



**FRESNEL LENS KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİSİ İLE POLİETİLEN
KAYNAĞI**

Sema UÇAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sema UÇAK

05/07/2023

FRESNEL LENS KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİSİ İLE POLİETİLEN KAYNAĞI
(Yüksek Lisans Tezi)

Sema UÇAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2023

ÖZET

Günümüzde artan nüfus ve hızla tüketimin sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Doğada bol miktarda bulunan güneş ışınlarından faydalanabilmek için birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışma kapsamında optik lenslere kıyasla daha ucuz ve hafif olan fresnel lensler kullanılarak güneş ışınlarının odaklanması sağlanmıştır. Oluşan güneş enerjisi ile kaynak yapabilmek için fresnel lensleri kullanma fikri ise daha önce başka bir akademik çalışmada yer almamıştır. Fresnel lensler sayesinde odak noktasındaki yüksek sıcaklıklar sayesinde polietilen malzemelerin kaynağı yapılmıştır. Kaynak işlemleri sırasında odak noktasındaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Ardından kaynak işleminin özelliklerini belirlemek amacıyla ana malzeme ve kaynaklı parçalardan numuneler alınarak sertlik testi, çekme testi, üç nokta eğme testi, charpy eğme dayanımı testi gibi mekanik testler, vicat yumuşama sıcaklık testi ve DTA gibi termal testler ve makro incelemeler yapılmıştır. Yapılan inceleme ve deneyler sonucunda sertlik deneylerinde ana malzemeye göre ortalama 4 Shore D'lik bir artış olmuştur. Çekme dayanımları sonuçlarında da ana malzemeye göre %39'luk azalma elde edilmiştir. Diğer mekanik testler incelendiğinde de elde edilen mekanik değerlerin ana malzemeye yakın olduğu, literatürde yer alan farklı birleştirme yöntemlerinde elde edilen değerlere göre ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91511
Anahtar Kelimeler : Fresnel lens, polietilen, güneş enerjisi ile kaynak, termoplastik kaynak
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI

POLYETHYLENE WELDING WITH SOLAR ENERGY USING FRESNEL LENS

(M. Sc. Thesis)

Sema UÇAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2023

ABSTRACT

Today, as a result of increasing population and rapid consumption, the importance of renewable energy sources is increasing day by day. There are many studies to take advantage of the sun's rays, which are abundant in nature. Within the scope of this study, the sun rays were focused by using fresnel lenses, which are cheaper and lighter than optical lenses. The idea of using fresnel lenses to weld with the generated solar energy has not been included in any other academic study before. Thanks to the high temperatures at the focal point thanks to Fresnel lenses, polyethylene materials were welded. The temperatures at the focal point were measured during the welding processes. Then, mechanical tests such as hardness test, tensile test, three-point bending test, charpy bending strength test, thermal tests such as vicat softening temperature test and DTA and macro examinations were carried out by taking samples from the main material and welded parts in order to determine the characteristics of the welding process. As a result of the examinations and experiments, there was only an average of 4 Shore D increase compared to the base material in the hardness tests. In the tensile strength results, 39% reduction was obtained compared to the base material. When other mechanical tests were examined, it was determined that the mechanical values obtained were close to the base material and higher than the values obtained in different joining methods in the literature.

Science Code : 91511

Key Words : Fresnel lens, polyethylene, solar welding, thermoplastic welding

Page Number : 67

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Uğur ARABACI

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca bana sağladığı yönlendirme, destek ve motivasyon için saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI' ya teşekkür ediyorum. Sizlerin önerileri, eleştirileri ve deneyimleri sayesinde tez çalışmamı başarıyla tamamlayabildim.

Ayrıca, araştırma sürecimde bana fikirlerini, eleştirilerini ve desteğini esirgemeyen tüm öğretim üyelerine, çalışmam için gerekli testleri uygulayabilmem için imkânlarını sunan Gazi Üniversitesine teşekkür etmek istiyorum. Benim için değerli olan her türlü öneri ve eleştiri, bu çalışmanın kalitesini artırmama yardımcı oldu.

Tez çalışmamda yardımcı olduğunu belirtmek istediğim diğer kişiler arasında, çalışmamda kullanılan literatürde, kaynak taramalarında ve veri analizlerinde bana yardımcı olan araştırma görevlileri, öğrenci arkadaşlarım ve ailem de bulunmaktadır. Sizlerin desteği ve ilgisi sayesinde tezimi başarıyla tamamlama fırsatı buldum.

Son olarak, bana bu çalışmada yardımcı olan, destekleyen herkese sonsuz teşekkürü borç bilirim. Bu çalışma, kariyerim için önemli bir kilometre taşıdır ve hepinizin katkıları bu hedefe ulaşmama yardımcı oldu.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Plastik Nedir?.....	3
2.1.1. Polietilen nedir?.....	5
2.2. Kaynak Nedir?.....	7
2.2.1. Termoplastikler için kullanılan kaynak yöntemleri.....	9
2.3. Optik Lensler.....	13
2.3.1. Fresnel lens.....	17
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	29
4. MALZEME ve METOT.....	33
4.1. Deney Numunesi.....	33
4.2. Fresnel Lens ile Kaynak İşlemi.....	34
4.3. Kaynak işlemi sırasında sıcaklık ölçümü.....	36
4.4. Kaynak işlemi sırasında güneş enerjisi ölçümü.....	36
4.5. Metalografik Test.....	37
4.5.1. Makro inceleme.....	37
4.6. Mekanik Testler.....	38

	Sayfa
4.6.1. Sertlik testi.....	38
4.6.2. Çekme testi.....	40
4.6.3. Üç nokta eğme testi.....	42
4.6.4. Charpy darbe testi.....	43
4.7. Termal Testler.....	43
4.7.1. Vicat Yumuşama Sıcaklık Ölçümü.....	44
4.7.2. DTA.....	45
5. DENEYSEL SONUÇLAR.....	47
5.1. Fresnel Lens Kullanılarak Elde Edilen Kaynak Sıcaklığı.....	47
5.2. Kaynak İşlemi Sırasında Güneş Enerjisi Ölçümü.....	48
5.3. Makro Görüntüler.....	48
5.4. Sertlik Testi Sonucu.....	52
5.5. Çekme Testi Sonucu.....	53
5.6. Üç Nokta Eğme Testi Sonucu.....	55
5.7. Charpy Darbe Testi Sonucu.....	56
5.8. Vicat Yumuşama Sıcaklık Ölçümü Sonucu.....	58
5.9. DTA Sonucu.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney numunesi özellikleri.....	31
Çizelge 5.1. Kaynaksız çekme numunesi değerleri.....	51
Çizelge 5.2. Kaynaklı numunelerin ortalama çekme dayanımı değerleri.....	51
Çizelge 5.3. Kaynaklı numunelerin ortalama eğme dayanımı değerleri.....	53
Çizelge 5.4. Kaynaklı numunelerin ortalama Charpy darbe dayanımı değerleri.....	55
Çizelge 5.5. Kaynaklı numunelerin vicat yumuşama sıcaklık değerleri.....	56



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Polimerizasyon sırasında polimer oluşum	4
Şekil 2.2. Hava-su ve su-hava sınırlarında ışığın kırılması	14
Şekil 2.3. Dışbükey ve içbükey mercek ile ışığın kırılması.....	16
Şekil 2.4. Yüzey şekillerine bağlı mercek çeşitleri.....	16
Şekil 2.5. Farklı adım boyutlarıyla, aynı odak uzaklığına sahip iki Fresnel lens	18
Şekil 2.6. Fresnel lensin ışığı kırması	19
Şekil 2.7. Fresnel lensin yapısı	19
Şekil 2.8. Bir fresnel lens profili.....	20
Şekil 2.9. Odak noktasındaki ışığın yayılımı	20
Şekil 2.10. Odak noktasının dışındaki ışığın yayılımı	21
Şekil 4.1. Çekme testi numunesi.....	38
Şekil 4.2. Kaynaklı malzemedен çıkarılan numunelerin şematik gösterimi.....	38
Şekil 5.1. Ortalama sertlik değerlerinin şematik gösterimi.....	50
Şekil 5.2. Kaynaklı parçaların “B” kodlu numunelerinin yük/uzama değerleri	52
Şekil 5.3. Kaynaklı numunenin TG/DTG/DTA eğrisi.....	58

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. PE üretmek için kullanılan bir kimya fabrikası.....	7
Resim 2.2. Kaynak işlemi sırasında çekilmiş bir görüntü.....	8
Resim 2.3. Deniz fenerinde kullanılan fresnel lensler.....	18
Resim 2.4. Fresnel lens projektör.....	22
Resim 2.5. Trafik lambalarında kullanılan fresnel lens.....	23
Resim 2.6. Güneş pillerinde fresnel lens kullanımı.....	23
Resim 2.7. Televizyonda fresnel lens kullanımı.....	23
Resim 2.8. Tepegöz cihazlarında fresnel lens kullanımı.....	24
Resim 2.9. Araçların kör noktasını görebilmek için kullanılan fresnel lens.....	24
Resim 2.10. Çölde Fresnel lens kullanarak sinterleme işlemi.....	24
Resim 2.11. Fresnel lensler ile yemek pişirmek.....	25
Resim 2.12. Fresnel lens ile su ısıtmak.....	25
Resim 4.1. Kaynak öncesi PE numune.....	32
Resim 4.2. Fresnel lens ile hazırlanan düzenek.....	32
Resim 4.3. PE numunenin erime anı.....	33
Resim 4.4. Fresnel lens ile kaynak işlemi.....	33
Resim 4.5. Kiray marka thermokupl.....	34
Resim 4.6. Kullanılan Kimo marka solarimetre.....	35
Resim 4.7. Leica marka stereo mikroskop.....	36
Resim 4.8. Sertlik testi için ölçüm yapılan kaynak kesiti bölgesi.....	37
Resim 4.9. Utest marka çekme cihazı.....	39
Resim 4.10. Instron marka üç nokta eğme cihazı.....	40
Resim 4.11. Charpy darbe test cihazı.....	41
Resim 4.12. Vicat yumuşama sıcaklığı ölçüm cihazı.....	42
Resim 4.13. Hitachi marka STA 7300 model test cihazı.....	43

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Thermokupl ile sıcaklık ölçümü.....	45
Resim 5.2. Solarimetre ile ölçüm.....	46
Resim 5.3. 1 numaralı numunenin kaynak bölgesi ön yüzü.....	47
Resim 5.4. 1 numaralı numunenin kaynak bölgesi arka yüzü.....	47
Resim 5.6. 2 numaralı numunenin arka yüzü.....	48
Resim 5.7. 3 numaralı numunenin kaynak bölgesinin kesit görüntüsü.....	49
Resim 5.8. Charpy darbe testi sonrası kaynaklı numunede kırılma bölgesi.....	55



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile beraber aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

°C	Santigrat derece
cm ³	Santimetreküp
g	Gram
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
MPa	Megapascal
N	Newton
J	Joule
T _m	Erime sıcaklığı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ACS	American chemical society
CENIM	Ulusal metalurji araştırma merkezi/İspanya
CSIC	Bilimsel araştırma yüksek kurulu/İspanya
DTA	Diferansiyel termal analiz
ETSII	Endüstri mühendisliği yüksek teknik okulu/İspanya
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
KGE	Konsantre güneş enerjisi
LDPE	Alçak yoğunluklu polietilen

Kısaltmalar**Açıklamalar****LLDPE**

Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen

PE

Polietilen

PC

Polikarbonat

PMMA

Akrilik

PP

Polipropilen

PS

Polistiren

PVC

Polivinil klorür

SSPS

Small solar power systems

SKK

Sürtünme karıştırma kaynağı

UHMWPE

Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen

UCLM

University of Castilla-La Mancha/İspanya

1. GİRİŞ

Değişen ve gelişen dünyada nüfus hızla artmaktadır. Nüfus hızına bağlı olarak enerji tüketimi de hızla artmaya devam etmektedir. Dünyamızın enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif enerji kaynakları son derece önemli bir hal almıştır. Alternatif enerji kaynakları denince de ilk akla gelen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji terimi; doğal süreçlerde sürekli var olan, tükenmeyen enerji olarak tanımlanabilir. Buna, güneş, hidrolik, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, dalga, biyogaz, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları örnek olarak verilebilir. Güneşin sağladığı enerji daha tam anlamıyla kullanılabilir hale gelememiştir. Bu sebepten alternatif enerji kaynaklarından faydalanabilmek için birçok çalışmalar geliştirilmeye devam etmektedir.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden birisi kaynaktır. Kaynak kısaca, aynı ya da birbirine benzeyen en az iki malzemenin basınç, ısı veya her ikisini de kullanarak malzemeleri birleştirme tekniğine verilen isimdir. Güneş enerjisinin kaynak alanında kullanılması fikrinin altında birçok sebep mevcuttur. Güneş enerjisi ile kaynak yapma fikrinin sağladığı artılardan birisi, kaynak yapmak için gerekli ısının oluşabilmesi için harcanan enerjiyi sıfıra indirerek sadece doğada bol miktarda bulunan güneş enerjisi ile kaynak yapabilmektir.

Literatürde polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polistiren(PS) gibi termoplastiklerin işlenmesi için Konsantre Güneş Enerjisi (KGE), Siores tarafından 1997 de incelenmiştir. Bu çalışma, plastik işleme endüstrilerinde KGE'nin geniş kapsamını göstermiştir [1].

Romero ve arkadaşları H13 takım çeliği ve AISI 316L paslanmaz çelik gibi yüksek ergime noktasına sahip metallerin kaynaklanması için KGE'ni kullanmışlardır. Bu çalışma, dikey eksenli bir parabolik yoğunlaştırıcıda gerçekleştirilmiştir. Ergimiş bölgede çeşitli mikro yapılar gözlenmiştir. İzleme hızı, geometrik konfigürasyon ve güneş radyasyonu optimize edilerek her iki malzeme için hatasız kaynak dikişleri elde edilmiştir [2].

Güneş enerjisi ile kaynak yapabilmek için direkt Fresnel Lensleri kullanan daha önce akademik bir çalışma yapılmamıştır. Bu tez çalışması Türkiye'nin coğrafi konumunun

avantajlarından biri olan güneş enerjisinden faydalanarak kaynak yapma fikri üzerine kurulmuştur. Fresnel lensler ile kaynak yapmak üzerine bir çalışma mevcut olmadığı için alanında öncü bir çalışmadır. Araştırma sürecinde konu ile ilgili bilgi eksikliği olduğu için ilerleyen süreçlerde yeni çalışmalar için başlangıç adımı olarak görülebilir. Fresnel lensler ile güneş enerjisini kullanarak kaynak yapma fikrinin bir diğer artı yanı ise diğer kaynak işlemleri için gerekli ekipmanın ve düzeneğin maliyetleriyle kıyaslandığında fresnel lens ile oluşturulan ekipmanların ucuz ve hafif olmasıdır.

Tez çalışmasında özel bir lens çeşidi olan fresnel lensler ile bir ekipman kurulmuştur. Ardından fresnel lensler ile güneş ışınlarının odaklanması sağlanmıştır. Odak noktasında oluşan yüksek sıcaklıklar sayesinde kaynak yapılabilir mi sorusuna cevap bulabilmek için ilk olarak düşük ergime noktalarına sahip olduklarından polimer malzemeler üzerinde deneme yapılması gerektiği düşünülmüştür. Yeterli bilgi ve çalışma olmamasından kaynaklı olarak çalışmanın kendine özgü sınırlılıkları da mevcuttur.

Polimer malzeme olarak PE numune kullanılmıştır. Kurulan düzenek sayesinde PE numunenin kaynak işlemi sırasında odak noktasında oluşan sıcaklığın tespit edilebilmesi için termokupl kullanılmıştır. Böylelikle kaynak sırasında ulaşılabilen sıcaklıklar tespit edilmiştir ve bu sayede polimer malzemelerden farklı olarak demir ve demir dışı malzemeler üzerinde de fresnel lensleri kullanarak kaynak yapılabilir mi sorusunun ilk adımı atılmıştır. Ardından kaynak kalitesini test edebilmek için kaynak işlemi ile birleştirilen numunelere mekanik ve termal testler yapılmıştır. Yapılan testlerin aynıları ana malzemeye de yapılmıştır. Bu sayede kaynak işleminden sonra malzeme üzerinde ki değişiklikler tespit edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Plastik Nedir?

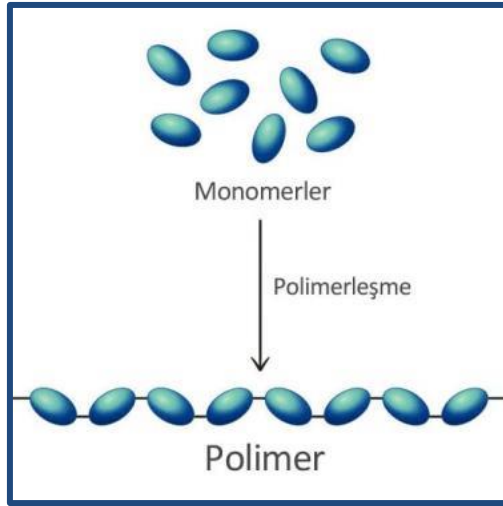
Plastik kelimesi, Yunanca 'kalıplamak' anlamına gelen 'Plastikos' kelimesinden türemiştir. Fosil yakıtlar, uzun polimer molekülleri için yapı taşları görevi gören hidrojen ve karbon (hidrokarbon) içeren bileşiklere sahiptir. Bu yapı taşları monomerler olarak bilinirler ve polimer adı verilen uzun karbon zincirleri oluşturmak üzere birbirlerine bağlanırlar [3]. Karbonun metal olmayan elementler (H, O, Cl, N) ile meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir [4].

Polimer terimi genellikle sentetik polimerler olan plastikleri tanımlamak için kullanılır. Ancak doğal polimerler de mevcuttur; Örneğin kauçuk ve ahşap, basit bir hidrokarbon olan izoprenden oluşan doğal polimerlerdir [5]. Proteinler amino asitlerden oluşan doğal polimerlerdir ve nükleik asitler (DNA ve RNA) nükleotidlerin polimerleridir - örneğin nitrojen içeren bazlar, şekerler ve fosforik asitten oluşan kompleks moleküller [6].

Zürih'teki Eidgenössische Technische Hochschule'de (Uygulamalı Bilimler Üniversitesi) organik kimya profesörü olan Hermann Staudinger, modern polimer gelişiminin babasıdır. 1920'lerde yaptığı araştırma, hem doğal hem de sentetik polimerlerin modern manipülasyonlarına yol açmıştır. American Chemical Society'ye (ACS) göre Hermann Staudinger, polimerleri anlamının anahtarı olan iki terim icat etti: polimerizasyon ve makromoleküller. 1953'te "makromoleküler kimya alanındaki keşiflerinden dolayı" Nobel Kimya Ödülü'ne layık görüldü [6].

Çevrimiçi eğitim kaynaklarından biri olan ThoughtCo.'ya göre Şekil 2.1'de şematik gösterimi verilen polimerizasyon, monomer adı verilen daha küçük boyutlardaki molekülleri kovalent bağlar ile bir arada tutulan bir zincir halinde birleştirerek sentetik polimerler oluşturma yöntemidir [7]. Isı ve basıncın neden olduğu çeşitli kimyasal reaksiyonlar, monomerleri bir arada tutan kimyasal bağları değiştirir. Bu işlem, moleküllerin doğrusal, dallı veya ağ yapısında bağlanmasına neden olarak polimerleri meydana getirir. Bu monomer zincirlerine makromoleküller de denir [6].

Çoğu polimer zinciri, omurga olarak bir dizi karbon atomuna sahiptir. Polymer Science Learning Center'a göre tek bir makromolekül yüzbinlerce monomerden oluşabilir [6]. Polimerler modern yaşamın hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Market poşetleri, soda ve su şişeleri, tekstil lifleri, telefonlar, bilgisayarlar, gıda ambalajları, otomobil parçaları ve oyuncakların tümü polimer içerir. Daha karmaşık teknolojiler bile polimerleri kullanır. Örneğin, ACS'ye göre "suyu tuzdan arındırmak için zarlar, kontrollü ilaç salınımında kullanılan taşıyıcılar ve doku mühendisliği için biyopolimerlerin tümü polimerlerden kullanılır". İmalat için popüler polimerler arasında PE ve PP bulunur. Molekülleri 10 000 ila 200 000 monomerden oluşabilir [6].



Şekil 2.1. Polimerizasyon sırasında polimer oluşumu

Polimerler, ısınmaya verdikleri fiziksel tepkiye göre termoplastikler ve termosetler olarak sınıflandırılabilir;

Termoplastikler, ısıtıldığında yumuşayan ve soğutulduğunda tekrar sertleşen plastiklerdir. Bu daha popüler plastik türüdür çünkü ısıtma ve soğutma tekrarlanabilir ve termoplastik yeniden biçimlendirilebilir. Akrilikler, selülozikler, naylon, PS ve PE bu gruba örnek verilebilir [8].

Termosetler, ısıtıldığında yumuşayan ve kalıplanabilen ancak kalıcı olarak sertleşen plastiklerdir. Yeniden ısıtıldıklarında ayrışır. Ekmek kızartma makinelerinde, tencere ve tava kulplarında, tabaklarda, elektrik prizlerinde ve bilardo toplarında kullanılan bakalit buna bir örnektir [8].

2.1.1. Polietilen nedir?

Polietilen (PE), en popüler termoplastik malzemelerden biridir. Etilenin polimerizasyonundan yapılan hafif, çok yönlü sentetik reçineye verilen isimdir. PE ilk olarak 1898'de tesadüfen ortaya koyan Alman kimyager Hans von Pechmann tarafından sentezlenmiştir. Düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) endüstriyel üretimi 1939'da İngiltere'de başladı. PE, önemli poliolefin reçine ailesindedir. 2017 itibarıyla, yılda 100 milyon tondan fazla PE reçinesi üretiliyor ve toplam plastik pazarının %34'ünü oluşturmaktadır [8]. Alışveriş poşetleri ve şeffaf gıda ambalajından deterjan şişelerine ve otomobil yakıt tanklarına kadar çok çeşitli ürünlere dönüştürülen, dünyada en yaygın kullanılan plastiktir. Ayrıca sentetik lifler halinde kesilebilir veya bükülebilir ya da bir kauçuğun elastik özelliklerini alacak şekilde değiştirilebilir [9].

Kimyasal bileşim ve moleküler yapısı bakımından; Etilen (C_2H_4), genellikle doğal gazın ana bileşeni olan veya petrolden damıtılabilen etanın parçalanmasıyla oluşan gaz halindeki bir hidrokarbondur. Etilen molekülleri temel olarak karbon atomları arasındaki bir çift bağla birbirine bağlanan iki metilen (CH_2) biriminden oluşur - bu yapı $CH_2=CH_2$ formülü ile temsil edilir [10].

Tek bir molekülde binlerce kez tekrar eden bu yapı, polietilenin özelliklerinin sırrıdır. Hidrojen atomlarının bir karbon omurgasına bağlı olduğu uzun, zincir benzeri moleküller doğrusal veya dallı formlarda üretilebilir. Sentetik polimerlerin çoğu etilenden oluşur. Zincirlerin ve herhangi bir dalın nispi uzunlukları, polietilenin özelliklerini kontrol eder. Hacim açısından en önemli polimer sınıfları, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilendir(UHMWPE) [11,12].

- Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), $0,910-0,940 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk aralığı ile tanımlanır. Çok yüksek basınçlar ve yüksek sıcaklıklar (yaklaşık $350 \text{ }^\circ\text{C}$) altında gaz halindeki etilenden hazırlanır. Bu işlemler, uzun ve kısa dallara sahip bir polimer yapısı verir. Dallar, PE moleküllerinin sert, rijit, kristalli düzenlemelerde birbirine yakın bir şekilde paketlenmesini önlediğinden, LDPE çok esnek bir malzemedir. Erime noktası yaklaşık $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. LDPE'nin plastik geri dönüşüm kodu #4'tür [11] .

- Doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), 0,915–0,925 g/cm³ yoğunluk aralığı ile tanımlanır. LLDPE, önemli sayıda kısa dal içeren büyük ölçüde doğrusal bir polimerdir. LLDPE, LDPE'den daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir ve LDPE'den daha yüksek darbe ve delinme direnci sergiler. LDPE'ye kıyasla daha düşük kalınlıktaki filmler üflenebilir, çevresel strese karşı daha iyi çatlama direncine sahiptir, ancak işlenmesi o kadar kolay değildir. LLYPE, ambalajlamada, özellikle torbalar ve levhalar için filmlerde kullanılır. Kablo kaplamaları, oyuncaklar, kapaklar, kovalar, kaplar ve borular için kullanılır. Diğer uygulamalar mevcut olsa da, LLYPE, tokluğu, esnekliği ve göreceli şeffaflığı nedeniyle ağırlıklı olarak film uygulamalarında kullanılır [11].
- Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), 0,941 g/cm³'e eşit veya daha büyük bir yoğunluk ile tanımlanır. Ziegler-Natta ve metalosen katalizörleri veya Phillips katalizörü olarak da bilinen aktifleştirilmiş krom oksit kullanılarak düşük sıcaklık ve basınçlarda üretilir. HDPE'nin dallanma derecesi düşüktür. Çoğunlukla doğrusal moleküller iyi bir şekilde bir araya toplanır, bu nedenle moleküller arası kuvvetler, yüksek oranda dallanmış polimerlerden daha güçlüdür. HDPE yüksek çekme dayanımına sahiptir. Yapısındaki dalların olmaması, polimer zincirlerinin birbirine yakın bir şekilde paketlenmesini mümkün kılar, yüksek mukavemetli ve orta sertlikte yoğun, oldukça kristalli bir malzeme açığa çıkar. Süt kutuları, çamaşır deterjanı, çöp kutuları, bakkal poşetleri, inşaat filmi, tarımsal malç ve kesme tahtaları için plastikte sıklıkla kullanılır. HDPE'nin plastik geri dönüşüm kod numarası #2'dir [11,12].
- Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), HDPE'nin sahip olduğu 500 000 atomik birimin aksine, 3 000 000 ila 6 000 000 atomik birim moleküler ağırlıklara sahip ultra yüksek moleküler ağırlıklı versiyonlarda üretilebilir. Bu polimerler lifler halinde bükülebilir ve daha sonra yüksek oranda kristalli bir duruma çekilebilir veya gerilebilir, bu da çelikten kat ve kat daha yüksek sertlik ve gerilme mukavemeti ile sonuçlanır. Bu liflerden yapılan iplikler ile kurşungeçirmez yelekler dokunmaktadır [11].

PE, plastiğin ısıya tepki verme şekline bağlı olarak termoset plastiklerin aksine "termoplastik" olarak sınıflandırılır. Bunun sebebi termoplastik malzemeler erime noktalarında sıvı hale gelirler. Termoplastiklerin kullanışlı bir özelliği, önemli bir bozulma olmadan erime noktalarına kadar ısıtılabilmeleri, soğutulabilmeleri ve tekrar ısıtılabilmeleridir [13]. PE malzemelerin dayanıklılığı ve uzun ömürlülüğü o kadar iyidir ki birçok üretici firma bu malzemeleri bakım gerektirmez olarak tanımlar [14]. Resim 2.1'de PE üretmek için kullanılan bir kimya fabrikası yer alıyor.



Resim 2.1. PE üretmek için kullanılan bir kimya fabrikası

2.2. Kaynak Nedir?

Kaynak, güçlü, kalıcı bir bağ oluşturmak için ısı, basınç veya her ikisini kullanarak iki veya daha fazla parçanın birleştirilmesini sağlayan imalat bir işlemdir. Kaynak genellikle metallerde ve termoplastiklerde kullanılır ancak ahşapta da kullanılabilir [15].

Kaynak uygulaması, insanların metal kullanmaya başladığı insanlık tarihindeki Tunç Çağı'na kadar uzanır. Bu süre zarfında yaşayan insanlar, bindirme bağlantılarında basınçlı kaynak kullanarak altın kutular elde etmişlerdir. Demir Çağı'nda kaynak teknikleri daha fazla geliştikçe, bu insanlara demir kullanarak yeni şeyler inşa etme fırsatı verdi. Bu süre zarfında, eski Mısırlılar ve diğer kültürler, diğer ihtiyaçların yanı sıra kaynak aletlerini de kullanmışlardır [16].

19. yüzyılda kaynak alanında büyük gelişmeler oldu. Modern kaynak, 1800 yılında Sir Humphry Davy'nin bir pil ve iki karbon elektrot kullanarak bir elektrik arkı çakmasıyla başlamıştır [17]. 1836'da Edmund Davy, en sıcak alevi üretebilen bir gaz olan asetileni keşfetmiştir. Bu keşif, 1850'de gaz kesmenin popüleritesinde bir artışa yol açmıştır [16].

Birleştirilen parçalar ana malzeme olarak bilinir. Birleşmeye yardımcı olmak için eklenen malzemeye ise dolgu veya sarf malzemesi denir. Sarf malzemeleri genellikle bileşim bakımından ana malzemeye benzer olacak şekilde seçilir, böylece homojen bir kaynak oluşturulur, ancak kırılğan dökme demirlerin kaynaklanması gibi, çok farklı bir bileşime ve özelliklere sahip bir dolgu maddesinin kullanıldığı durumlar da vardır. Bu kaynaklara ise heterojen kaynak denir [15].

Kaynak işleminde yaygın olarak çalışma parçalarının kaynak yapılacak bölümü eritilir ve bu bölgeye dolgu malzemesi eklenir, ardından eklenen yeri soğutularak sertleşmesi sağlanır, bazı durumlarda ısı ile birleştirme işlemi basınç altında yapılabilir. Bu yöntem lehim ve sert lehim ile farklılık gösterir, lehim ve sert lehim yöntemlerinde çalışma parçaları erimeden, düşük erime noktalarında birleşme gerçekleşir [18]. Resim 2.2’de kaynak işlemi sırasında çekilmiş bir görüntü verilmiştir.



Resim 2.2. Kaynak işlemi sırasında çekilmiş bir görüntü

Diğer birleştirme yöntemleriyle kıyaslandığında, kaynak birçok avantaj sunar. Bu avantajlara örnek vermek gerekirse;

- Dayanıklı bağ
- Kusursuz dikiş yeri
- Verimli ve çok yönlü sistem

Bu avantajlar, kaynağı otomotiv, inşaat ve sanayi şirketleri için çok aranan bir beceri haline getirir [19].

2.2.1. Termoplastikler için kullanılan kaynak yöntemleri

Termoplastiklere kaynak yapabilmek amacıyla kullanılan yöntemler, kaynağa ısı vermek için kullanılan yöntemlere göre üç ayrı gruba ayrılabilir. Bunlar; ısının mekanik hareketle üretildiği, harici bir ısı kaynağı tarafından üretildiği veya elektromanyetizmayı doğrudan kullanan kaynak teknikleri [20].

Isının mekanik hareketle üretildiği kaynak teknikleri;

Sürtünme

Sürtünme kaynağı, Amerikan kaynak derneğine göre, kaynağın iş parçaları arasındaki mekanik sürtünme yoluyla ısı üretimi ile gerçekleştirildiği bir katı hal kaynağı işlemi olarak tanımlanmaktadır [21]. Diğer kaynak metotlarından farklı olarak, bir araya getirilmek istenen parçalar, mekanik dönme hareketi sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi ve uygulanan basınç yardımıyla birleştirilir. Bu yöntemde malzeme ertilmeden, sürtünme ısıyla birlikte plastik deformasyona uğrayarak kaynatılır. Ergime olmadığı için malzemenin yapısında da herhangi bir değişiklik olmaz. Böylelikle malzemenin mekanik özellikleri kaynaklama işleminden sonra değişmemiş olur [22]. Sürtünme kaynağıyla ilişkili ana kaynak parametreleri hız veya frekans, sürtünme basıncı, dövme basıncı, yer değiştirme ve süredir. Bu parametreler genellikle birbirine bağlıdır ve herhangi bir uygulama için, kaynaklı bileşenin seri üretiminden önce bir dizi kaynak özelliği optimizasyon denemesi yapılmalıdır.

Dolgulu, kristal ve şekilsiz malzemeler de dâhil olmak üzere hemen hemen her termoplastik malzeme sürtünmeyle kaynaklanabilir. Farklı termoplastikler ve alaşımların kaynaklanması olasılığı vardır ve örneğin PS ve ABS, PMMA ve PC ve PPO/PA ve PA ile başarılı bağlantılar yapılabilir [23].

Doğrusal titreşim

Doğrusal titreşim kaynağının arkasındaki ilke, birleştirilecek parçalar, doğrusal bir ileri geri hareketle birbirine sürtünmeden önce basınç altında temas ettirilir. Ortaya çıkan

sürtünme, ara yüzeydeki malzemeyi eritir ve ardından titreşim durur; parçalar daha sonra hizalanır ve kaynak katılaşıma kadar bir arada tutulur [20].

Çoğu termoplastik malzeme, otomotiv endüstrisinde iki parçalı tamponlar, yakıt depoları, manifoldlar, arka ışık kümeleri ve iç kapı panelleri gibi bileşenleri birleştirmek için yaygın olarak kullanılan bu teknik ile kaynaklanabilir [20].

Döndürme

Döndürme kaynağında, birleştirme alanları her zaman daireseldir ve hareket dönme şeklindedir. Teknik, PE şamandıraların, aerosol şişelerinin, transmisyon millerinin ve PVC boru ve bağlantı parçalarının imalatına kadar çok çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır [20].

Ultrasonik

Ultrasonik kaynak, termoplastiğin bağlantı hattında yumuşatılması veya eritilmesi için yüksek frekanslı mekanik enerjinin kullanılmasını içerir. Birleştirilecek parçalar basınç altında bir arada tutulur ve ardından genellikle 20 veya 40 kHz frekansta ultrasonik titreşimlere tabi tutulur. Ultrasonik kaynak, kaynak sürelerinin genellikle bir saniyeden az olduğu ve kolayca otomatikleştirilebilen hızlı bir işlemdir. Otomotiv, medikal, elektronik ve paketleme pazarlarındaki bileşenlerin montajı için popüler bir seçimdir [20].

Harici bir ısı kaynağı kullanan kaynak teknikleri;

Sıcak plaka

Sıcak plaka kaynağı, küçük otomotiv sıvı rezervuar kaplarından çapı 1000 mm'yi aşan boru hatlarına kadar çeşitli uygulamalar için kullanılan muhtemelen en basit plastik birleştirme tekniğidir. Birleştirme yöntemi, birleştirilecek parçaların uçlarının yeterince eriyene kadar elektrikle ısıtılan bir levhaya karşı ısıtılmasını içerir. Isıtıcı plaka daha sonra çıkarılır ve parçalar birbirine bastırılır. Ardından, kaynağın mukavemet geliştirmesi için bir soğutma döngüsü oluşturulur [20].

Sıcak çubuk ve basınç

Bu teknik esas olarak kalınlığı 0,5 mm'den az olan termoplastik filmlerin birleştirilmesinde kullanılır. Isıtılmış bir metal çubuğa iki film bastırılır ve yumuşayarak aralarında bir bağlantı oluşmasını sağlar. Kaynak süreleri hızlıdır, 100µm film için yaklaşık iki saniyedir.

Darbe kaynağı prensibi ile aynıdır. Burada ısı, filmler birbirine bastırıldığında tetiklenen bir nikel krom telden geçen, kısa bir elektrik enerjisi patlamasından gelir. Bu yöntem, PE torbaların hızlı bir şekilde kapatılması için ambalajlamada kullanılır [20].

Sıcak gaz

Termoplastiklerin sıcak gaz kaynağında birleştirilebilecek parçaları, tipik olarak kalınlığı 30 mm'ye kadar olan sac kesitlerdir. Bağlantı alanına doğru bir sıcak gaz akışı yönlendirilmeden önce V-uç veya T-uç konfigürasyonunda hazırlanır. Bu, bağlantı alanının ve ayrıca birleştirilen parçalarla aynı polimer tipinde bir sarf malzemesi dolgu çubuğunun erimesine neden olur. Kaynak, ek yerinin dolgu malzemesi ile kaynaşmasından oluşur. Sıcak gaz kaynağının ana avantajı, ekipmanın kolayca taşınabilir olmasıdır. Ancak süreç yavaştır ve kaynak kalitesi büyük ölçüde operatörün becerisine bağlıdır. Yüksek standartlara ulaşmak için operatörlerin eğitimi ve sertifikasyonu önerilir [20].

Ekstrüzyon

Ekstrüzyon kaynağı, birden fazla paso kullanarak bir dikiş üretmenin gerekli olacağı sıcak gaz kaynağının aksine, tek bir pasoda büyük hacimli homojen dikişler üretmenin gerektiği tanklar ve borular gibi kalın kesitli imalatların kaynaklanmasında kullanılır [20].

Elektromanyetizmayı doğrudan kullanan kaynak teknikleri:

Direnç implant

Bu, dirençli ısınmayı sağlamak için yüksek bir elektrik akımı uygulanmadan önce birleştirilecek iki parça arasında elektriksel olarak iletken bir implantın tutulması esasına dayanır. İmplant ısındıkça çevreleyen termoplastik malzeme yumuşar ve erir. Basınç

uygulanması, erimiş yüzeylerin bir kaynak oluşturmak üzere kaynaşmasını sağlar. Dirençli implant kaynağının yaygın olarak kullanılan bir uygulaması, elektrofüzyon tekniğidir. Bu yöntem, entegre bir elektrikli ısıtma bobini içeren özel olarak tasarlanmış soket kuplörleri kullanarak, termoplastik boruları birleştirmek için kullanılır [20].

Kızılötesi

Kızılötesi kaynak sırasında birleştirilecek parçalar elektrikle ısıtılan bir plaka ile çok yakına getirilir. Yöntem, ısı kaynağı ile gerçek bir fiziksel temas yapılmamasına rağmen, sıcak plaka kaynağına benzer. Yeterli süre geçtikten sonra parçalar erimiş hale gelir ve bir kaynak oluşturmak için birleştirilir [20].

Kızılötesi kaynak genellikle sıcak plaka kaynağından daha hızlıdır ve tipik kaynak süreleri yaklaşık %50 oranında azalır. Isıtmanın fiziksel temas olmaksızın sağlanması, sıcak plaka yüzeyinden kaynağa giren kirlenme olasılığını ortadan kaldırır. Bu yöntem, termoplastik boruları birleştirmek için kullanılır [20].

Lazer

Lazer kaynak tekniği, eklem bölgesindeki plastiği eritmek için genellikle elektromanyetik spektrumun kızılötesi alanında odaklanmış yoğun bir radyasyon ışını kullanır. Kullanılan lazer tipi ve plastiğin soğurma özellikleri, olası kaynak kapsamını belirler. Lazer kaynağı, minimum parlama ve bozulma oluşturan hızlı, temiz, temassız bir işlem olma avantajına sahiptir [20].

2.3. Optik Lensler

Lens (mercek), kırılmayı kullanarak ışık huzmelerini odaklayan veya dağıtan aktarıcı bir optik cihazdır. Tipik olarak ince cam veya plastikten yapılır ve çevreleyen havadan daha büyük bir kırılma indeksine sahiptir [24] . Adını Latince "mercimek" kelimesinden alır. Bunun sebebi ise en yaygın mercek türünün (dışbükey mercek) mercimeğe çok benzemesidir [25].

Bir mercek kırılma ile çalışır; ışık ışınlarını içinden geçerken yön değiştirecek şekilde bükür. Basit bir mercek, tek bir şeffaf malzemeden oluşurken, bileşik mercekler, ortak bir eksen boyunca düzenlenmiş birkaç basit mercekten oluşur. Bir mercek, ışığı odaklamadan kırılan bir prizmadan farklı olarak, bir görüntü oluşturmak için ışığı odaklayabilir [25].

İnce merceklerin çapları, iki yüzeylerinin eğrilik yarıçaplarından daha küçüktür, bu da içlerinden geçen paralel ışık ışınlarının çoğunun tek bir noktada buluşmasını sağlar. Küresel, şeffaf yüzeyi, kaynaktan gelen paralel ışık ışınlarının mercekten geçerken kırılmasına veya bükülmesine izin verir. Kırılan ışınların birleştiği noktada görüntü oluşur [26].

Tek bir merceğin tam olarak düzenli iki zıt yüzeyi vardır; ya her iki yüzey de eğridir ya da biri eğri biri düzlemdir. Mercek yüzeylerinin eğriliği nedeniyle, gelen bir ışık huzmesinin farklı ışınları farklı açılardan kırılır, böylece tüm bir paralel ışın demetinin tek bir noktada birleşmesine veya tek bir noktadan uzaklaşıyor gibi görünmesine neden olabilir. Bu noktaya merceğin odak noktası veya ana odak noktası denir (genellikle ışın diyagramlarında F olarak gösterilir). Bir nesneden yansıyan veya bir nesneden yayılan ışık ışınlarının kırılması, ışınların nesnenin görsel bir görüntüsünü oluşturmasına neden olur. Bu görüntü gerçek olabilir yani fotoğraflanabilir veya bir ekranda görülebilir ya da sanal olabilir; mikroskopta olduğu gibi yalnızca merceğe bakıldığında görülebilir. Merceğin odak uzaklığına ve mercek ile nesne arasındaki mesafeye bağlı olarak görüntü nesneden çok daha büyük veya daha küçük olabilir. Bir merceğin odak uzaklığı, merceğin merkezinden uzaktaki bir nesnenin görüntüsünün olduğu noktaya olan mesafedir. Uzun odaklı bir mercek, uzaktaki bir nesnenin daha büyük bir görüntüsünü oluştururken, kısa odaklı bir mercek küçük bir görüntü oluşturur [27].

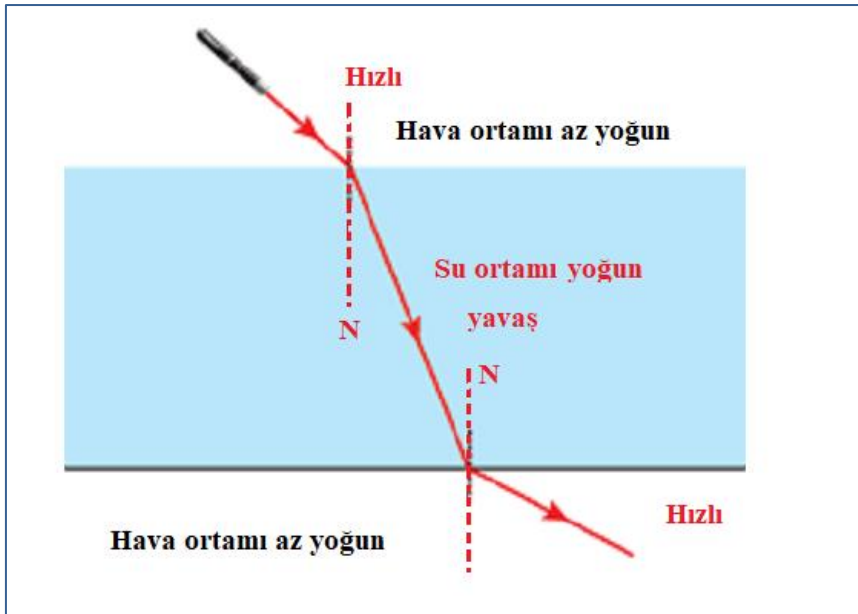
Mercek elemanları birbirine yapıştırılabilir veya ayrı ayrı elemanların sapmalarını düzeltmek ve kabul edilebilir keskinlikte bir görüntü elde etmek için dikkatlice hesaplanan mesafelerde monte edilebilir. Bir merceğin yalnızca fizikte değil, aynı zamanda astronomi ve biyoloji gibi diğer bilim alanlarında da çeşitli uygulamaları vardır [27].

Lens imalatında, cam levhalar bir cam testeresi veya dilme diski ile kesilir; istenilen türde ve şekilde bir parça, kaba, yuvarlak bir iş parçasına yontulur veya parçalar, yumuşayana kadar ısıtılır ve ardından yuvarlak bir şekle haddelenebilir daha sonra istenen boyuta ve

yüzeylerin yaklaşık olarak istenen eğriliğine göre bir kalıp içinde preslenebilir. Yüzeyler daha sonra bir aşındırıcı olarak, kaba zımpara, karborundum veya elmas kullanılarak nihai şekle getirilir veya zımparalanır. Lens yüzeyleri, belirtilen aşındırıcılardan birinin kademeli olarak daha ince dereceleri kullanılarak düz veya uygun şekilde olan kavisli bir demir alet üzerinde taşlanır [27].

Taşlama işleminde, merceğin eksenine dönen bir fincan şeklinde alet monte edilir. Alet ekseninin eğikliği, aletin kenarı oluşturulmakta olan (içbükey) merceğin merkezini kesecek şekilde ayarlanmalıdır. Dışbükey mercekler için dönen araç yüzünün merkezi, boş mercek kenarını keser. Hem alet hem de mercek kendi eksenleri etrafında dönerken, mercek üzerinde istenen eğrilik yarıçapına sahip küresel bir yüzey oluşturulur [27].

Kırılma, ışığın farklı bir kırılma indisine sahip başka bir ortama girerken bükülmesidir. Işığın ortam içinde yavaşlaması veya hızlanması nedeniyle yön değiştirmesinin bir sonucudur [26]. Şekil 2.2 ışığın bir malzemedan diğerine geçerken nasıl kırıldığını göstermektedir. Suyun kırılma indisi havadan daha yüksek olduğu için ışık havadan suya geçerken yavaşlar. Sonuç olarak, kırılan ışın normal çizgi ile daha küçük bir açı oluşturur. Bu sırada ışık sudan havaya çıkarken hızlanarak kırılan ışının normal çizgiden uzaklaşmasını sağlar.



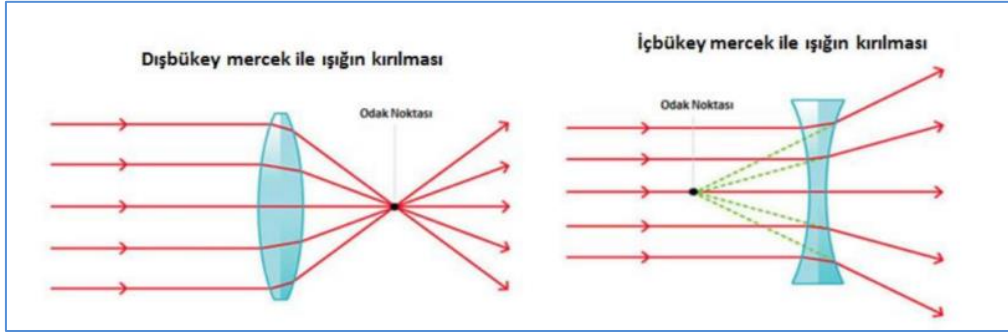
Şekil 2.2. Hava-su ve su-hava sınırlarında ışığın kırılması

Mercekler havadan daha yüksek kırılma indislerine sahip olmaları sebebi ile ışık da merceklerden geçerken kırılır. Mercek kırılması sırasında, kaynaktan gelen ışık ışınları başlangıçta paraleldir. Daha sonra merceğe girerken hafifçe kırılırlar ve çıktıklarında tekrar bükülürler. Asal eksenden geçen ışın hariç tüm ışık ışınları kırılır. Yakınsak bir mercekteki tüm ışık ışınları bir görüntü oluşturmak için tek bir noktada buluşur. Lens kırılma görüntüleri kullanılan lens tipine göre değişiklik gösterebilir [26].

Mercekler özelliklerine ince kenarlı mercekler ve kalın kenarlı mercekler olmak üzere ikiye ayrılırlar (Şekil 2.3). İnce kenarlı mercekler; kenarları ince, ortası şişkin olan merceklerdir. Işığı toplama özellikleri bakımından yakınsak mercek olarak da adlandırılırlar. Bir diğer adı da dışbükey mercektir. Dışbükey mercekler daha kalın merkezlere ve daha ince kenarlara sahiptir. Pozitif odak uzunlukları nedeniyle pozitif lensler olarak da bilinirler [25].

Paralel ışık ışınlarının içe doğru tek bir noktaya yakınsamasını veya kırılmasını sağlarlar. Dışbükey mercekler, nesnenin konumuna bağlı olarak farklı özelliklere sahip çeşitli görüntüler oluştururlar. Örneğin, nesne odak noktasının dışındaysa oluşan görüntüler gerçek ve terstir. Ancak nesne odak noktasının içindeyse görüntüler sanal ve diktir. Nesne tam olarak merceğin odak noktasına yerleştirilirse görüntü oluşmaz [25].

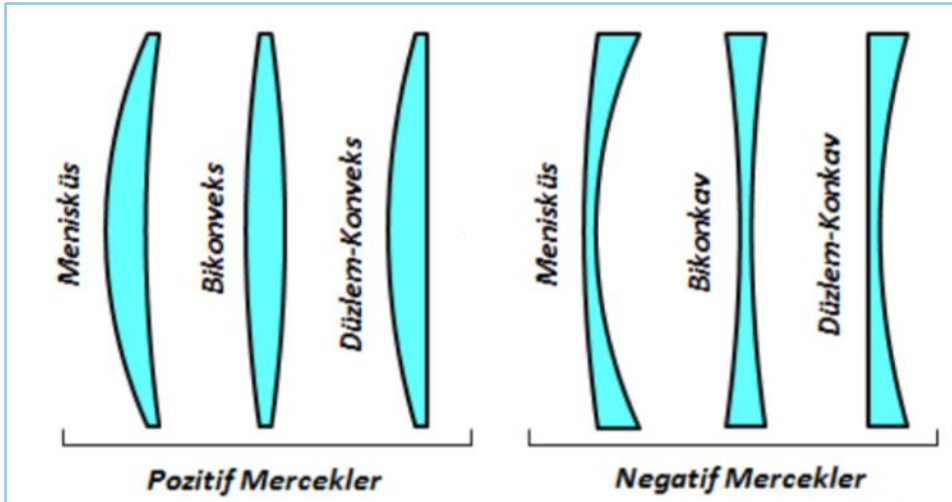
Buna karşılık, ıraksak veya içbükey mercekler daha ince merkezlere ve daha kalın kenarlara sahiptir. Negatif odak uzunlukları nedeniyle negatif lensler olarak da bilinirler. İçlerinden geçen paralel ışık ışınları tek bir noktadan uzaklaşarak uzaklaşır veya dışa doğru yayılır. Sonuç olarak, kırılan ışınlar görüntüden geçmediği için, içbükey bir mercek sanal bir görüntü oluşturur. Ayrıca, içbükey mercekler her zaman orijinal nesneden daha dik, daha küçük görüntüler oluşturur [26].



Şekil 2.3. Dışbükey ve içbükey mercek ile ışığın kırılması

Her lens ışığı farklı şekilde bükerek ve bu da onları belirli uygulamalar için değerli kılar. Genel olarak lens çeşitleri yüzey şekillerine göre isimlendirilirler. İki yüzeyi dışbükey olan merceklere bikonveks, içbükey olanlara bikonkav, bir yüzeyi içbükey bir yüzeyi dışbükey olanlara menisküs (pozitif veya negatif menisküs), bir yüzeyi düzlem olanlara ise düzlem-konkav veya düzlem-konveks denir [28].

Lenslerin bir diğer sınıflandırması ise basit lens ve bileşik lenslerdir. Basit lensler, eğrilik yüzeylerine bağlı olarak bileşik lenslerden farklıdır. Şekil 2.4'de farklı basit lens türleri bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Yüzey şekillerine bağlı mercek çeşitleri

Bileşik lensler, farklı basit lenslerin bir kombinasyonundan yapılmış olanlardır. Bileşik bir mercek oluşturmak için kullanılan mercek türleri, farklı kırılma indislerine ve diğer özelliklere sahip olabilir. Lenslerin yerleşimi tek eksen üzerinde olacak şekilde yapılmış ve yeni bileşik lens için odak uzaklığı gibi özellikler yeniden hesaplanmıştır [26].

Diğer lens çeşitleri şunlardır:

- Silindirik lens – tek yönde eğrilik
- Fresnel lens – dar halka benzeri yüzey
- Merceksi lens – bir grup mikro mercek
- Gradyan İndeksi – düz yüzeyler ancak farklı kırılma indislerine sahip
- Axicon lens – konik yüzey

Tek veya birden fazla elemandan oluşabilen optik lensler, lazer işlemeden mikroskobığe kadar çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Savunma sanayi, yaşam bilimleri, fotoğrafçılık, endüstriyel alanlar dâhil olmak üzere birçok alan optik lensleri kullanılır.

2.3.1. Fresnel lens

Fresnel lensler dalga optiği alanında 19. yüzyılın başlarında bir öncü olan Fransız fizikçi Augustin-Jean Fresnel tarafından geliştirilmiştir. Cam lenslerin aksine fresnel lensin diğer lenslere göre birçok avantajı vardır. Eşi olmayan tasarımlara sahip olan fresnel lensler, hafif ve incedir, tipik olarak daha yakın odak uzunluklarına sahiptir ve alışlagelmiş optik lenslere göre daha verimlidirler. Augustin Fresnel, 1865'de Fransa'da deniz fenerleri komisyoncusu olarak çalışırken, yivli merceklerin geleneksel merceklerden daha fazla eğik ışık yakaladığını, deniz feneri ışıklarının daha verimli çalışmasına, daha az malzeme kullanmasına ve daha uzak mesafelerden görülebilmesine olanak tanıdığını keşfetmiştir [29].



Resim 2.3. Deniz fenerinde kullanılan fresnel lensler

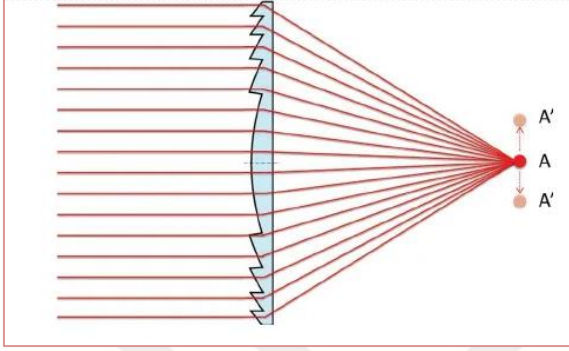
Augustin-Jean Fresnel'in asıl uygulaması, yüksek güçteki bir lamba tarafından üretilen ışığın optimum derecede kompakt bir optik düzenek ile yeniden yönlendirilmesi gereken deniz fenerleri içindi (Resim 2.3). Bu çalışma prensibi, aynı odak uzunluğuna sahip iki lens versiyonunu gösteren Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Üstteki versiyon daha sık dairesel basamaklara sahiptir ve bu sebeple daha ince yapılabilir [30].



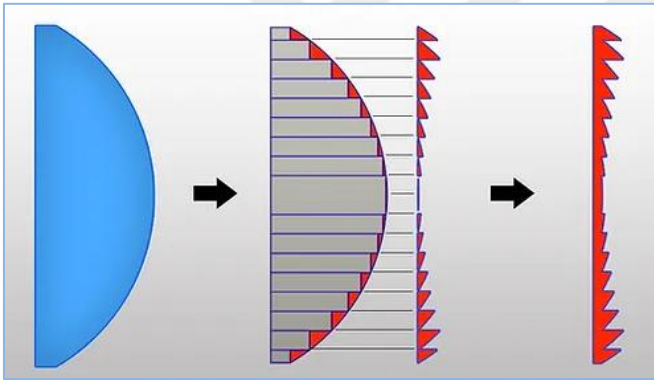
Şekil 2.5. Farklı adım boyutlarıyla, aynı odak uzaklığına sahip iki Fresnel lens

Fresnel Lensler, plastik bir alt tabakaya kazınmış bir dizi eşmerkezli halkalardan oluşur bu halkalar aslında lens yüzeyindeki "adımlardır". Her adım, ışığı altındakinden biraz daha fazla bükür, böylece ışık ışınlarının tümü, okyanusta birçok kilometre/mil kateden

mükemmel, paralel bir ışın olarak ortaya çıkarır. İnce alt tabaka ise emilim nedeniyle kaybedilen ışık miktarını en aza indirir. Yüksek halka yoğunluğu görüntü kalitesini artırırken, düşük halka yoğunluğu genel verimliliği artırır. Şekil 2.6'da Fresnel lensin ışığı nasıl kırıldığı şematik olarak gösterilmiştir.



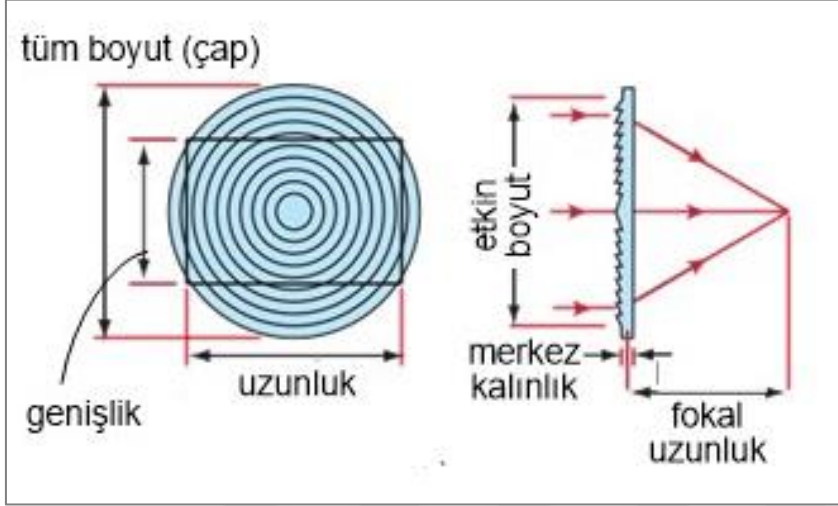
Şekil 2.6. Fresnel lensin ışığı kırması



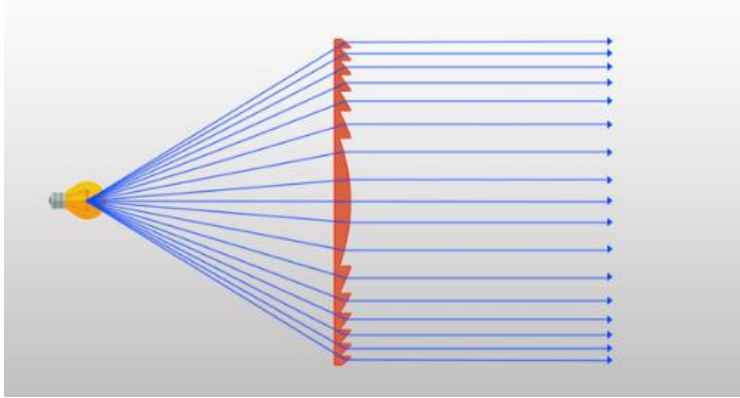
Şekil 2.7. Fresnel lensin yapısı

Fresnel Lens, dışbükey merceğin düzleştirilmiş bir çeşididir (Şekil 2.7). Dışbükey bir mercek oluşturmak için gereken cam malzeme miktarını azaltmanın bir yolu olarak geliştirilmiştir. Bir Fresnel Mercek, bir dışbükey merceğin eğriliğinin enine kesitlerini kullanır, ancak bunları düzlemsel bir yüzey ile gerçekleştirir (Şekil 2.8). Sonuç olarak, dışbükey bir mercek için gereken ağırlık veya büyük miktarda cam malzeme olmadan aynı paralelleştirilmiş ışık ışınlarını elde edilir. Fresnel lens gibi ışık şekillendirme araçlarına ayırt edici özelliğini veren bu paralelleştirilmiş ışınlardır. Fresnel tabanlı aydınlatma araçları, ışığı odak noktasının içine ve dışına taşımak için bir odaklama sistemi de kullanır. Işık odak noktasındayken ("nokta" konumu) yayılım en azdır. Eğer ışık odak noktasında değilse ("akma" konumu), ışık daha geniş yayılır ve daha yumuşak gölgelere sahiptir [31].

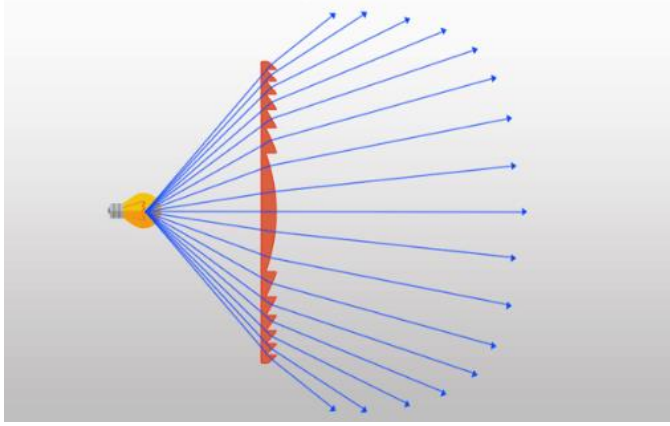
Şekil 2.9’da fresnel lense gelen ışığın odak noktasında olması halinde ışığın yayılımı verilmiştir. Şekil 2.10’da ise fresnel lens üzerine gelen ışığın odak noktasında olmaması durumunda ışığın yayılımı verilmiştir.



Şekil 2.8. Bir fresnel lens profili



Şekil 2.9. Odak noktasındaki ışığın yayılımı



Şekil 2.10. Odak noktasının dışındaki ışığın yayılımı

İlk Fresnel lensler, camın elle uzun süre taşlanması ve daha sonra parlatılmasıyla üretildi. Süreç, erimiş camın kalıplara dökülmesine ve 20. yüzyılda optik kalitede plastiklerin enjeksiyonla kalıplanmasının geliştirilmesine kadar ilerledi; bu ilerlemeler artık Fresnel lensi ticari uygulamalar için daha pratik hale getirdi [32]. Fresnel lensler çoğu zaman büyütme amaçlı olarak kullanılır ancak diğer merceklerle benzer şekilde küçültmeye yarayan çeşitleri de bulunmaktadır. Fakat bir objeyi küçültmek çoğu zaman pek kullanışlı olmadığı için küçültmek için üretilen lensler çok fazla kullanım alanı bulamamaktadır. Buna karşın dolmuşların veya panelvanların arka camına asılı plastikten üretilmiş levhalar fresnel lenslerin küçültme amaçlı olarak üretilmiş olan çeşitleridir. Kullanım amaçları geniş bir bölgeyi ufak bir merkezde toplayarak küçük bir alandan tüm çevreyi görmeye imkân sağlayan çeşitleridir [33].

Fresnel lensler, akrilik (PMMA) veya polikarbonat (PC) malzemeden üretilebilir. Her iki malzemenin de ışık geçirgenliği ve dayanıklılığına göre birbirinden avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Genellikle, yüksek ışık geçirgenliği için akrilik, yüksek dayanıklılık için polikarbonat malzeme tercih edilmektedir [34].

Fresnel Lenslerin kullanım alanları;

Projeksiyonlar için kullanıldığında görüntü kalitesini az miktarda düşürdüğü görülmüştür; bu sebeple kritik olmayan ya da diğer bilinen lenslerin büyütmesinin uygun olmadığı yerlerde kullanılmaktadır. Yoğunluğundan kaynaklı optik gücü sayesinde fresnel lensler ısıtma ve solar güç uygulamalarında güneş ışığının toplanması için yaygın olarak kullanılmaktadır [33,35].

Fresnel lenslerin genel uygulamaları Őu Şekilde belirtilebilir:

- Fresnel projektörler (Resim 2.4)
- Trafik lambaları (Resim 2.5)
- Güneş pilleri (Resim 2.6)
- Televizyon ekranları (Resim 2.7)
- Tepegöz cihazları (Resim 2.8)
- Dikiz aynası (Resim 2.9)
- Güneş enerjisi ile sinterleme işlemi (Resim 2.10)
- Yemek piŐirme, su ısıtma (Resim 2.11 ve Resim 2.12)
- Özel ışık efektleri
- Optik iniŐ sistemleri
- Otomobil farları
- Kamera görüntüleme sistemleri

Yoğunluğunun sağladığı optik gücünden faydalanılarak fresnel lensler ısıtma ve solar güç uygulamalarında güneş ışığının toplanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin üzerinde güneş ışınlarının toplanması için kullanımında, hücrenin yüzeyi birçok kez küçültölmektedir, bu durum önemli ölçüde enerji tasarrufunu sağlar.



Resim 2.4. Fresnel lens projektör



Resim 2.5. Trafik lambalarında kullanılan fresnel lens



Resim 2.6. Güneş pillerinde fresnel lens kullanımı



Resim 2.7. Televizyonda fresnel lens kullanımı



Resim 2.8. Tepegöz cihazlarında fresnel lens kullanımı



Resim 2.9. Araçların kör noktasını görebilmek için kullanılan fresnel lens



Resim 2.10. Çölde Fresnel lens kullanarak sinterleme işlemi



Resim 2.11. Fresnel lensler ile yemek pişirmek



Resim 2.12. Fresnel lens ile su ısıtmak



3. LİTERATÜR TARAMASI

Değişen ve gelişen dünyada artan nüfusla beraber kaynaklarımız hızla tükenmektedir bu sebepten doğal kaynaklardan yararlanarak enerji üretmek son derece önemli bir hal almıştır. Konsantre güneş enerjisi (KGE), sertleştirme, kaplamalar, nitrülleme, sinterleme, sentez ve kaynaklama gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Malzeme bilimi uygulamalarının çoğunda, güneş enerjisini yoğunlaştırmak için güneş fırınları kullanılır.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında kullanılan fresnel lensler ise özellikleri bakımından diğer optik lenslerden farklı olarak ucuz ve hafif yapısıyla beraber güneş ışınlarını topladığı odak noktasında, yüksek sıcaklık değerlerini vermektedir [1]. Fresnel lensin bu özelliğini kullanarak güneş ışınları ile kaynak uygulaması yapma fikri daha önce akademik yazılı bir kaynakta kullanılmamıştır. Fakat dünya genelinde fresnel lensleri farklı amaçlarda kullanan pek çok çalışma mevcuttur.

1969 yılında Kaddou ve Abdul-Latif, güneş enerjisi kullanarak metalleri birleştirmenin fizibilitesini güneş fırını kullanarak incelemişlerdir. Deneyleri, yaklaşık 1095 °C sıcaklığa ulaşan bir Fresnel lens güneş enerjisi kurulumunda gerçekleştirmişlerdir. Metalleri lehimleme ve kaynaklamayı planlamışlardır. Alın, bindirme ve kenar gibi çeşitli bağlantı türlerinin yanı sıra iki bükülmüş tel ve bir flanşa birleştirilmiş çubuk denemişlerdir. Pirinç veya bakırdan ince metal şeritlerin (<3 mm) kolayca lehimlenebildiğini bulmuşlardır. Güneş fırınının ana özelliklerinden biri, istenen atmosferi (vakum, inert, indirgeyici veya nötr) kullanmanın uygulanabilirliğidir. Bununla beraber, başlıca dezavantajlarından biri, yüzeyin karartılmasını gerektiren parlak metallerin yüksek yansımadır. Daha sonra gümüş lehimlemeyi de denemişlerdir, ancak kullandıkları güneş fırınının sınırlamaları nedeniyle ulaşılması çok zor olan lehimin yüksek ergime noktası sebebi ile olumlu sonuçlar alamamışlardır. Soğuk haddelenmiş şeritlerin lehimlenmesi sırasında yeniden kristalleşme ve tavlama işlemleri nedeniyle bölgesel olarak yumuşadığını gözlemlemişlerdir [36].

Konsantre güneş enerjisi, metalik malzemelerin yüzeylerini işlemek ve değiştirmek için diğer enerji türlerine bir alternatif sunar. 1993 yılında ETSII-UCLM'nin (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Ciudad Real-University of Castilla-La Mancha)

Metallic Materials grubu tarafından yürütülen bir çalışmada metalik malzemelerin yüzey modifikasyonu için fresnel lens kullanılmıştır. Avrupa'da ilk deneyler 1990'larda CENIM-CSIC'den (Ulusal Metalurji Araştırma Merkezi-Bilimsel Araştırma Yüksek Kurulu/İspanya) Prof. Vázquez liderliğindeki bir grup tarafından gerçekleştirildi. Yapılan araştırma, üç tip çeliğin ve bir küresel dökme demir parçasının martensitik dönüşümü yoluyla yüzey sertleştirmesinden oluşuyordu. Deneyler, bir heliostat alanı ve merkezi bir kuleden oluşan SSPS-CRS tesisi (Small Solar Power Systems), bir grup heliostat ve yönlü bir parabolik yoğunlaştırıcıdan oluşan Parabolik Güneş Fırını kullanılarak gerçekleştirildi. Sonuçlar, doğrudan güneş ışınımının en iyi koşulları altında, 30 ila 60 saniye ısıtma süreleri ile 1 ila 3 mm kalınlıkta homojen martenzitik tabakalar elde etmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Çalışma, Madrid'deki Instituto de Energías Renovables of CIEMAT'ta (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) bulunan 900 mm çaplı bir Fresnel lens kullanılarak tamamlandı [37,38].

Siores tarafından 1997 de PVC, PP, PE ve PS gibi termoplastiklerin işlenmesi için Konsantre Güneş Enerjisi (KGE) kullanımı incelenmiştir. Termoplastiklerin işlenmesi için geliştirilen KGE, 600°C'lik bir işleme sıcaklığıyla PP, PE ve PS gibi çeşitli termoplastiklerin birleştirilmesinde başarıyla kullanılmıştır [1].

1999 yılında J. Sánchez Olías ve arkadaşları ilk kez, bir fresnel lens tarafından konsantre edilen güneş enerjisi ile titanyum numunelerinin yüzeyini nitrojen atmosferinde ısıtarak titanyum nitrür filmler elde etmişlerdir. Sadece 2 dakika içerisinde fresnel lensler sayesinde 6 mm kalınlığında homojen, gözeneksiz TiN kaplamalar elde etmişlerdir [39].

2005 yılında Sierra ve Vazquez, kolay ve ucuz Fresnel lens kurulumuyla elde edilen KGE ile malzeme-yüzey modifikasyonları yapmışlardır. Yüksek ve çok yüksek sıcaklıklar (1500–2000K) birkaç saniye içinde elde edildiğinden, malzeme işlemlerini dakikalar içinde tamamlamışlardır [40].

2009 yılında Llorente ve Vazquez, çeliklerin yüzey ve kütle sertleştirmesi için 1000x yoğunlaştırma özelliğine sahip, uygun maliyetli, küçük ölçekli bir tesis olan 'Double Reflection Fresnel Lens' konsantre sistemini sunmuşlardır [41].

2010 yılında Herranz ve Rodriguez, eksantrik miline KGE uyguladılar ve çok daha büyük sertliğe sahip, ısıdan etkilenen daha küçük bir bölge elde ettiler. Onlar güneş enerjisi ile yüzey kaplama işleminin TIG ile elde edilen yüzeyden daha iyi olduğunu bulmuşlardır [42].

2011 yılında Alman endüstriyel tasarımcı Markus Kayser, enerji ve malzemenin bol miktarda bulunduğu çölün potansiyelini araştırmak için yaptığı bir çalışmada fresnel lensleri kullanarak odak noktasını bir kum kabına yönlendirmiştir. Fresnel lenslerin odaklanması sayesinde elde ettiği sıcaklıklarla silikalara tıpkı bir 3D yazıcı gibi katmanlı bir şekilde sinterleme işlemi yapmıştır. Odak noktası sıcaklığı 1400 ile 1600 °C arasındadır, yani silikaları sinterlemeye yetecek kadar yüksektir [43,44].

2014 yılında López-Delgado ve arkadaşları, alçıtaşının dehidrasyon işlemi için Fresnel lens kullanarak KGE'ni inceledi. 60 saniye güneşe maruz kalma ile 700°C sıcaklığa ulaşıldı [45].

Olca Kaan Çakır'ın 2019 yılında gerçekleştirdiği çalışmada ise fresnel lenslerin esnek ve maliyetlerinin silisyum güneş hücrelerine göre daha düşük olmasından faydalanmak amacı ile bir düzenek hazırlamıştır. Silisyum güneş hücresi ile gerçekleştirilen deney düzeneğinde yüzey alanı 32 cm² olan fresnel lense gelen ışık yoğunlaştırılarak 13,52 cm² yüzey alanı olan silisyum güneş hücresine gelen radyasyon miktarı yükseltilmiş, aynalar kullanılarak güneş hücresinin kendi yüzey alanı dışındaki ışığın da güneş hücresi üzerine yansıtılması sağlanmıştır. Deney sonuçlarına göre ayna ve fresnel lens destekli güneş hücresinin veriminin ve ürettiği gücün yükseldiği görülmüştür [46].

Bilim camiasının temel zorluklarından biri, özellikle enerji verimliliği ve çevre korumanın en önemli sosyal öncelikler haline geldiği mevcut bağlamda, güneş enerjisi teknolojisi için endüstriyel uygulamalar geliştirmek elzem bir hal almış olacaktır. Bu tez çalışması kapsamında fresnel lenslerin kaynak alanında kullanılabilmesi için yapılan deneylerde kaynakla birleştirilmek üzere PE numuneler kullanılmıştır. Günümüzde PE numunelerin kaynak işlemleri için sürtünme karıştırma kaynağı, ultrasonik kaynak yöntemleri gibi çeşitli kaynak yöntemleri mevcuttur.

Serkan Şelale 2006 yılında polietilen malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile tek taraflı ve çift taraflı birleştirmelerini yapmıştır. Kaynak işlemi sırasında, takım açısı ve takım ilerleme hızı olmak üzere iki farklı parametreyi incelemiş ve bu parametreler ile 5 mm kalınlığındaki PE plakalara tek taraflı ve çift taraflı iki tip alın kaynağı uygulamıştır. Tek taraflı yapılan kaynak işleminin 6 farklı çekme testi sonucunda, aritmetik ortalaması alındığında çekme dayanımını 6,508 MPa elde ederken, çift taraflı kaynak işlemi yapılan numunelerin 17 farklı çekme testi sonucunun aritmetik ortalamasında 16,081 MPa çekme dayanımı elde etmiştir. Yapılan bir diğer test ise eğme testidir. Eğme testlerini uygularken yüz ve kök eğme olmak üzere iki farklı eğme çeşidi uygulamıştır, tek taraflı yapılan kaynak için yüz ve kök eğme dayanımı değerlerinin aritmetik ortalamasını sırasıyla 5,458 MPa ve 17,872 MPa olarak elde etmişlerdir. Çift taraflı yapılan kaynak için yüz ve kök eğme dayanımı değerlerinin aritmetik ortalaması ise sırasıyla 14,466 MPa ve 14,764 MPa'dır [47].

İdris Karagörüzün 2014 yılında, 'Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri' adlı yüksek lisans çalışmasında, yüksek devirlerde ve CNC dik işleme tezgâhında, 6 mm kalınlığında PE ve PP türü termoplastik malzemelere sürtünme karıştırma kaynağı uygulamıştır. Yapılan deney sonucunda kaynaklı malzemelere mekanik, fiziksel ve ısıl deneyler uygulamıştır. Kaynak parametrelerine göre değişen sonuçlarla birlikte, eğme deneyi sonucunda % 131 – 55, çekme deneyleri sonucunda % 96 – 68,7 oranında kaynak performansı elde edilmiştir. Ayrıca kaynak işleminden sonra kaynak bölgesi üst yüzeyinde diğer bölgelere göre sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür [48].

4. MALZEME ve METOT

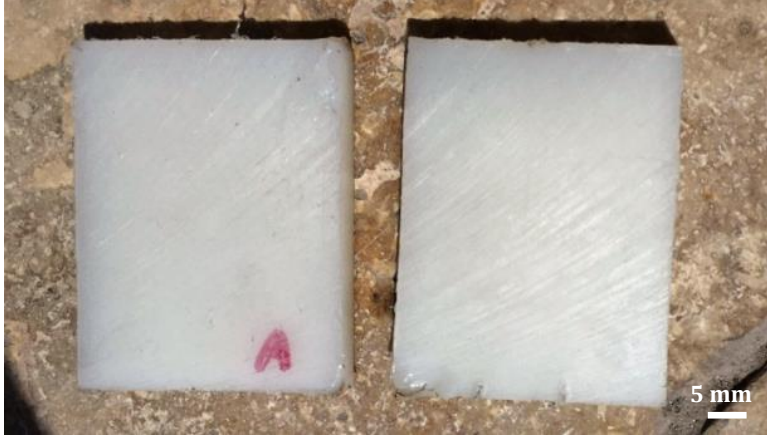
Tüm deneysel çalışmalar beş aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak PE numunelerin kaynak yapılabilmesi için kesilmiştir. Ardından A4 boyutunda olan fresnel lensleri kaynak yapabilecek hale getirebilmek için bir düzenek hazırlanmıştır. Daha sonra PE numuneler sadece güneş enerjisi ile fresnel lens kullanılarak kaynaklanmıştır. Kaynaklanan numuneler mekanik testler, termal testler ve metalografik incelemeler için uygun hale getirilmiştir. Son olarak uygulanacak testler için hazır hale getirilen numunelerin gerekli testleri yapılmıştır.

4.1. Malzeme

Deneyde kullanılan PE numunenin özelliklerini tayin etmek için kaynak işlemine tabii tutulmuş olan PE numunelere yapılan mekanik ve termal testler, kaynak işlemi yapılmamış ham PE numuneye de yapılmıştır. Resim 4.1’de kaynak işlemi öncesi PE numuneler verilmiştir. Yapılan testler sonucunda PE numunelerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunesi özellikleri

Çekme Dayanımı (N/mm ²)	16,29
Charpy Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	11,41
Sertlik (Shore D)	62,5
Vicat Yumuşama Sıcaklık Değeri (C°)	130,6



Resim 4.1. Kaynak öncesi PE numune

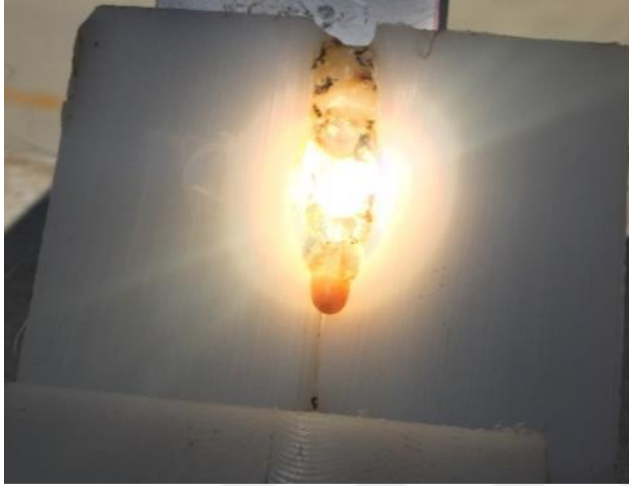
4.2. Fresnel Lens ile Kaynak İşlemi

Fresnel lensler diğer lenslerden farklı olarak güneş ışığını çok güçlü olarak odaklayabilme özelliğine sahiptir. Bu deneysel çalışmada PE numuneler kullanarak fresnel lenslerin odaklama özelliğini kaynak yapabilmek için kullanılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır. A4 boyutlarındaki fresnel lensleri PE numuneleri kaynak yapabilmesi için Resim 4.2 de gösterildiği gibi bir düzenek hazırlanmıştır.



Resim 4.2. Fresnel lens ile hazırlanan düzenek

Fresnel lensler ile kaynak yapılabilmesi için fresnel lenslerin güneş ışınlarını odakladıkları noktanın lenslere uzaklığı 45° lik açı ile 300 mm olarak tespit edilmiştir (Resim 4.4). Bu noktada güneş ışınlarının dağılmadan tek bir noktada toplandığı gözlenmiştir. Elde edilen bu odak noktasının sıcaklık değeri ölçülmüştür. Sıcaklık değerleri ve odak uzaklıkları belirlendikten sonra PE numuneler bu noktada sadece güneş enerjisinden faydalanarak Resim 4.3'de gösterildiği gibi eritilmiş ve ardından kaynatılmıştır.



Resim 4.3. PE numunenin erime anı



Resim 4.4. Fresnel lens ile kaynak işlemi

4.3. Kaynak İşlemi Sırasında Sıcaklık Ölçümü

A4 boyutundaki fresnel lensler ile elde edilebilecek sıcaklıkların ölçümü için Resim 4.5’de verilen Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Kimo markasının Kiray 300 infrared termometresi kullanılmıştır. Kullanılan bu termometrenin sıcaklık ölçüm aralığı $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $1850\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Termokupl girişi sayesinde odak noktasına temas ederek nokta üzerinde oluşan sıcaklık değeri ölçülmüştür.

Tez çalışmasının asıl amacı fresnel lensleri kullanarak sadece güneş enerjisi ile kaynak yapılabilirliği ortaya çıkarmak olduğu için özellikle yılın en sıcak zamanlarında ve öğle vaktinde ölçümler yapılmıştır. Thermokupl ile ölçülen değerlerde rüzgâr ve güneşin hareketi gibi çevresel faktörlerden dolayı değişiklikler meydana gelmiştir.



Resim 4.5. Kiray marka termokupl

4.4. Kaynak İşlemi Sırasında Güneş Enerjisi Ölçümü

Fresnel lensler sayesinde güneş enerjisinden faydalanarak kaynak işlemi yapabilmek için elde edilen sıcaklık değerinin hangi güneş ışınım değerinde sağlandığını tespit edebilmek için solarimetre kullanılmıştır. Solarimetre, güneş ışınlarının 1 m^2 'lik dik bir alana saniyede gelen güneş enerjisini ölçmeye yarar [49]. Resim 4.6’da Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan solarimetre olarak kullanılan Kimo markasının SL 100 Solarimetresi yer almaktadır.



Resim 4.6. Kullanılan Kimo marka solarimetre

4.5. Metalografik Test

4.5.1. Makro inceleme

Bir malzemenin metalografik özelliklerini incelemek için uygun mikroskopta, uygun büyütmede ve uygun bir numune ile inceleme yapılmalıdır [50]. Kaynaklanmış bir malzemenin makro incelemesini yapabilmek için kaynak bölgesinden numune alınmalıdır. Bu tez kapsamında PE numunelerin güneş enerjisi ile kaynak edilmesinin ardından kaynak bölgesinin incelenmesi için düşük büyütmelerde Leica marka Stereo Mikroskop ile metalografik muayene tabii tutulmuştur. FusionOptics özellikli stereo mikroskop, 2,0x objektif ile 1050 lp/mm'ye kadar çözünürlük ve maksimum alan derinliğine sahip görüntü sunabilir. Sistem 20,5:1 oranında yakınlaştırma ve 7,8x'ten 160x'e kadar büyütme özelliğine sahiptir [51].

Metalografik inceleme için kaynaklı numuneler ilk olarak testere ile kesilerek orta kısımlarından numune alınmıştır. Ardından metalografik inceleme esnasında daha iyi görüntü alabilmek için kesme işlemi sırasında oluşan çapaklardan numunelerin temizlenmesi için zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır. Daha sonra kesiti alınmış, yüzeyi temizlenmiş numuneler Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Resim 4.7'de verilen Leica marka mikroskopta 7,8x, 12,5x ve 50x büyütmelerde incelenmiştir.



Resim 4.7. Leica marka stereo mikroskop

4.6. Mekanik Testler

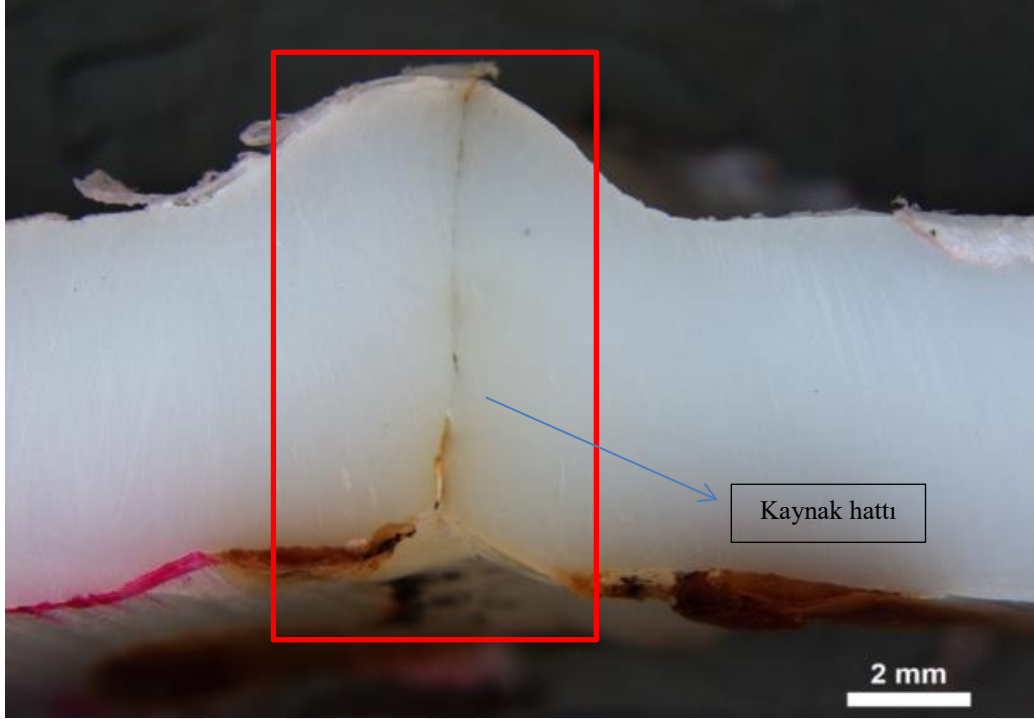
4.6.1. Sertlik testi

Sertlik, bir malzemenin deformasyona karşı göstermiş olduğu dirence verilen isimdir. Genel olarak, bir malzemenin başka bir malzemeye verdiği deformasyon sonucunda ana malzemede ne kadar az deformasyon oluşur ise malzemenin sertliği de o derece yüksektir denilebilir.

Shore Sertliği ise; Shore terimi plastik ya da esnek malzemelerin sertliğini ölçebilmek için kullanılan bir terimdir. Shore sertlik deneyinde, dalma ucunun malzemeye ne kadar nüfuz ettiği ölçülmektedir. Dalma ucu, standartlarda belirtilen bir yaylı sistem tarafından hareket ettirilir ardından batırılan malzemeye ne kadar az nüfuz etmiş ise malzemenin sertliği o kadar yüksektir. Polimer, kauçuk ve elastomer malzemelerinin sertlik değerlerini belirtmek için Shore değerlerinden yararlanılır. Teknik ürünlerde en çok Shore A ve Shore D terimleri kullanılmaktadır [52].

Fresnel lens ile yapılan kaynak işleminde kullanılan numunelerin ham maddesi PE'dir. Bu sebepten sertlik değerlerini ölçmek için Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Shore-D test cihazı kullanılmıştır. Ana malzeme ile kaynak sonrası malzemenin sertlik değerlerini karşılaştırabilmek için kaynak işleminin ardından numuneler hazırlanmıştır. Sertlik ölçümleri ASTM D2240

standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Kaynak işlemi yapılmış olan 5 adet numunenin her biri testere yardımı ile kesilerek kaynak kesitinden ve kaynaktan etkilenmeyen bölgeden değerler alınmıştır. Resim 4.8’de sertlik ölçümünün yapıldığı kaynak kesiti verilmiştir.



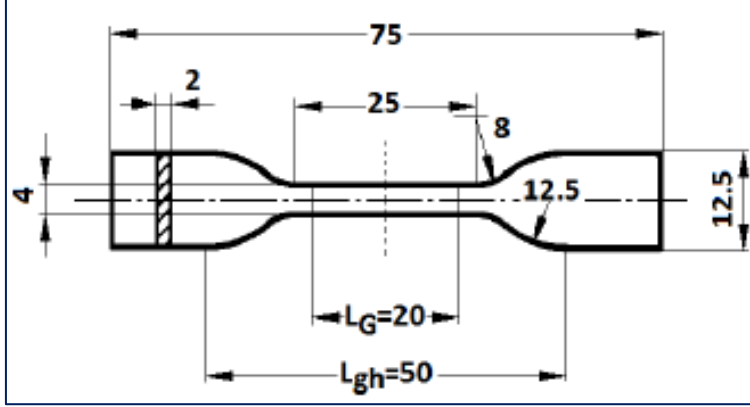
Resim 4.8. Sertlik testi için ölçüm yapılan kaynak kesiti bölgesi

4.6.2. Çekme testi

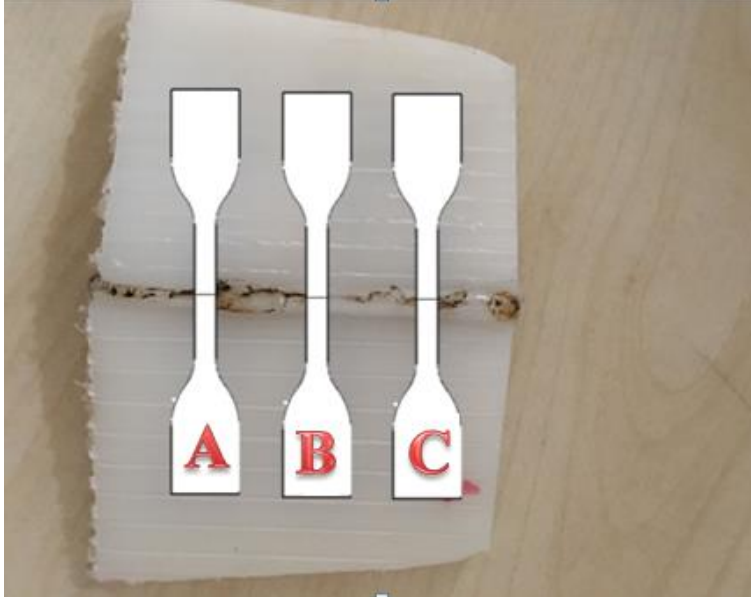
Çekme testi bir malzemenin mekanik özelliklerini belirlemede en sık kullanılan test yöntemlerinden biridir. Bir malzemenin ne kadar dayanıklı olduğunu ve kırılma gerçekleşmeden önce ne kadar esneyebileceğini öğrenebilmek için kullanılır. Bu test yöntemi, akma dayanımını, çekme dayanımını, sünekliği, tokluğu, gerinim sertleşme özelliklerini, Young modülü ve Poisson oranını belirlemek için kullanılır [53].

Bu tez çalışmasında çekme deneyleri ISO 527-2 Tip 5A standartlarına göre yapılmıştır. Test için Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Utest marka çekme cihazı kullanılmıştır (Resim 4.9). Testi gerçekleştirmek için 10 kN yük kullanılmıştır ve çekme çenelerinin hızı 10 mm/dk.’dır [54]. Ana malzemenin çekme testi için üçer adet kaynaksız numune hazırlanmıştır, kaynak sonrası çekme dayanımlarını ölçmek için kaynak işlemi yapılmış beş adet kaynaklı numuneden üçer adet

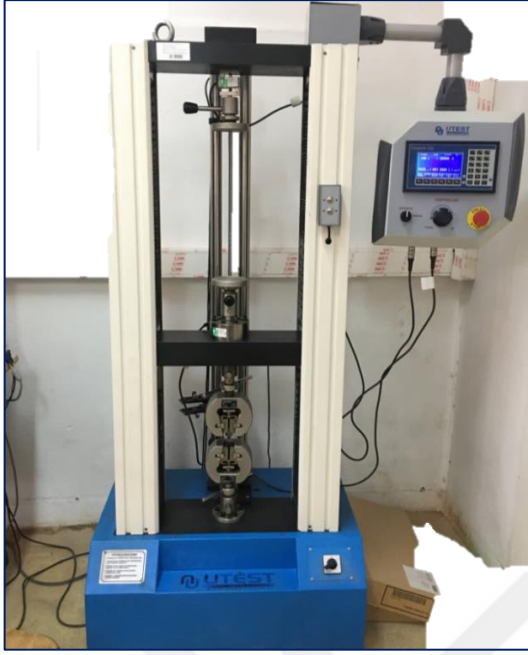
olmak üzere toplam 15 adet kaynaklı numune test için hazırlanmıştır. Çekme testleri için hazırlanan numunelerin ölçüleri Şekil 4.1’de verilmiştir [55]. Şekil 4.2’de ise fresnel lens ile kaynaklanmış numunelerin çekme testi için lazer kesim ile çıkarılan numunelerin yerlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.1. Çekme testi numunesi



Şekil 4.2. Kaynaklı malzemeden çıkarılan numunelerin şematik gösterimi



Resim 4.9. Utest marka çekme cihazı

4.6.3. Üç nokta eğme testi

Üç nokta eğme testi, bir malzemenin eğilmeye karşı gösterdiği direnci görmek için uygulanır. Eğme testleri için ISO 178 standardı baz alınmıştır. Kullanılan tüm numuneler standartlara uygun 80 mm. uzunluğunda hazırlanmıştır ve her bir numunenin boyutu 10x4x80 mm.'dir [56-58]. Ana malzemenin üç nokta eğme dayanımlarını test etmek için üçer adet numune hazırlanmıştır. Kaynak işlemi sonrasında üç nokta eğme dayanımlarını ölçmek için kaynak işlemi yapılmış beş adet kaynaklı numuneden üçer adet olmak üzere toplam 15 adet numune test için hazırlanmıştır.

Deneylede Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Instron 3369 test cihazı kullanılmıştır. Deneyde eğmeyi gerçekleştiren piston kafasının malzemeye basma hızı 50 mm/dak.'dır. Resim 4.10'da eğme testi için kullanılan test cihazı verilmiştir. Bu test işlemi için kullanılan eğme cihazı, bilgisayar kontrollü bir sisteme sahiptir. Eğme grafiklerini otomatik olarak çizebilen ve bu numunelerin her birine ait bilgiyi daha sonradan istenildiği takdirde kolaylıkla elde etmemizi sağlayan bir sistemdir. Uygun takım uçları kullanılarak cihaz hem eğme hem de çekme deneyleri için hazır hale getirilebilmektedir. Eğme deneyi için gerekli aparatların değişikliği cihaz üzerinde yapıldıktan sonra hazır hale getirilmiştir. Daha sonra hazırlanan numunelerin eğme işlemlerine başlamıştır.



Resim 4.10. Instron marka üç nokta eğme cihazı

4.6.4. Charpy darbe testi

PE numunelerin fresnel lensleri kullanarak güneş enerjisi ile kaynaklanmasının ardından ani bir kuvvet altındaki davranışlarını test edebilmek için charpy darbe deneyi yapılmıştır. Yapılan çalışmada ISO 179 standardına göre kaynaklı birleştirmelerden deney numuneleri hazırlanarak charpy darbe testine tabi tutulmuştur. Deney yöntemini uygulamak için Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan Resim 4.11'de verilen darbe çentik test cihazından yararlanılmıştır. Kaynaksız numunelerin charpy darbe dayanımlarını test etmek için üçer adet kaynaksız numune hazırlanmıştır. Kaynakla birleştirilen PE numuneleri test etmek için ise numunelerin her birinden üçer adet olmak üzere toplamda 15 adet kaynaklı test numunesi elde edilmiştir. Numuneler standartlara uygun olarak kaynaklı bölge tam ortaya gelecek şekilde 10x4x80mm boyutlarında hazırlanmıştır [59].



Resim 4.11. Charpy darbe test cihazı

4.7. Termal Testler

Termal analiz yöntemleri, farklı sıcaklıklar altında meydana gelen fiziksel, termodinamik, mekanik ve kimyasal değişiklikleri ölçmeye olanak sağlar. Önemli değişikliklerin ne zaman ve hangi sıcaklıkta meydana geldiğini belirleyebilmek için kullanılan termal testlerden Vicat yumuşama sıcaklık ölçümünü ve DTA (diferansiyel termal analiz) testlerini uygulayarak PE numunelerin güneş enerjisi ile kaynak edilmesinin ardından malzemede meydana gelen termal değişimlerin gözlenmesi hedeflenmiştir.

4.7.1. Vicat yumuşama sıcaklık ölçümü

Vicat yumuşama sıcaklığı testi, belirli bir yük altında düz uçlu bir iğnenin numuneye 1 mm derinliğe kadar girdiği sıcaklığı tayin etmeye yarar [60]. Vicat yumuşama sıcaklığı deneyi yağ banyosu, ucunda batma iğnesi olan bir batırma kolu ve batırma kolunun üzerinde yer alan iğnenin batma miktarını gösteren bir düzenekten oluşmaktadır [48]. Bu testi uygulamak için ISO 306 baz alınmıştır. Numuneler nispeten diğer testlere göre daha küçük boyutlardadır, numune ölçüleri 5x10x10mm'dir. Kaynaksız numunelerin vicat yumuşama sıcaklık değerini belirlemek için üçer adet kaynaksız numune test için hazırlanmıştır. Kaynaklı numunelerin vicat yumuşama sıcaklık değerini belirlemek için ise üçer adet olmak şartıyla toplamda 15 adet kaynaklı numune hazırlanmıştır.

Test için 10 N'luk bir kuvvet altında saatte 50°C'lik bir ısıtma hızı kullanılmıştır. Resim 4.12'de Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan vicat yumuşama sıcaklık ölçümünün belirlenmesi için kullanılan Devotrans marka cihaz verilmiştir.



Resim 4.12. Vicat yumuşama sıcaklığı ölçüm cihazı

4.7.2. DTA

Termal analiz yöntemleri sayesinde bir maddenin veya türevlerinin belirlenmiş bir sıcaklık programı altında özelliklerinde ortaya çıkan değişimler incelenir, tepkimede absorbe edilen veya ortaya çıkan ısı ölçülür. DTA, hal değişimi veya kimyasal reaksiyon sonrası ortaya çıkan enerji değişimlerinin yaygın olarak kullanılan termal analiz yöntemlerinden birisidir. DTA yöntemi, ısıtma veya soğutma esnasında, numune ve referans malzeme arasındaki sıcaklık farkının ölçülmesi esasına dayanır. Bu yöntemde, numune ve referans malzeme aynı koşullarda ısıtılır. Isıtma sırasında numunede oluşan hal değişimi veya kimyasal reaksiyon nedeniyle sıcaklığı değişir ve böylece aynı koşullarda ısıtılan referans malzemesinin sıcaklığı ile ΔT kadar bir sıcaklık farkı ortaya çıkar [61]. Meydana gelen bu sıcaklık farklılıkları sayesinde karşılaştırmalar yapılabilir. Resim 4.13'de Gazi Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan ve deneyde kullanılan Hitachi marka STA 7300 model test cihazı verilmiştir.



Resim 4.13. Hitachi marka STA 7300 model test cihazı



5. DENEYSEL SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere aşağıda yer verilmiştir.

5.1. Fresnel Lens Kullanılarak Elde Edilen Kaynak Sıcaklığı

Bu deneysel çalışmada A4 boyutunda fresnel lenslerden faydalanılarak güneş enerjisi ile PE malzemelerin kaynağı amaçlanmıştır. PE numunelerin kaynak işlemi sırasında termokupl ile ölçülen en yüksek sıcaklık değeri Resim 5.1’de verildiği gibi 1255°C olarak tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değeri fresnel lens boyutuna, odak uzaklığına, çevresel faktörlere ve güneşin hareketine bağlı olarak değişmektedir. Fakat PE numunelerin ortalama erime sıcaklığı 120-130 °C olduğu için kaynak işlemi sırasında erime açısından bir problem yaşanmamıştır. Alman endüstriyel tasarımcı Markus Kayser’in çölde fresnel lensler ile yaptığı çalışmada ise 1400-1600°C sıcaklıklara ulaşması da bu sıcaklıklara ulaşılabileceğini desteklemektedir [44].



Resim 5.1. Thermokupl ile sıcaklık ölçümü

5.2. Kaynak İşlemi Sırasında Güneş Enerjisi Ölçümü

Kaynak işlemi sırasında kullanılan güneş enerjisinin ölçümü için solarimetreden faydalanılmıştır. Ölçüm 16.09.2022 tarihinde saat 14:30'da yapılmıştır. Kaynak işlemi süresince yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değer Resim 5.2'de verildiği gibi 1100-1150 W/m² aralığında olmuştur.



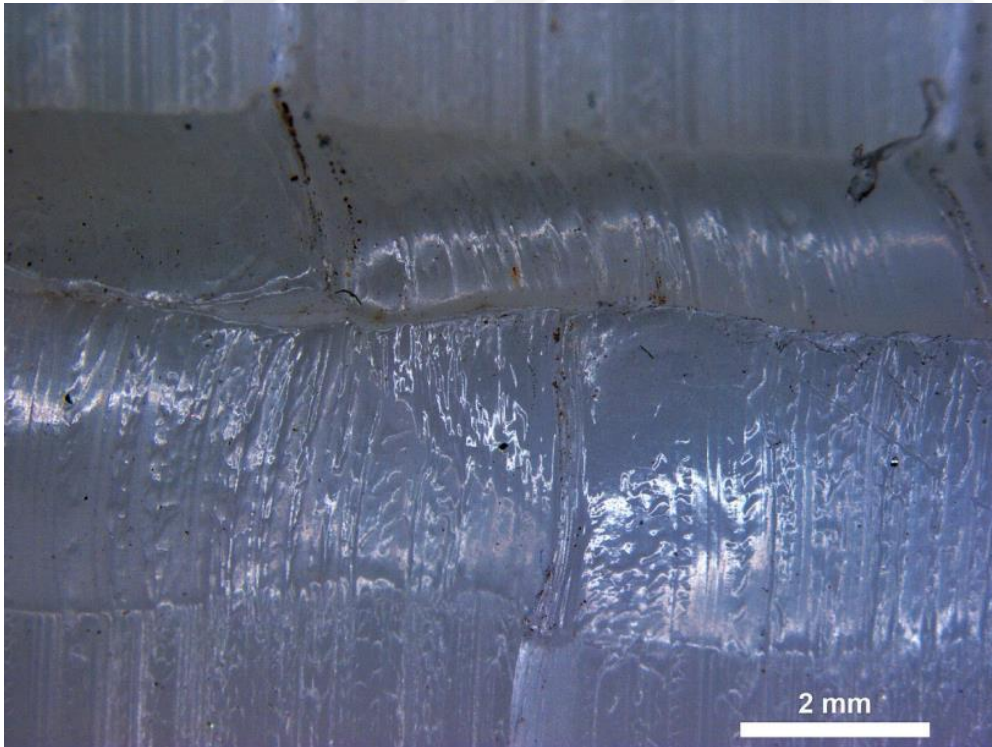
Resim 5.2. Solarimetre ile ölçüm

5.3. Makro Görüntüler

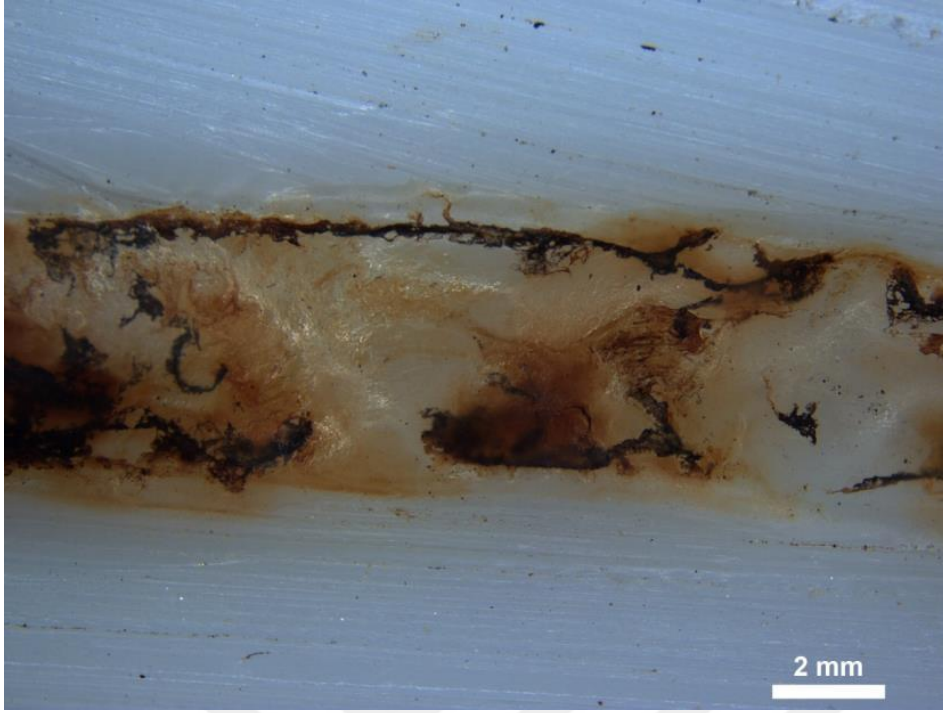
Kaynak işleminin ardından PE numunelerin incelenmesi için stereo mikroskop ile makro incelemeleri yapılmıştır. Güneş enerjisi ile kaynatılan PE malzemelerin kaynak bölgesinde yüksek ısı girdisinden kaynaklı ısıl bozunmaların olduğu görülmektedir. Resim 5.4 ve Resim 5.6'da 1 ve 2 numaralı numunelerin arka yüzleri verilmiştir. Resim 5.3 ve Resim 5.4'de gözlemlenen koyu bölgeler aşırı bozunma etkisinden kaynaklanmaktadır. Kaynaklı parçaların arayüzeylerinden alınan sertlik ölçümleri bu durumu destekler niteliktedir. Bozunma ile birlikte arayüzeyde oluşumu muhtemel düzensizlikler sertlik artışına neden olurken, çekme dayanımlarında da düşmeye neden olmuştur. Kaynak merkezinden uzaklaştıkça ısı girdisinin etkisi azaldığından dolayı sertlik, kaynak bölgesinde elde edilen değerlerden daha düşük değerlerde elde edilmiştir.



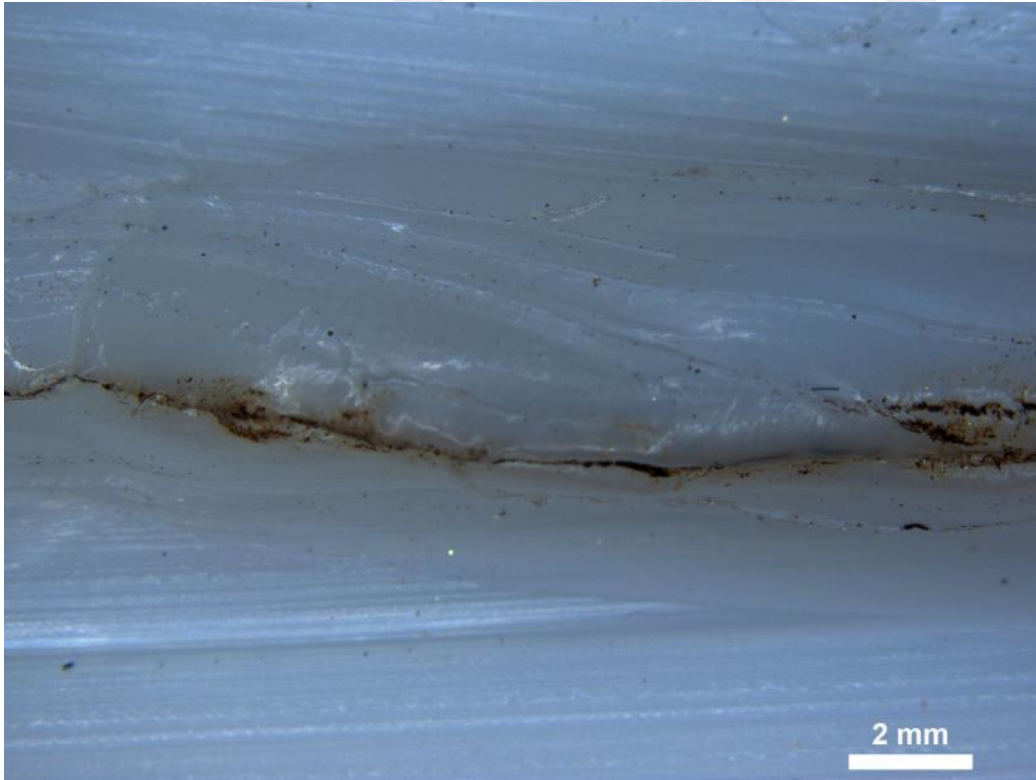
Resim 5.3. 1 numaralı numunenin kaynak bölgesi ön yüzü



Resim 5.4. 1 numaralı numunenin kaynak bölgesi arka yüzü

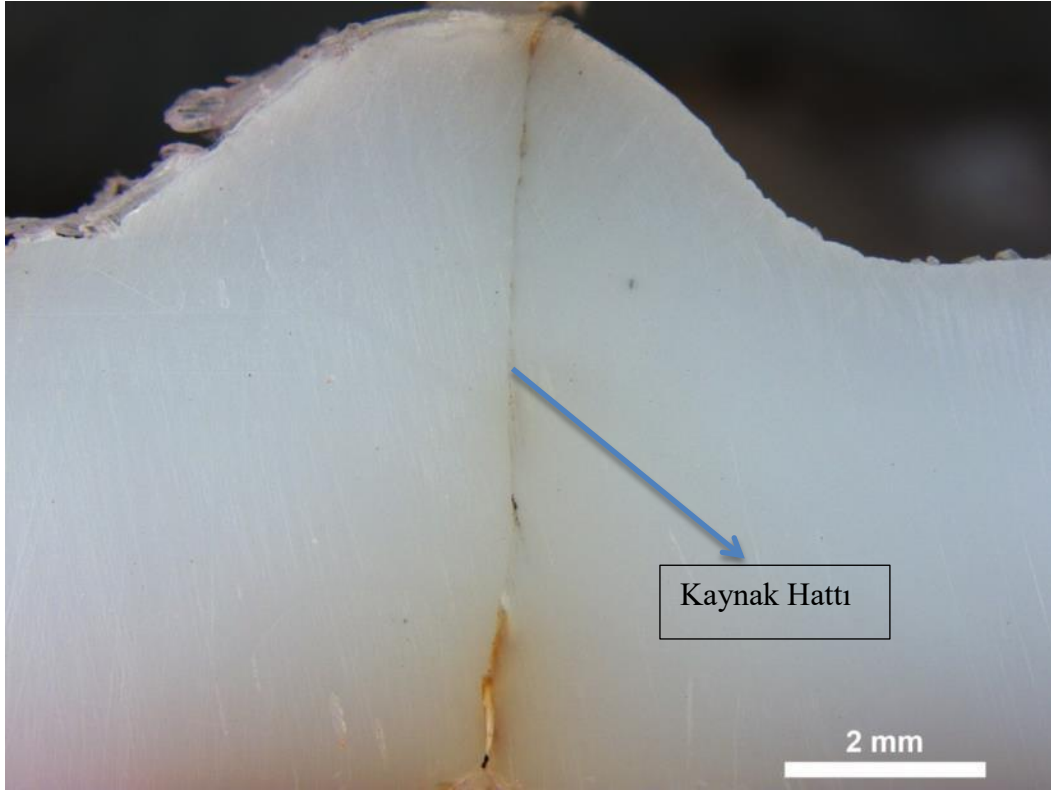


Resim 5.5. 2 numaralı numunenin kaynak bölgesi ön yüzü



Resim 5.6. 2 numaralı numunenin arka yüzü

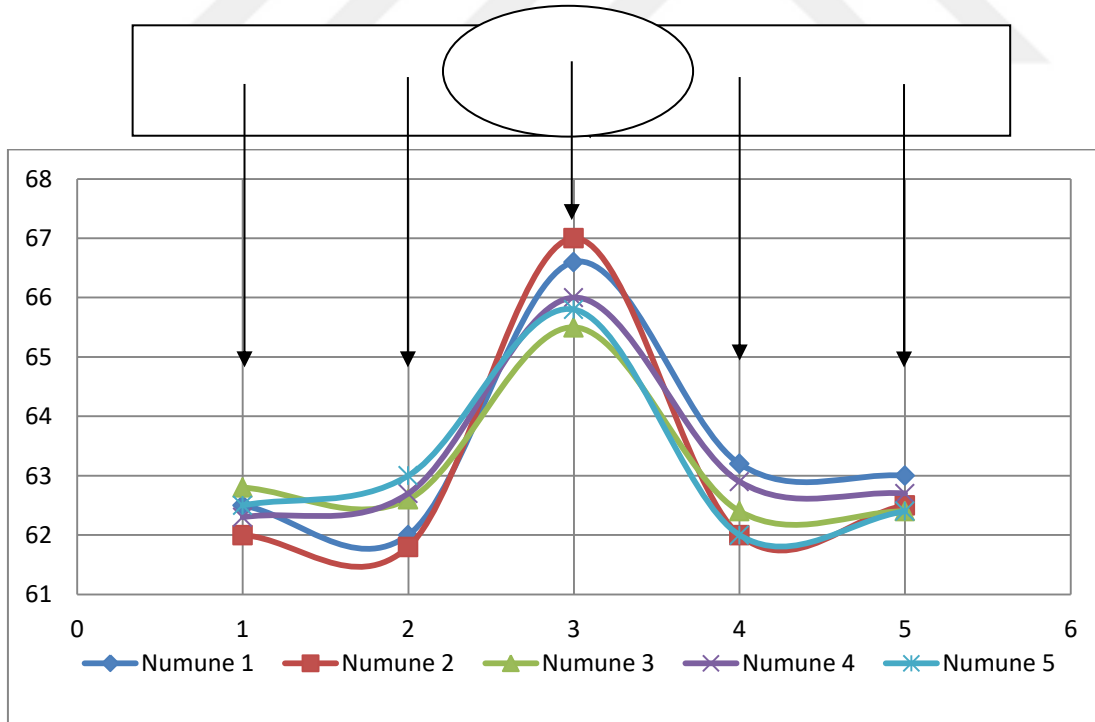
Resim 5.7’de Termoplastik malzemelerde camsı geçiş sıcaklığının üzerinde yapılan sıcak işlemlerde zayıf kovalent bağa sahip polimer zincirlerinde artan sıcaklıkla beraber bozunma oranının da arttığı görülmektedir. Arayüzeyde meydana gelen erimenin etkisiyle serbest hacimde artış olmaktadır. Serbest hacimdeki artış arayüzeyde zincir etkileşimini arttırmakta ve polimer zincirleri bakımından daha yoğun bir arayüzeyin oluşmasına da neden olabilmektedir.



Resim 5.7. 3 numaralı numunenin kaynak bölgesinin kesit görüntüsü

5.4. Sertlik Testi Sonucu

Sertlik testi için Shore D test cihazı kullanılmıştır. Yapılan testte kaynaklanmamış PE numunenin sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında 62,5 Shore D tespit edilmiştir. Kaynaklı numunelerin ortalama sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında ise 66 Shore D değeri tespit edilmiştir. Kaynaklanmış numunelerin kaynak bölgesinde yapılan on farklı bölgedeki ölçüm sonuçlarının ortalama sertlik değerleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Adnan Akkurt ve İbrahim Ertürk’ün ‘Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması’ üzerine yaptıkları çalışmada PE boruların kaynak sonrası birleştirme bölgesi ve çevresinde malzeme sertliğinde bir artış gözlemlediklerini belirtmişlerdir [62]. Bu çalışma sonucunda yapılan ölçüm sonuçlarına baktığımızda da kaynaklanmamış numune ile kaynaklanmış numunelerin sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu fakat kaynak bölgesinde artış olduğu görülmüştür. Bu değişikliğin birleşme bölgesindeki zincir yapıda meydana gelen değişikliğe bağlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.1. Ortalama sertlik değerlerinin şematik gösterimi

5.5. Çekme Testi Sonucu

Çekme testi için kaynak işlemi yapılmamış ana malzemeden alınan numunelerin çekme dayanımları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ana malzemeye yapılan çekme testi sonuçlarının aritmetik ortalaması $16,29 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Kaynak ile birleştirilmiş numunelerin çekme dayanımı değerlerinin ortalaması ise $9,85 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Kaynak işlemi ile birleştirilmiş PE numunelere yapılan çekme testlerinin sonuçları her numunenin aritmetik ortalaması alınarak Çizelge 5.2’de verilmiştir.

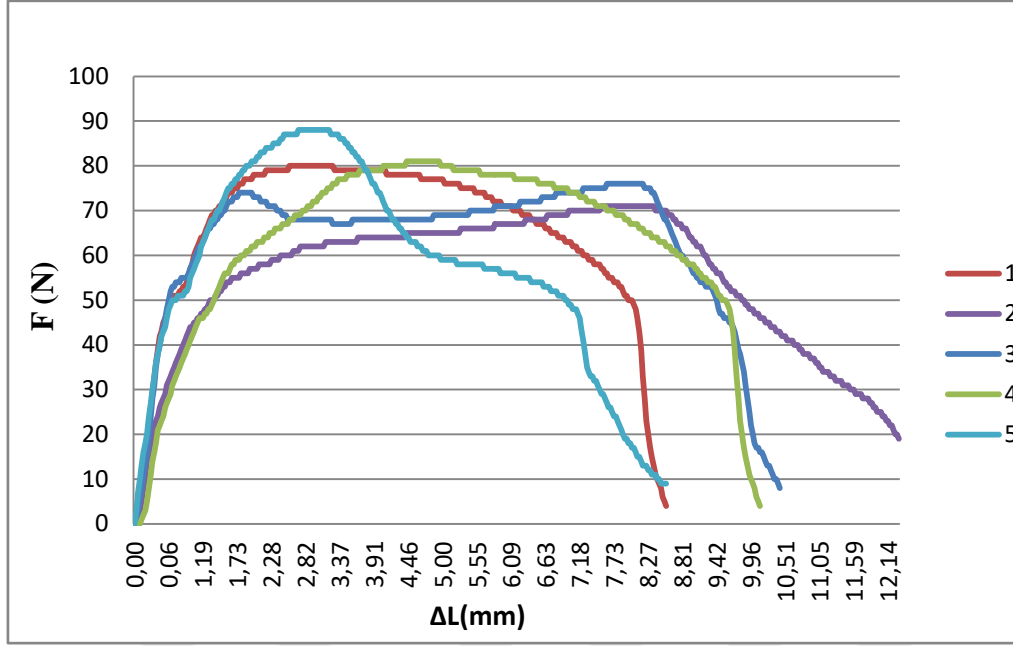
Çizelge 5.1. Kaynaksız çekme numunesi değerleri

Numune	Max yük(N)	Çekme Dayanım(N/mm ²)
1	116	14,5
2	136	17
3	139	17,37
Ortalama		16,29

Çizelge 5.2. Kaynaklı numunelerin ortalama çekme dayanımı değerleri

Numune	Max yük (N)	Çekme Dayanım(N/mm ²)
1	80	10
2	71	8,87
3	76	9,5
4	88	11
5	79	9,87
Ortalama		9,84

Bu çalışma kapsamında, dördüncü bölümde verilmiş olan (Bkz. Şekil 4.2) kaynaklı malzemeden alınan çekme numunelerinin tam ortasından çıkarılan ‘B’ kodlu numunelerin çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması ise Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Kaynaklı parçaların “B” kodlu numunelerinin yük/uzama değerleri

Hem ana malzemeye hem de kaynaklı numunelere ait çekme değerleri incelendiğinde, birbirlerine yakın değerler elde edildiği görülmektedir. PE malzemelerden dayanım özelliklerinden daha çok sızdırmazlık veya ekonomik bağlantı beklendiği düşünüldüğünde çekme değerlerinin herhangi bir olumsuzluk oluşturmadığı düşünülmektedir. Sadece güneş ışığından yararlanılarak elde edilen bağlantının ana malzemeye yakın çekme değerleri sunması çalışmaların verimli olduğunu göstermektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde Serkan Şelale'nin yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında, kullandığı PE ana malzemesinin 23,647 MPa olduğunu belirtilmiştir. Tek taraflı yapılan sürtünme karıştırma kaynak işleminin 6 farklı çekme testi sonucunun aritmetik ortalaması alındığında ise çekme dayanımı değerinin 6,508 MPa olduğu gözlenmiştir, çift taraflı kaynak işlemi yapılan numunelerin 17 farklı çekme testi sonucunun aritmetik ortalaması alındığında 16,081 MPa elde edilmiştir [47]. Serkan Şelale'nin yapmış olduğu çalışmada sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş PE malzemeler ile ana malzemenin kaynak sonrası çekme değerlerinde fark olduğu ve tek taraflı alın kaynaklı numunenin çekme değerinin ana malzemeye oranla %72,478'lik bir azalma ve çift taraflı alın kaynağında ise %31,995'lik bir azalma olduğu görülmektedir.

Serkan Şelale'nin uygulamış olduğu SKK sonrası çekme testi sonuçları ile fresnel lensler ile yapılan kaynak sonrası çekme testi değerleri karşılaştırıldığında ise fresnel lensler ile sadece güneş enerjisi kullanılarak yapılan kaynak sonucunda ana malzemenin çekme testi

değerinden %39,533'lük bir düşüş mevcuttur. Bu da bize sürtünme karıştırma kaynağında tek taraflı SKK uygulamasından çok daha iyi sonuç verdiğini, çift taraflı SKK ile de yakın değerler elde edildiği göstermiştir.

5.6. Üç Nokta Eğme Testi Sonucu

Kaynaklı numunelerin ortalama eğme dayanımı değeri ise 24,634 MPa olarak belirlenmiştir. Kaynak işlemi görmüş numunelerin ortalama eğme dayanımı değerleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kaynaklı numunelerin ortalama eğme dayanımı değerleri

Numune	Eğme Gerilmesi (MPa)
1	25,678
2	27,969
3	26,628
4	18,585
5	24,314
Ortalama	24,634

Serkan Şelale yüksek lisans çalışmasında, PE malzemelere uyguladığı SKK işleminin ardından kaynaklı malzemelere çekme testinin yanı sıra üç nokta eğme testi de yapmıştır. Üç nokta eğme testini yüz eğme ve kök eğme olarak iki şekilde yapmıştır. Yapmış olduğu çalışma sonucunda tek taraflı SKK uygulanan numunelerin eğme dayanımı değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında yüz eğme değeri ortalama 5,458 MPa iken kök eğme dayanımı değerini ortalama 17,872 MPa olarak belirlemiştir.

Şelale, yapmış olduğu çalışmada bir de çift taraflı SKK uygulaması ardından kaynaklanmış numunelerin yine aynı şekilde yüz ve kök eğme testlerini yapmıştır. Çift taraflı SKK sonrası yüz ve kök eğme dayanımı değerleri sırası ile 14,466 MPa ve 14,764 MPa'dır [47].

Bu tez çalışmasında fresnel lensleri kullanarak yapılmış olan kaynaklı birleştirme sonrasında, üç nokta eğme deneyi sonuçları incelendiğinde değerlerin SKK sonrası elde edilen eğme gerilmesi değerlerinden daha yüksek değerler olduğu görülmektedir. Üç nokta eğme deneyi sonuçları incelendiğinde değerlerin birbirine yakın fakat 4 numaralı numuneden alınan kaynaklı numunelerin daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak da direkt güneş ışığından faydalanılarak yapılan birleştirmede istikrarlı bir ilerleme olamaması ve ışık kaynağından yeteri kadar yararlanılamamış olmasına bağlı olarak bazı bölgelerde yetersiz erime varken, bazı bölgelerde ise yanmalara bağlı homojensizliklerin olduğu düşünülmektedir. Bu da bağlantının mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir.

5.7. Charpy Darbe Testi Sonucu

Charpy darbe testi için ana malzemeden alınan üç adet numunenin ortalama darbe enerjisi 11,41 kJ/m² elde edilmiştir. Çizelge 5.4'de kaynaklı birleştirme sonrasında 5 farklı numuneden üçer adet alınarak yapılan test sonucunda, elde edilen charpy darbe testinin sonuçlarının ortalama değerleri verilmiştir. Kaynaklı numunelerin test sonuçlarının aritmetik ortalaması alındığında 8,808 kJ/m² değeri elde edilmiştir. Ana malzemenin ile kaynaklı numune karşılaştırıldığında %22,804'lük bir düşüş olduğu görülmektedir. Sadece güneş enerjisinden faydalanarak yapılan kaynak sonucunda charpy darbe dayanımı değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

Darbe testi, kırılmaya karşı direncin bir ölçüsünü sağlamak ve ayrıca sıcaklık veya darbe hızı değişimi ile kırılma yapısından sünek yapıya geçişi tahmin etmek için kullanılır. Kaynak işleminden sonra kaynak bölgesindeki sertlik artışıyla beraber kaynak bölgesinin gevrek kırılma ile kırılmasından anlaşılacağı gibi charpy darbe dayanımındaki düşüş beklenen bir durumdur [63].

Çizelge 5.4. Kaynaklı numunelerin ortalama Charpy darbe dayanımı değerleri

Numune	Charpy Darbe Dayanımı (kJ/m ²)
1	8,73
2	8,64
3	9,10
4	8,52
5	9,05
Ortalama	8,808



Resim 5.8. Charpy darbe testi sonrası kaynaklı numunede kırılma bölgesi

Resim 5.8’de verilmiş olan kaynak sonrası PE numuneye yapılan charpy darbe testi sonucunda malzemenin kırılma yüzeyi incelendiğinde gevrek kırılma ile kırıldığı gözlenmektedir bu da bize ana malzeme ile kaynak sonrası charpy testi yapılan numunelerin arasında oluşan %22,804’lük düşüşü açıklamaktadır.

5.8. Vicat Yumuşama Sıcaklık Ölçümü Sonucu

Termoplastik malzemelerin katı halden sıvı hale geçerken net bir erime sıcaklıkları yoktur. Bu sebeple erime sıcaklığı yerine Vicat kullanılmaktadır. Standart batma ucunun yük altında fresnel lens ile birleştirilmiş test numunesine 1 mm battığı sıcaklık vicat sıcaklığı olarak kayıt edilmiştir.

Ana malzemenin vicat yumuşama sıcaklık değerini tespit etmek için üçer adet numune teste tabi tutulmuştur ve ana malzemenin vicat yumuşama sıcaklık değeri ortalama olarak 130,6°C olarak belirlenmiştir.

Kaynaklı numunelerden alınan vicat yumuşama sıcaklık değeri verilerinin aritmetik ortalaması ise 132,74 °C olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.5’de kaynaklı numunelerin ortalama vicat yumuşama sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kaynaklı numunelerin vicat yumuşama sıcaklık değerleri

Numune	Değer (°C)
1	132,7
2	133,4
3	132,5
4	133,2
5	131,9
Ortalama	132,74

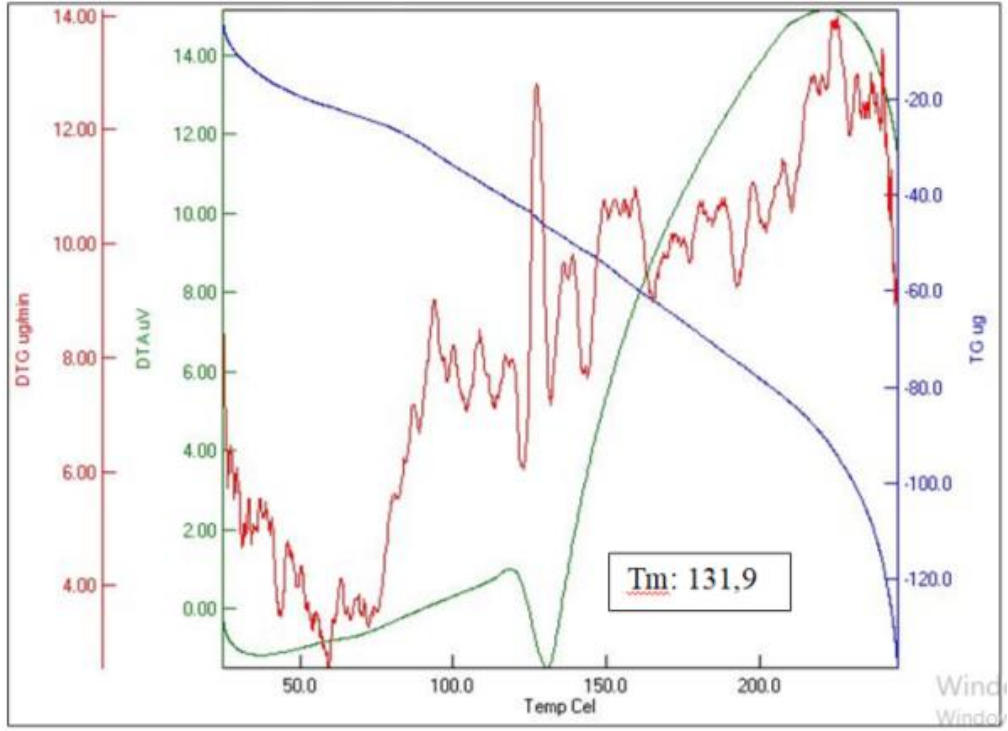
Vicat yumuşama sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında kaynaklı numunelerin Vicat yumuşama sıcaklıklarının ortalama 2,14°C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan sıcaklık ile birlikte PE malzemede birleştirme bölgesinde meydana gelen fibril yönelmeleri, mikroyapı, kristal lamel kalınlıkları ve kristallenme oranlarına bağlı olarak vicat yumuşama sıcaklık değerinin arttığı düşünülmektedir.

İdris Karagözün yapmış olduğu doktora tezi çalışmasında PE numuneye uygulanan SKK sonrasında vicat yumuşama testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonucunda PE numunenin vicat yumuşama sıcaklık değerinin bizim çalışmamıza benzer şekilde 2-4 °C arttığı gözlenmiştir [48].

5.9. DTA Sonucu

Fresnel lensler ile yapılan kaynak sonrasında malzemenin termal analizleri için gerekli olan bir diğer test olarak da DTA yapılmıştır. DTA erime piklerinin analiziyle, güneş enerjisi ile birleştirilmiş örneklerin erime davranışları incelenmiştir. DTA sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde tıpkı vicat yumuşama sıcaklığı testinde elde edilen değerlere benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 5.3'de verilen DTA grafiğinde kaynaklı bağlantının erime sıcaklığı (T_m) 131,9 °C'olarak ölçülmüş, ana malzemenin erime sıcaklığı ise yine vicat yumuşama sıcaklık testini destekler nitelikte 130 °C'olarak ölçülmüştür. Her iki termal test incelendiğinde güneş enerjisi ile PE kaynak işleminin ardından kaynak bölgesinde yapılan termal testlerde artış gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak yüksek sıcaklıklarda uygulanan birleştirme işlemi sonrası, birleştirme bölgesinin yavaş soğuması ve buna bağlı olarak kristallenme oranındaki artışın erime sıcaklığını etkilemesi beklenen bir durumdur [48].



Şekil 5.3. Kaynaklı numunenin TG/DTG/DTA eğrisi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında sadece güneş enerjisi ve fresnel lenslerin özelliklerinden yararlanılarak PE malzemelerin birleştirilebilme özelliği incelenmiştir. Bu çalışma bu alanda yapılan ilk çalışma olması sebebiyle alanında öncü bir çalışma olmuştur. Kurulan düzenek A4 boyutlarında el ile açısı ayarlanabilen fresnel lensten ibarettir. İlerleme sadece el yardımıyla yapılmıştır. Bu sebeple bu çalışma daha çok bir alt yapı çalışması olmuştur. Elde edilen deney sonuçları bu alanda bize yeni çalışmaların olup olmayacağı hakkında bilgiler vermiştir.

Yapılan tez çalışmasında kaynaklı numuneye uygulanan test sonuçlarını genel olarak sıralayacak olursak;

- PE numunelerin fresnel lens ile kaynak işlemi sırasında thermokupl ile ölçülen en yüksek sıcaklık değeri 1255°C olarak tespit edilmiştir.
- Solarimetre ile yapılan ölçüm sonucunda elde edilen değer 1100-1150 W/m² aralığında olmuştur.
- Shore sertlik testi sonuçları karşılaştırıldığında ana malzeme ortalama 62,5 Shore D iken kaynaklı numune ortalama 66 Shore D sertliğe sahiptir
- Ana malzemeye yapılan çekme testi sonuçlarının aritmetik ortalaması 16,29 N/mm² elde edilmiştir buna karşın fresnel lensler ile yapılan kaynak sonrasında çekme testi sonuçlarının aritmetik ortalaması alındığında 9,85 N/mm² elde edilmiştir. Bu değer %39,533'lük bir düşüğe tekabül etmektedir.
- Kaynaklı numunelerin ortalama eğme dayanımı değeri ise 24,634 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer literatürdeki polietilene uygulanan SKK sonrası eğme dayanımı değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.
- Charpy darbe testi için ana malzemedan alınan üç adet numunenin ortalama darbe enerjisi 11,41 kJ/m² elde edilirken %22,804'lük bir düşüşle kaynaklı numunelerin charpy darbe dayanımlarının ortalaması 8,808 kJ/m²'dir.
- Vicat yumuşama sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında ise kaynaklı numunelerin Vicat yumuşama sıcaklıklarının ortalama 2,14°C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tüm mekanik deneyler incelendiğinde elde edilen değerlerin ana malzeme ile birbirlerine yakınlık gösterdiği fakat daha alt değerler olduğu tespit edilmiştir. Burada elde edilen değerlerin, sistemde ilerlemenin el ile yapıldığı için homojen olmaması ve fresnel lensimizin boyutlarının sınırlı olması etkin rol oynamıştır.

Ayrıca Ankara’da belirli saatlerde ve güneşin net olarak yakalandığı saatlerde sınırlı olarak çalışabildiğimiz için bazı güneş enerjisi değerlerinin devamlılığı yetersiz olmuştur. Fakat elde edilen mekanik test değerlerinin ana malzeme değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Deney düzeneğinin tam otomatik kurulması ve yazılımlarla desteklenmesi halinde elde edilen verilerin daha yüksek ve istenilen düzeyde olacağı düşünülmektedir.

Yapılan tüm deneyler, analizler ve değerlendirmeler sonucunda termoplastik malzemelerin sadece güneş ışığından faydalanılarak fresnel lens yardımı ile birleştirilebildiği tespit edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları da bu tezi destekler niteliktedir. Bu çalışmanın bir sonraki adımı olarak, daha büyük lens yardımı ile tam otomatik bir sistem içinde yazılımlardan faydalanarak yapılması planlanmaktadır.

Bu tez çalışması tamamen yenilenebilir bir enerji kaynağı kullanarak güneş enerjisiyle çalışan kaynak girişimlerinin uygulanabilirliğini kanıtlarken, daha temiz bir enerji üretimi biçimine güvenebileceğinin önemini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Pushkaraj, D., Sonawane, V. and Bupesh Raja K. (2020) Concentrated solar energy in materials processing, *International Journal of Ambient Energy*, 41(10), 1201-1207.
2. Romero, A., García, I., Arenas, M.A., López, V. and Vázquez, A. (2013) High melting point metals welding by concentrated solar energy, *Solar Energy*, 131-143.
3. Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., and Gonçalves, A. M. M. (2019). Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known?. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 72.
4. Bucci, K., Tulio, M., & Rochman, C. M. (2020). What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review. *Ecological Applications*, 30(2).
5. Rodriguez, F. (February 2023). *Plastic, Encyclopedia Britannica*. Web: <https://www.britannica.com/science/plastic> Erişim Tarihi: 06.04.2023.
6. Warner, K. J. (2017). In the time of plastic representation. *Film Quarterly*, 71(2), 32-37.
7. Johnson, T. (December 2019) What Is a Polymer? Web: <https://www.thoughtco.com/what-is-a-polymer-820536> Erişim Tarihi: 05.04.2023.
8. Depledge, M. H., Galgani, F., Panti, C., Caliani, I., Casini, S., and Fossi, M. C. (2013). Plastic litter in the sea. *Marine Environmental Research*, 279-281.
9. National Research Council. (1994). *Polymer Science and Engineering: The Shifting Research Frontiers*. Washington, DC: The National Academies Press.
10. Preston, J., Gent, A.N., Kauffman, G.B., Stevens, M.P., Bierwagen, G.P. and Rodriguez, F. (August 2022). Major industrial polymers. *Encyclopedia Britannica*. Web: <https://www.britannica.com/topic/industrial-polymers-468698> Erişim Tarihi: 09.04.2023.
11. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (March 2023). Polyethylene. *Encyclopedia Britannica*. Web: <https://www.britannica.com/science/polyethylene> Erişim Tarihi: 09.04.2023.
12. Patel, R. M. (2016). Polyethylene. *Multilayer Flexible Packagin,g* 17-34.
13. Rogers, T., (2015) *Everything You Need To Know About Polyethylene (PE)*. Web: <https://www.creativemechanisms.com/blog/polyethylene-pe-for-prototypes-3d-printing-and-cnc> Erişim Tarihi: 10.04.2023.

14. Wright, T. M. (2005). Polyethylene in knee arthroplasty: what is the future?. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 141-148.
15. Kou, S. (2003). Welding metallurgy. *New Jersey, USA*, 431(446), 223-225.
16. Spindler, D. E. (1994). What industry needs to know about friction welding. *Welding Journal, Miami*, 73(3).
17. Sild, S., (2022) *Welding – 12 Types Explained*. Web: <https://fractory.com/types-of-welding-processes/> Erişim Tarihi: 13.04.2023.
18. Baylan, O., (2015), *Kaynak nedir?* Web: <https://www.metaluzmani.com/kaynak-nedir/> Erişim Tarihi: 13.04.2023.
19. Weman, K. (2011). *Welding processes handbook*. Elsevier.
20. Messler Jr, R. W. (2008). Principles of welding: processes. *Physics, Chemistry, and Metallurgy*.
21. Singh, R., Kumar, R. and M.S.J. Hashmi, (2017) Friction Welding of Dissimilar Plastic-Based Material by Metal Powder, Reinforcement, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier.
22. Podržaj, P., Jerman, B., and Klobčar, D. (2015). Welding defects at friction stir welding. *Metallurgija*, 54(2), 387-389.
23. Li, D. and Xia, Y. (2004). Welding and patterning in a flash. *Nature Materials*, 3(11), 753-754.
24. Lipson, A., Lipson, S. G., and Lipson, H. (2010). *Optical physics*. Cambridge University Press.
25. Woodford, C., (2021) Lenses Web: <https://www.explainthatstuff.com/lenses.html> Erişim Tarihi: 12.04.2023.
26. Enrera, R., (2022) Lens in Physics: Overview and Refraction, What is a Lens? Web: <https://study.com/academy/lesson/lens-physics-overview-refraction.html>. Erişim Tarihi: 15.04.2023.
27. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022). Lens. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/lens-optics> Erişim Tarihi: 01.04.2023.
28. Soykuvvet, H., (2015). *İki Yönlü Yanal Etki Algılayıcı Optik Sistem Tasarımı ve Bu Sistemin Operasyonel Kullanımı ile Işıma Kaynaklarının Konumlarının Bulunması*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-5.
29. Aniçin, B. A., Babović, V. M. and Davidović, D. M. (1989). Fresnel lenses. *American Journal of Physics*, 57(4), 312-316.

30. Paschotta, R., (2008) Fresnel lenses, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, Web: https://www.rp-photonics.com/fresnel_lenses.html Erişim Tarihi: 11.04.2023.
31. Egger, J. R. (November 1979). Use of Fresnel lenses in optical systems: some advantages and limitations. In *Optical Systems in Engineering I*, 63-69.
32. Valette, S., Morque, A. and Mottier, P. (1982). High-performance integrated Fresnel lenses on oxidised silicon substrate. *Electronics Letters*, 13-15.
33. Leutz, R., Suzuki, A. (2001). *Nonimaging Fresnel lenses: design and performance of solar concentrators*, Springer Science & Business Media.
34. Yılmaz, E., (2019), Fresnel Lens. Web: <https://www.aydinlatma.org/fresnel-lens.html> Erişim Tarihi:16.04.2023.
35. Yang, Z., Wang, J., Wang, W. and Song, J. (2019). Realization of high flux daylighting via optical fibers using large Fresnel lens. *Solar Energy*, 183, 204-211.
36. Fattah, A., Kaddou, K. and Abdul-Latif, A., (1969) The feasibility of joining metal using a solar furnace, *Solar Energy*, 12(3), 377-378.
37. Rodriguez, G.P., Vazquez, A.J., and de Damborenea J.J. (1993), Steel hardening with high energy density beams in solar facilities, *Materials & Design*, 14(3), 169-174.
38. Herranz, G. and Rodríguez, P.G., (2010). Uses of Concentrated Solar Energy in Materials Science, *Solar Energy*. InTech, 145-170.
39. Sanchez Olias, J., Garcia, I. and Vazquez, A.J. (1999). Synthesis of TiN with Solar Energy Concentrated by a Fresnel Lens, *Materials Letters* 38, 379–385.
40. Sierra, C., and Alfonso J. Vazquez. (2005). High Solar Energy Concentration with a Fresnel Lens, *Journal of Materials Science* 40, 1339-1343.
41. Llorente, J., and Alfonso J. Vazquez. (2009). Solar Hardening of Steels with a New Small Scale Solar Concentrator, *Materials Chemistry and Physics* 118, 86-92.
42. González, F.D., Ruiz-Bustinza, I., González-Gasca, C., Noval, J. P., Mochón-Castaños, J., Sancho-Gorostiaga, J., and Verdeja, L. F. (2018). Concentrated solar energy applications in materials science and metallurgy. *Solar Energy*, 170, 520-540.
43. Etherington, R. (June 2011). The Solar Sinter by Markus Kayser. Web: <https://www.dezeen.com/2011/06/28/the-solar-sinter-by-markus-kayser/> Erişim tarihi: 14.04.2023
44. Kayser, M. (2011). Solar Sinter Project. Master's Dissertation, *Royal College of Art*.

45. Padilla, I., A. Lopez-Delgado, S. Lopez-Andres, Alvarez, M., Galindo, R., and Alfonso J. Vazquez. (2014). The Application of Thermal Solar Energy to High Temperature Processes: Case Study of the Synthesis of Alumina from Boehmite, *The Scientific World Journal*, 1-8.
46. Çakır, O.K., (2019). *Fresnel Lens ile Optimize Edilmiş Silisyum Güneş Panelinin Elektrik Üretim ve Çalışma Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 84-85.
47. Şelale, S., (2006). *Polietilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 52-87.
48. Karagöz, İ., (2014). *Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
49. Abuşka, M., (2014). *Güneş Enerjisi*, 19 Mayıs Üniversitesi Ders Notları, Samsun.
50. Yasan, Ö.B., (2020). *Metalografik Malzeme Muayenesi*, Erciyes Üniversitesi Ders Notları, Kayseri.
51. Goeggel, D., Kiper, D., Schue, A. (June 2023) What is the FusionOptics Technology? Web: <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/applied/fusionoptics-combines-high-resolution-and-depth-of-field-for-ideal-3d-optical-images/> Erişim Tarihi: 13.05.2023.
52. Siddiqui, A., Braden, M., Patel, M. P. and Parker, S. (2010). An experimental and theoretical study of the effect of sample thickness on the Shore hardness of elastomers. *Dental Materials*, 26(6), 560-564.
53. Lawrence, E. (2020) ISO 527-2: *Tensile Testing for Plastics*, Web: <https://www.instron.com/en/testing-solutions/iso-standards/iso-527-2> Erişim Tarihi: 28.03.2023.
54. Torrado, A. R., Shemelya, C. M., English, J. D., Lin, Y., Wicker, R. B. and Roberson, D. A. (2015). Characterizing the effect of additives to ABS on the mechanical property anisotropy of specimens fabricated by material extrusion 3D printing. *Additive Manufacturing*, 6, 16-29.
55. Romero, A.E., Piovan, M.T., Mainetti, C.A., Stechina, D., Mendoza, S., Martín, H. D. and Maggi, N.C. (2021). Tensile Properties of 3D Printed Polymeric Pieces: Comparison of Several Testing Setups. *Ingeniería E Investigación*, 41(1), 67.
56. Mullaveetil, F.N., Dauksevicius, R., Rimasauskas, M. And Grigaliunas, V. (2021). Fused filament fabrication and mechanical performance of PVDF-based specialty thermoplastics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 117, 3267–3280.

57. Saharudin, M., Atif, R. and Inam, F. (2017). Effect of Short Term Water Exposure on the Mechanical Properties of Halloysite Nanotubes-Multi Layer Graphene Reinforced Polyester Nanocomposites. *Polymers*, 9(12), 27.
58. Akande, S.O., Dalgarno, K.W., Munguia, J. and Pallari, J.H. (2016). Assessment of tests for use in process and quality control systems for selective laser sintering of polyamide powders. *Journal of Materials Processing Technology*, 229, 549-561.
59. Erdmann, M., Niebergall, U., Wachtendorf, V., Böhning, M. (2020). Evaluation of UV-induced embrittlement of PE-HD by Charpy impact test. *Applied Polymer Science*, 137.
60. Namhata, S. P., Santolini, L. and Locati, G. (1990). Rationalisation of Vicat softening point measurements. *Polymer Testing*, 9(2), 75-89.
61. Akçamlı Kaya, N, (2016). Diferansiyel termal analiz (DTA), *Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları*, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.
62. Akkurt, A., ve Ertürk, İ., (2010). Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 221-233.
63. Leskovics, K., Kollár, M., and Bárczy, P. (2006). A study of structure and mechanical properties of welded joints in polyethylene pipes. *Materials Science and Engineering: A*, 419(1-2), 138–143.



Gazili olmak ayrıcalıktır