerinde vida ve çivi tutma dirençleri arasındaki farklılıklar belirlenir. Bu farklılıkların değerlendirilebilmesi için Duncan testi uygulaması yapılır. Çıkan ortalamaların karşılaştırılması yapılırken, gruplar kendi içinde ve birbirleriyle LSD (en küçük önemli fark) testi kullanılmıştır.

5.1.4 Su emdirme deneyi literatür bilgisi

Su emdirme deneylerinde kullanılan deney numunelerinin ağırlıkları minimum 150 gramdır ve en az 3 adet numune kullanılır. Deney numuneleri küp, silindir ya da prizmatik geometriye sahiptirler.

Deney numuneleri 24 saat boyunca 105 °C'ye kadar ısıtılan bir kabinde yeteri kadar kurutulur. Kurutma işleminden sonra kabinden çıkarılarak dış ortamda 30 dakika kadar süreyle tutulan numunelerin tartım işlemi hemen yapılmayacaksa desikatör içerisine alınarak bekletilebilir. Tartma işlemi 0.1 gram duyarlılıkta cihazlar yardımıyla yapılır.

Kurutma kabinde kurutulan deney numuneleri, içerisinde saf su bulunan bir kaba, numune yüksekliğinin yaklaşık olarak dörtte biri oranında yükseklikteki suyun içine alınır. Ardından su ilavesi yapılarak su seviyesi deney numunesinin yarısına kadar 1 saat içerisinde ulaştırılır. Sonraki 1 saatte de su seviyesi, deney numunesinin dörtte üçüne ulaştırılır. 2 saatin sonunda da tekrar su ilavesi yapılarak deney numunelerinin hepsinin suyun altında kalmaları sağlanır. Numuneler su içerisine alınmaya başlandıktan 24 saat sonra su içerisinden alınır. Sudan alınan deney numunelerinin üzerinde kalan su damlacıkları, sünger ya da bez yardımıyla kurutularak hızla tartım işlemine başlanır. Tartılan numuneler ardından yine suyun içerisine alınır.

Bu şekilde tartım işlemi aynı prosedürle tekrar yapılır. Su içerisinde kalan deney numunelerine su emdirme işlemine bu şekilde devam edilir. 24 saat aralıklarla gerçekleştirilen tartım işlemlerinde ağırlığın artış oranı önceki ile neredeyse aynıysa numuneler artık su ememeyecek hale gelir ve böylece son ağırlıklar belirlenmiş olur.

5.2 Plakaların Hazırlanması

Geri dönüşüm yoluyla elde edilen kompozit kağıt malzemeler, öğütücü bir makine yardımıyla küçük parçalar haline getirilmiştir. Daha sonra farklı yüzdelerde yüksek yoğunluklu polietilen ile karıştırılarak, presleme vasıtasıyla gruplar halinde plakalar elde edilmiştir.

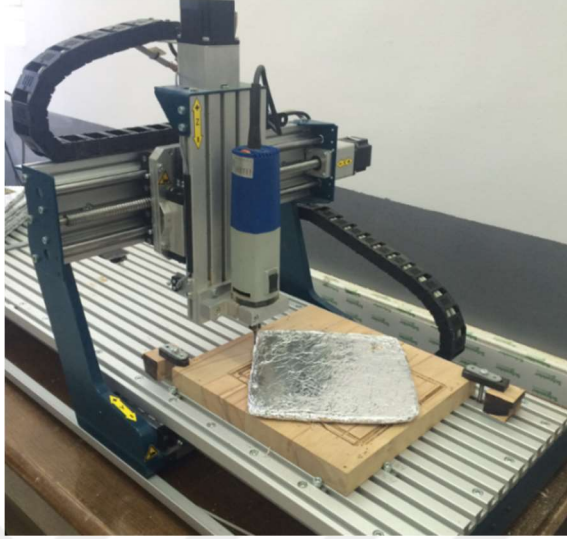
Deneyleerde kullanılan numuneler 4 grupta plakadan çıkarılmıştır. Hazırlanan plakaların boyutları, çekme deneyi numuneleri için 50x188x7 mm, 3 nokta eğme deneyi numuneleri için 76x200x7 mm, çivi çekme deneyi numuneleri için 76x152x7 mm ve su emdirme deneyi numuneleri için de 152x152x7 mm'dir. Deney numunelerinin ağırlıkları 250 gr olacak şekilde ayarlanmıştır. Birinci grup levhalar katkısız kağıt kompozit malzemeden üretilmiştir. Kağıt kompozit malzeme içerisinde %20 oranında polietilen malzeme bulunmaktadır. Dolayısıyla ilk gruptaki malzemede karışım oranını %20'dir. İkinci grup levha ise %30 oranında yüksek yoğunluklu polietilen malzeme karıştırılarak elde edilmiştir. Yüzdelikler ağırlıkça oranları ifade etmektedir, yani 31,25gr polietilene karşılık 218,75 gr kağıt kompozit malzeme karıştırılarak üretilmiştir. Üçüncü grup levha %40 oranında yüksek yoğunluklu polietilen karıştırmak suretiyle üretilmiştir. Ağırlıkça yüzde üzerinden, 187,5 gr kağıt kompozit malzemeye karşılık 62,5 gr yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmıştır. Dördüncü ve son grupta ise %50 oranında yüksek yoğunluklu polietilen karışım yapılmıştır. Ağırlıkça 156,25 gr kağıt kompozit malzemeye karşılık 93,75 gr yüksek yoğunluklu polietilen eklenmiştir.

Her bir gruptaki levha karışımları önce soğuk preste sıkıştırılmıştır. Daha sonra sıcak presleme işlemi ile karışım içerisindeki polietilen malzemenin eriyerek kompozit kağıt malzeme ile birleşmesi sağlanarak yeni kompozit malzeme üretilmiştir. Sıcak presleme esnasında plakaların gruplarını sınıflandırmak üzere grup numaraları yazılarak presin arasına dizilmiştir. İlk etapta sıcak presleme tezgahı PE malzemenin erime sıcaklığına ulaşana kadar ısıtılmıştır, daha sonra presin arasına plakalar yerleştirilmiştir. Isınan prese yerleştirilen plakalar 1 saat süreyle 150 derece sıcaklıkta bekletilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Plakaların hazırlanması.

Sıcak preslemeyle elde edilen levhalardan ASTM 1037 standartlarına göre, çekme, 3 nokta eğme, çivi çekme ve su emme deney numuneleri CNC tezgah kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 5.7) [14].



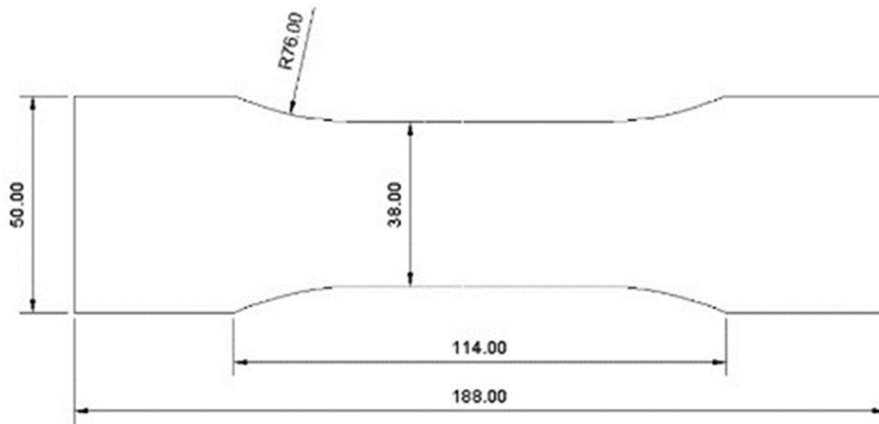
Şekil 5.7: Plakaların CNC tezgahta işlenmesi.

5.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan numuneler ve bu numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri ASTM 1037 standartlarında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Numune kalınlıkları ortalama olarak 7 mm ölçülmüştür.

5.3.1 Çekme deney numuneleri

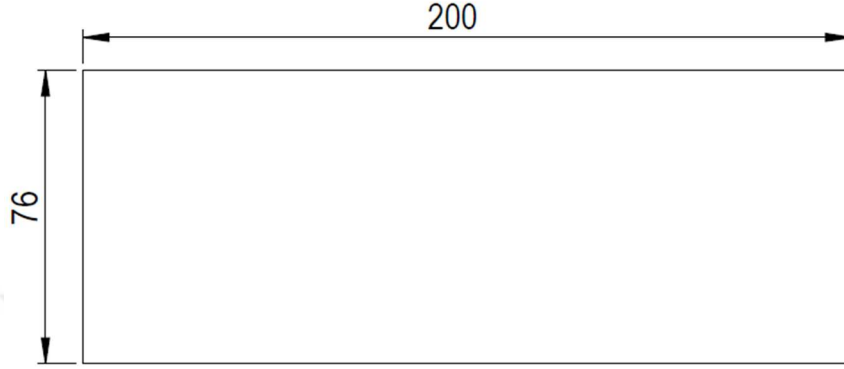
Kompozit malzemenin çekme gerilmesi altında mekanik özelliklerini belirlemek üzere yapılan çekme deneyinde kullanılacak olan deney numuneleri 50x188x7 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Çekme deney numuneleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Çekme deneyi numunesi ebatları.

5.3.2 3 Nokta eğme deneyi numuneleri

Kompozit malzemenin eğme yüklemesi altında mekanik özelliklerini belirlemek üzere yapılan 3 nokta eğme deneyinde kullanılacak olan deney numuneleri 76x200x7 mm ebatlarında hazırlanmıştır. 3 nokta eğme deneyi numuneleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9: 3 nokta eğme deneyi numunesi ebatları.

5.3.3 Çivi çekme deneyi numuneleri

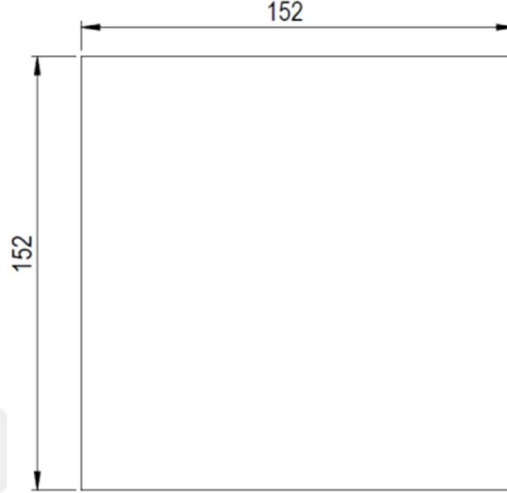
Üretilmiş olan kompozit malzemenin içerisine batırılan cismi tutma kabiliyetini belirlemek üzere yapılan çivi çekme deneylerinde kullanılacak olan deney numuneleri 76x152x7 mm ebatlarında hazırlanmıştır, bu numunelere ait ölçüler Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10: Çivi çekme deneyi numunesi ebatları.

5.3.4 Su emdirme deneyi numuneleri

Kompozit malzemenin su içerisinde özelliklerinin etkilenme karakteristiğini belirlemek üzere yapılan su emdirme deneylerinde kullanılacak olan deney numuneleri ise 152x152x7 mm olarak hazırlanmıştır, bu numunelerin boyutları Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Su emdirme deneyi numunesi ebatları.

5.4 Çekme Deneyleri

5.4.1 Çekme deneyi prosedürü

Çekme deneyinde kullanmak üzere ASTM 1037 standardına uygun şekilde deney numuneleri hazırlanmıştır. Numune kalınlıkları 7 mm’dir. Levhalardan CNC tezgahlarda işlenerek oluşturulmuş olan numuneler Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12: CNC tezgahta işlenerek oluşturulan çekme numuneleri.

Laboratuvarlarda çekme deneyi için kullanılan deney cihazının çeneleri bu ölçülere uygun olmadığından, çekme deneylerini gerçekleştirmek üzere iki adet aparat hazırlanmıştır (Şekil 5.13). Hazırlanan bu aparatlar, deney numunelerinin genişliğine uygun olarak tasarlanmıştır.

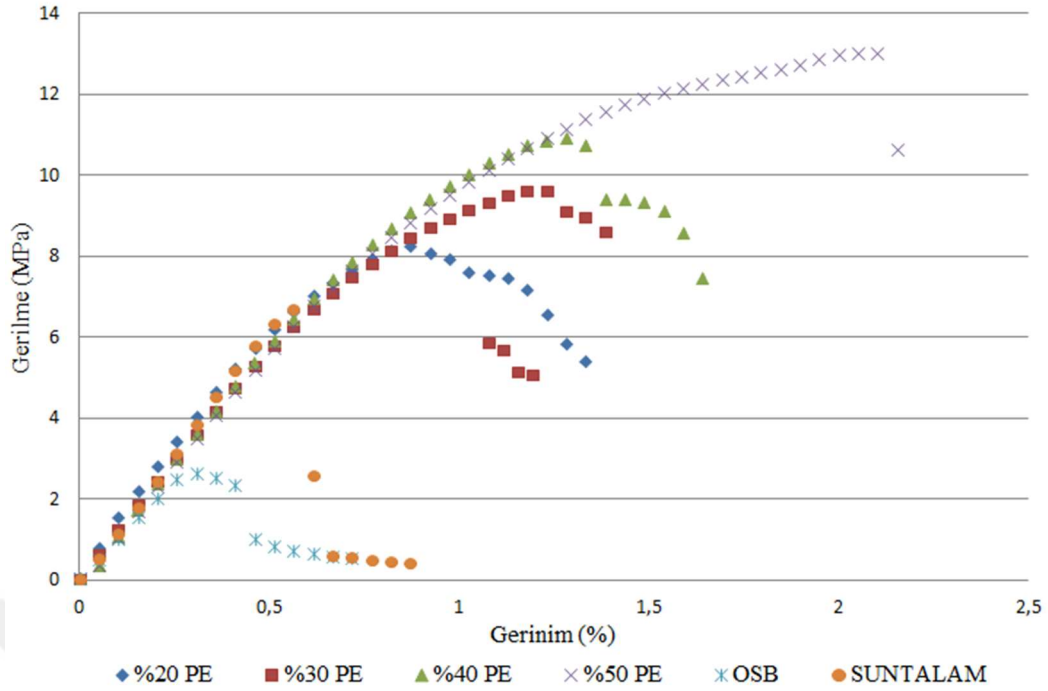


Şekil 5.13: Çekme cihazı ve çene aparatları.

4 farklı gruptaki numunelerin tamamı sırayla çekme deneyine tabi tutulmuştur. Sıra numaralarına göre çekme deneyi sonuçları kayıt altına alınmıştır.

5.4.2 Çekme deneyi sonuçları

Çekme deneyleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler, gruplar halinde düzenlenmiştir. Bütün gruplarda bulunan 5'er adet numune için gerilme ve gerinim değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Elde edilen bu değerler ile tablolar oluşturulmuştur. Tablo üzerindeki veriler ile oluşturulan, karışımlardaki yüksek yoğunluklu polietilen oranına göre gözlem yapabileceğimiz gerilme-gerinim grafiği Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14: Çekme deneylerine ait gerilme-gerinim grafiği.

Elde edilen bu grafiği inceleyecek olursak, karışımlardaki polietilen miktarı arttıkça gerilme değerlerinin arttığını gözlemleyebiliriz. Aynı zamanda malzemelerin tokluğu ve mukavemet değerleri de polietilen oranındaki artışla birlikte yükselmiştir.

Polietilen karışımı kağıt kompozitler ile OSB ve suntalamı karşılaştırdığımızda ise kompozit malzemelerin mukavemet değerlerinin belirgin şekilde yüksek olduğunu söyleyebiliriz.

Deney numunelerine ait mukavemet değerlerini daha rahat bir şekilde karşılaştırmak için çekme deneyi mukavemet değerleri tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1: Çekme deneyi mukavemet değerleri tablosu.

	Max Gerilme (MPa)	Max Gerinme (%)	Elastiklik Modülü (MPa)
%20 PE	8,19	0,87	1353,63
%30 PE	9,58	1,22	1182,26
%40 PE	10,86	1,28	1137,93
%50 PE	12,98	2,05	1126,14
OSB	2,58	0,30	973,85
SUNTALAM	6,67	0,56	385,58

Yüksek yoğunluklu polietilen karışımı kağıt kompozit malzemelerin maksimum gerilme, maksimum gerinim ve elastiklik modülü değerleri OSB ve suntalamdan yüksek çıkmıştır. En az polietilen karışımına sahip %20 oranındaki birinci numunede bile maksimum gerilme değeri OSB'den yaklaşık olarak dört kat fazladır. Kağıt kompozit malzemeleri kendi arasında inceleyecek olursak, polietilen miktarına bağlı olarak gerilme ve gerinim değerleri de artış göstermiştir. Ancak elastiklik modülü polietilen miktarındaki artışla birlikte azalma göstermiştir.

5.5 3 Nokta Eğme Deneyleri

5.5.1 3 Nokta eğme deneyi prosedürü

3 nokta eğme deneyi için standartlara uygun şekilde deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kalınlıkları 7mm'dir. CNC tezgahıta işlenerek üretilmiş olan 3 nokta eğme deneyi numuneleri Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.15: 3 nokta eğme deneyi numuneleri.

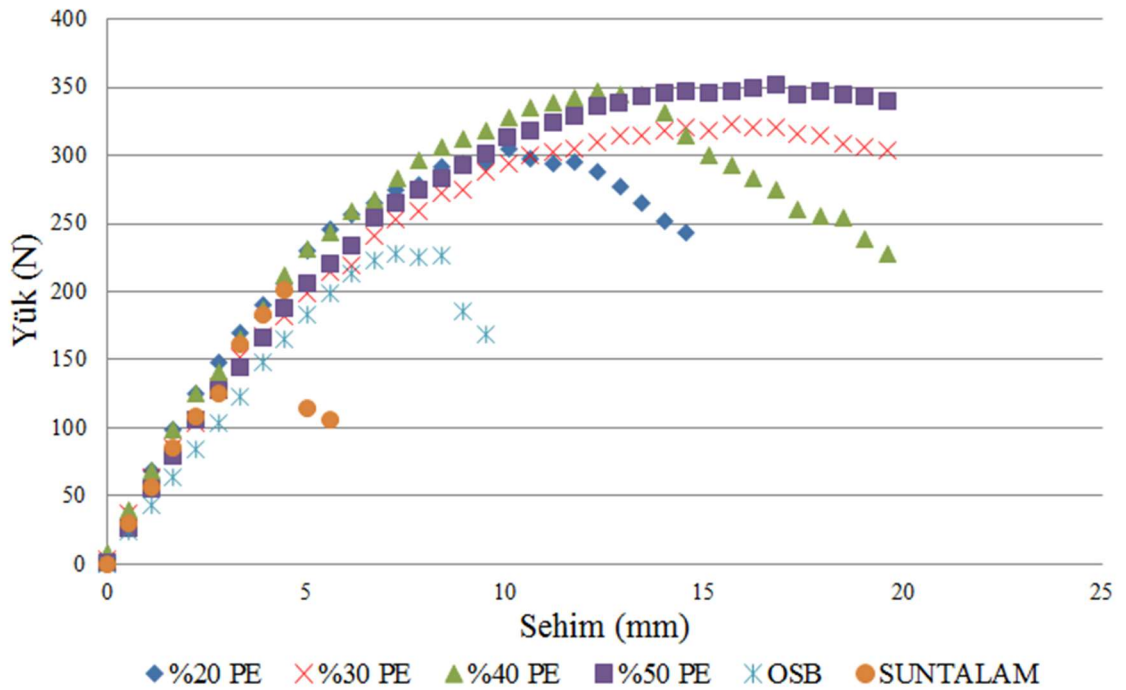
4 farklı gruptaki numunelerin tamamı sırayla 3 nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Sıra numaralarına göre çekme deneyi sonuçları kayıt altına alınmıştır. Çekme cihazında 3 nokta eğme deneyine ait görüntü Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16: 3 nokta eğme deneyinin çekme cihazında yapılışı.

5.5.2 3 Nokta eğme deneyi sonuçları

Eğme deneyleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler, gruplar halinde düzenlenmiştir. Bütün gruplarda bulunan 4'er adet numune için yük ve sehim değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Elde edilen bu değerler ile tablolar oluşturulmuştur. Tablo üzerindeki veriler ile oluşturulan, karışımdaki yüksek yoğunluklu polietilen oranına göre gözlem yapabileceğimiz yük-sehim grafiği Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17: 3 nokta eğme deneylerine ait yük-sehim grafiği.

Elde edilen bu grafiği inceleyecek olursak, karışımlardaki polietilen miktarı arttıkça malzemelerin dayanabildiği maksimum yük miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde polietilen oranındaki artışla doğru orantılı olarak malzemelerin tokluk değerleri de artmaktadır.

Polietilen karışımı kağıt kompozit malzemeler ile OSB ve suntalamı karşılaştırdığımızda ise kompozit malzemelerin mukavemet değerlerinin belirgin şekilde yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Deney numunelerine ait mukavemet değerlerini daha rahat bir şekilde karşılaştırmak için eğme deneyi mukavemet değerleri tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2: 3 nokta eğme deneyi mukavemet değerleri tablosu.

	Max Gerilme (MPa)	Max Yükteki Sehim (mm)	Elastiklik Modülü (MPa)
%20 PE	20,67	10,07	2690,39
%30 PE	21,88	15,68	2529,21
%40 PE	23,47	12,32	2804,37
%50 PE	23,84	16,79	2171,35
OSB	15,43	7,27	1768,85
SUNTALAM	13,63	4,48	2326,06

Yüksek yoğunluklu polietilen karışımli kağıt kompozit malzemelerin maksimum gerilme, maksimum yükteki sehim ve elastiklik modülü değerleri OSB ve suntalamdan yüksek çıkmıştır. En düşük polietilen karışımına sahip %20 oranındaki numunelerde dahi maksimum yükteki sehim değerleri suntalama göre yaklaşık olarak 2 kat fazla, suntalama göre de 1.5 kat fazladır. Aynı şekilde maksimum gerilme değerleri de suntalama göre yaklaşık olarak 2 kat fazla çıkmıştır.

Kağıt kompozit malzemeleri kendi aralarında inceleyecek olursak polietilen miktarındaki artışa bağlı olarak maksimum gerilme değerlerinin de arttığını gözlemleyebiliriz. Ancak maksimum yükteki sehim ve elastiklik modülü değerleri değişkenlik göstermektedir.

5.6 Çivi Çekme Deneyleri

5.6.1 Çivi çekme deneyi prosedürü

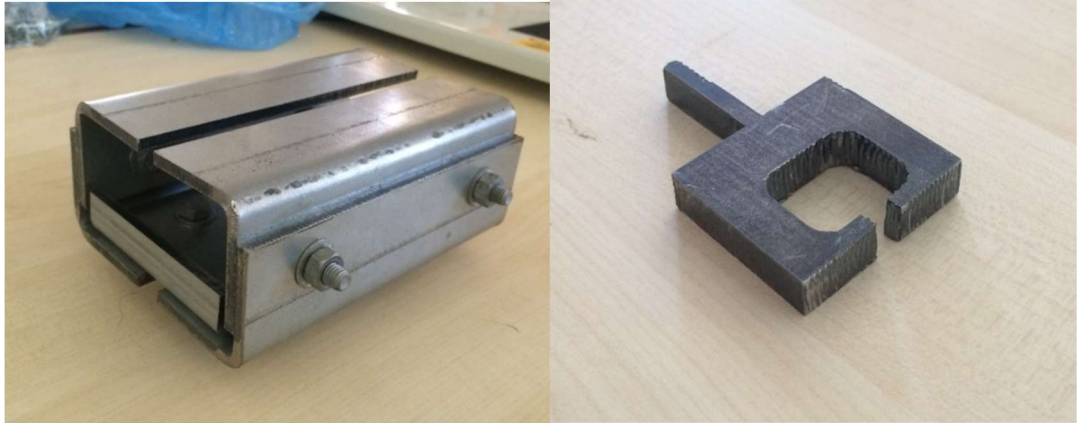
Çivi çekme deneyi için standartlara uygun şekilde deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kalınlıkları 7 mm'dir. CNC tezgahta işlenerek hazırlanmış olan numuneler Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18: Çivi çekme deneyi numuneleri.

Şekildeki gibi 4 farklı grupta bütün deney numuneleri hazırlandıktan sonra tam ortalarından çivi çakılmıştır. Çiviler çakılırken numunelerin arka yüzeyinden bir miktar çıkmasına dikkat edilmiştir.

Standart çekme deneyi cihazında çivi çekme deneyi için uygun aparatlar bulunmadığından alt ve üst çeneler için ayrı ayrı aparatlar tasarlanıp imalatı gerçekleştirilmiştir. Çivi çekme aparatları Şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19: Çivi çekme deneyi aparatları.

Şekilde gösterilen aparatlar alt ve üst çenelere bağlandıktan sonra bütün deney numuneleri sırasıyla çivi çekme deneyine tabi tutulmuştur. Çivi çekme aparatlarının çekme cihazında kullanımı Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20: Çivi çekme aparatlarının çekme cihazında kullanımı.

Numunelerin üzerinde yazılı olan numaralandırmalara göre deney sonuçları kayıt altına alınmıştır.

5.6.2 Çivi çekme deneyi sonuçları

Çivi çekme deneyleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler, gruplar halinde düzenlenmiştir. Bütün gruplarda bulunan 4'er adet numune için yük ve uzama değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Elde edilen bu değerler ile tablolar oluşturulmuştur. Tablo üzerindeki veriler ile, karışımdaki yüksek yoğunluklu polietilen oranına göre gözlem yapabileceğimiz çivi çekme deneyi mukavemet değerleri tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3: Çivi çekme deneyi mukavemet değerleri tablosu.

	Max Çivi Çekme Mukavemeti (N/cm)
%20 PE	116,05
%30 PE	140,08
%40 PE	145,08
%50 PE	164,61
OSB	50,21
SUNTALAM	33,47

Elde edilen bu tabloyu inceleyecek olursak yüksek yoğunluklu polietilen karışımı kağıt kompozit malzemelerin içerisindeki polietilen miktarı arttıkça maksimum çivi çekme mukavemetlerinin de arttığını gözlemleyebiliriz. En az polietilen karışımı %20 oranındaki numunelerde dahi maksimum çivi çekme mukavemeti OSB'ye göre yaklaşık olarak 2 kat fazla, suntalama göre ise 4 kat fazla çıkmıştır.

OSB ve suntalam ile kağıt kompozit malzemelerin maksimum çivi çekme mukavemetlerinin belirgin şekilde yüksek değerlere sahip olduğunu söyleyebiliriz.

5.7 Su Emdirme Deneyleri

5.7.1 Su emdirme deneyi prosedürü

Su emdirme deneyi için standartlara uygun şekilde deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kalınlıkları 7 mm olduğu için ebatları da 152x152mm olarak ayarlanmıştır.

Su emdirme deneyine başlamadan önce 4 farklı gruptaki numunelerin tamamı için başlangıçtaki kalınlık ve ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ardından numunelerin tamamı 2 saat süreyle bekletilmek üzere içerisinde saf su bulunan kaplara alınmıştır (Şekil 5.21).



Şekil 5.21: Numunelerin saf suda bekletilmesi.

2 saat sürenin ardından deney numunelerindeki değişimi gözlemlemek üzere numunelerin hepsinin kalınlık ve ağırlık değerleri ölçülmüştür (Şekil 5.22).



Şekil 5.22: Numunelerin ağırlık ölçümü.

Ardından bütün deney numuneleri 24 saat süreyle bekletilmek üzere tekrar içerisinde saf su bulunan kaplara alınmıştır. Yine 24 saatin sonunda deney numunelerinin tamamının kalınlık ve ağırlık değerleri tekrar ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

5.7.2 Su emdirme deneyi sonuçları

Su emdirme deneyleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler düzenlenerek aşağıdaki su emdirme değerleri çizelgesi oluşturulmuştur (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4: Su emdirme deneyi değerleri.

Numune	Artış (%)			
	2 Saat Sonra		24 Saat Sonra	
	Ağırlık	Kalınlık	Ağırlık	Kalınlık
1-1	2,68	1,54	8,38	6,04
1-2	2,24	0,47	7,24	2,62
2-2	1,69	1,17	4,2	3,27
2-8	2,35	0,80	6,04	4,04
3-3	2,13	0,83	5,52	4,16
3-9	2,26	0,83	5,77	3,2
4-2	2,24	2,11	5,73	3,64
4-8	1,74	0,96	4,49	3,15
OSB	20,12	4,64	56,57	14,89
Suntalam	20,19	6,59	58,91	20,04

Tabloyu inceleyecek olursak, kağıt kompozit malzemelerdeki yüksek yoğunluklu polietilen miktarı arttıkça genel olarak ağırlıklardaki artış miktarlarının azalma gösterdiğini söyleyebiliriz. Dolayısıyla polietilen oranı arttıkça malzemelerin su emme miktarları azalmaktadır. Kağıt kompozit malzemelerin kalınlıklarındaki artış miktarını inceleyecek olursak polietilen miktarındaki artışla birlikte kalınlık değerlerindeki artışın azaldığını söyleyebiliriz. Yani polietilen miktarı arttıkça su emmeden dolayı oluşan kabarma oranı azalmaktadır.

OSB ve suntalamın ağırlıklarında çok kısa sürede büyük artışlar meydana gelmiştir. Polietilen karışumlu kağıt kompozitlere oranla yaklaşık olarak 10 kat fazla su emme değerlerine sahiptirler. Bu nedenle OSB ve suntalamdan elde edilen son ürünler kullanma aşamasında su ile temas haline geçtiği takdirde yüzeylerinden itibaren kabarmalar meydana gelecek ve kullanılamayacak hale gelecektir. Polietilen karışumlu kağıt kompozit malzemelerde ise 24 saat su içerisinde kalmasına rağmen kalınlıklardaki artış %5 seviyelerinde kalmıştır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kağıt kompozit malzemelerden imal edilen içecek ambalajlarının kullanımı bir sefere mahsustur ve içerisindeki ürünleri ısıdan, ışıktan ve nemden korurlar. İçecek ambalajlarının içerisindeki gıda bittikten sonra bu malzemeler atık malzeme olarak değerlendirilirler. Atık malzemelerin, yasal prosedürler dolayısıyla tüm dünyada belli miktarlarda geri dönüştürülmesi gerçekleştirilmelidir.

Atık haldeki kağıt kompozit içecek ambalajlarının geri dönüştürülmesi yonga levha metoduyla ilk olarak 1994 senesinde gerçekleştirilmiştir. Bu metotta atık kompozit kartonlar küçük parçalara doğranarak bileşenlerine ayrılırlar ve sonra da yüksek sıcaklıkta ve basınçta yapıştırıcı madde eklenmeden presleme işlemi yapılır. Bu işlemlerin sonucunda yonga levha olarak nitelendirilen plakalar oluşturulmuş olur. Bu plakalar inşaat sektöründe ve paketleme sektöründe kullanılmaya uygun olduğu halde imalatçı firmalar tarafından bu yöntem kullanılmamaktadır. Bu sebeple yonga levhalar çok büyük bir pazar sorunuyla karşı karşıyadır.

Yonga levhalar çimento ile birleştirilerek inşaat sektöründe de kullanılmaktadır. Çimentolu yonga levha adı verilen bu teknolojiye, çimento yapıştırıcı madde görevi görmektedir. Çimentoyla bağlanmış yongaların dayanıklı oluşunun nedeni, odunu tahrip eden bütün etkenlerin çimento ile etkisiz hale getirilmesidir. Çimento içerisindeki silikat tek başına ince yongaları her türlü çürüme etkisinden koruyabilir.

7. SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda geri dönüşüm yoluyla elde edilen kağıt kompozit malzemelerin mukavemet değerleri OSB ve suntalamdan yüksek çıkmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen ile karıştırıldığı takdirde ise bu değerler daha da yükselmektedir. Bu sebeple geri dönüşüm yoluyla elde edilen kağıt kompozit malzemelerden oluşturulan levhalardan masa, sandalye ve dolap gibi mobilyalar üretilebilir veya inşaat sanayinde yardımcı malzeme olarak kullanılabilir.

Yonga ve plastik karışımı kompozitlerin üretimi konusunda araştırmalar yapılarak yonga levhanın kullanım alanlarına yeni boyutlar katılmalıdır. Böylece atık madde olarak çevre kirliliğine neden olan plastik şişe gibi atıkların değerlendirilmesi ile çevre kirliliğinin önlenmesi için bir adım daha atılmış olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Uzun, S. E., Enç, V. ve Hoşoğlu, F., 2013. Atık Kompozit İçecek Kartonları Geri Dönüşüm Yöntemleri. Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi, 1,4, 345-359.
- [2] Ayırmis, N., Candan, Z. ve Hiziroğlu, S., 2008. Physical and Mechanical Properties of Cardboard Panels Made From Used Beverage Carton With Veneer Overlay, Materials and Design, 29.10, 1897-1903.
- [3] Hagggar, S., 2010. Sustainability of Municipal Solid Waste Management, Sustainable Industrial Design and Waste Management. Chapter 5, USA.
- [4] Drozdov, A.D. ve Düşünceli, N., Universal Mechanical Response of Polypropylene under Cyclic Deformation, Journal of Polymer Engineering, 32: 31-41, 2012.
- [5] Kurkela, E., 2009. Fluidized-Bed Gasification of Biomass for Syngas - BTL in forest industry, Bioenergy NoE Final seminar, Brussels.
- [6] Drozdov, A.D. ve Düşünceli, N., Inverse relaxation in polypropylene, Iranian Polymer Journal, 21:701-711, 2012.
- [7] Çolak Ö.U. ve Düşünceli N., Modeling Viscoelastic and Viscoplastic Behavior of High Density Polyethylene (HDPE), Journal of Engineering Materials and Technology Transactions of the ASME, 128:572-578, 2006.
- [8] Düşünceli, N. ve Çolak, Ö. U., High Density Polyethylene (HDPE): Experiments and Modeling, Mechanics of Time Dependent Materials, 10: 331-345, 2006.
- [9] Düşünceli, N., The unusual Creep and Relaxation Behaviour of Polypropylene, Journal of Polymer Engineering, 32: 167-176, 2012.
- [10] Kayalı, E. S., Ensar, C. ve Dikeç, F., 1990. Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [11] Drozdov, A.D. ve Düşünceli, N., Cyclic Deformations of Polypropylene with a Strain-Controlled Program, Polymer Engineering and Science, 52:2316-2326, 2012.
- [12] TS 10506, 1992. Odun Lifi ve Yonga Levhaları-Vida Tutma Mukavemetinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] TS 10505, 1992. Odun Lifi ve Yonga Levhaların Çivi Tutma Mukavemetinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [14] ASTM-D 1037, 1988. American Society for Testing and Materials. Standart Methods of Evaluating the Wood-base Fiber and Particle Panel materials. Philadelphia, Pa, USA.

URL-1 <www.ecoallene.com>, alındığı tarih: 22.12.2015.

URL-2 <www.niederauer-muehle.de>, alındığı tarih: 28.12.2015.

URL-3 <http://www.tetrapak.com/environment/recycling_and_recovery/aluminium_and_polyethylene/pages/default.aspx>, alındığı tarih: 10.01.2016.

URL-4 <www.beveragecarton.eu>, alındığı tarih: 15.01.2016.

URL-5<<http://www.waste2energyworld.com/pyrolysis.htm>>, alındığı tarih: 18.01.2016.

URL-6 <http://www.letsrecycle.com/do/ecco.py/view_item?listid=38&listcatid=221&listitemid=2064§ion=>>, alındığı tarih: 24.01.2016.

URL-7 <<http://aluminyum.nedir.com/#ixzz3veGHt3kl>>, alındığı tarih: 06.02.2016.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Seçkin SÜRME

Doğum Tarihi ve Yeri : 14.07.1989

E-posta adresi : scknsurme@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, 2012

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, 2013-Halen

Doktora :

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

Altuntaş Grup; İmalat (2012-2013)

Proje Tasarım ve Satış Departmanı (2013-2014)

İmalat, AR-GE Departmanı (2014-Halen)