

**POLİMERLERİN LAZER İLE KAYNAKLANMASINDA
İŞLEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Fatih DEMİR

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Programı: İmalat Programı**

HAZİRAN 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİMERLERİN LAZER İLE KAYNAKLANMASI NDA
İŞLEM PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Fatih DEMİR
503011099**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Haziran 2003
Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Mayıs 2003**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Saîr YÜCENUR (İ. T. Ü)
Doç. Dr. Murat VURAL (İ. T. Ü)**

HAZİRAN 2003

ÖNSÖZ

Tüm çalışmam boyunca verdiğ destek ve önerilerinden dolayı tez danışmanı m Sn. Yrd. Doç. Dr. Vedat Temiz'e en içten teşekkürlerimi ederim

Çalışmam için gerekli her türlü imkanı sağlayan Arçelik A.Ş. adına Sn. Turgut Soysal, Sn. Şefik Şenyürek, Sn. Şemseddin Eksert ve Sn. M. Yalçın Tanes'e teşekkürlerimi bildiririm

Çalışma süresi boyunca yardımlarından ve desteklerinden dolayı İleri Yalıtım Çalışma Programı üyeleri adına program koordinatörü Sn. Fatih Özkadı'ya teşekkür ederim

Engin hoşgörüsü, anlayışı ve verdiğ teknik ve moral destekten dolayı Malzeme Teknolojileri Ailesi lideri Sn. Sibel Odabaşı'na ve Malzeme Teknolojileri Ailesi personeline teşekkür ederim

Çalışmalarım sırasında bana sabırla yardımcı olan lise stajeri arkadaşlarıma teşekkür ederim

En büyük şükranlarımı her türlü bilgiyi benim için cömertçe paylaşan, benim çalışmam süresi içinde cesaretlendiren, etrafına yaydığı pozitif enerjisi ve daylara yaklaşımı ile benim kendisine hayran bırakan danışmanı m Sn. Dr. Hande Güdül'ye sunarım

Tüm öğretilerim hayatı m boyunca desteklerini ve iç dileklerini benden eksik etmeyen aileme teşekkür ederim

Nisan, 2003

Fatih DEMİR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. TEORİ	3
2.1 Lazer ve Çeşitleri	3
2.2 Pdi' nelerin Kaynaklanması	7
2.3 Transmisyon Lazer Kaynak Yöntemlerinin Temel Prensipleri	8
2.4 Plastiklerin Lazer ile Kaynaklanmasında İşlem Akışı	10
2.5 Birleştirme Mekaniizmaları	11
2.5.1 Difüzyon Teorisi	11
2.5.2 Temas Teorisi	13
2.5.3 Asgari Akış Hızı	14
2.5.4 Karışık kristal hipotezi	17
2.5.5 Nexus- Hipotezi	18
2.6 Dyd Lazeri ışığının pdi' nelerle etkileşiminin incelenmesi	20
2.6.1 Pdi' nelerin Moleküller ve Molekül Üstü Yapıları	22
2.6.1.1 Amorf Hal	22
2.6.1.2 Kristalin Hal	23
2.7 Pdi' neler İçindeki Renklendirilimler	26
2.7.1 Pdi' neler Renklendirilmesi Nde Karbon Siyahı	28
2.8 Dyd Lazeri ile Yapılan Kaynakta N- R Yutucu Kullanımı	31
2.9 Lineer Enerji Kavramının Fiziksel Olarak İspatı	33
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
3.1. Dyd Lazeri ile Plastiklerin Kaynaklanması İçin Test Düzenek	35
3.1.1 Lazer Kaynak Makinesi	35
3.1.2 Tutturma Terti batı:	37
3.1.3 Basınç Uygulama Terti batı:	37
3.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Numunelerin Hazırlanması	37
3.3 Numune Boyutları:	38
3.4. Lazer Kaynağı Parametreleri	38
3.4.1. İşlem Parametreleri	38
3.4.2 Malzeme Bağlı Parametreler	38

3.5 Çekme Testi Metodu	39
3.6 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	41
3.7 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	41
3.7.1 Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	42
3.7.2 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	43
3.8 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	43
3.9 Birleştirme Basıncının Kaynak Dayanımına Olan Etkisinin İncelenmesi	44
3.10 Çekme Hızı Belirleme Çalışmaları	44
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	45
4.1 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	45
4.1.1 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları	45
4.1.2 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar	50
4.2 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	57
4.2.1 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak ve Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	57
4.2.1.1 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak ve Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları	57
4.2.1.2 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak ve Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar	57
4.2.2 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	68
4.2.2.1 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları	68
4.2.2.2 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar	69
4.2.3 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları	70
4.2.3.1 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları	70
4.2.3.2 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar	70
4.3 Birleştirme Basıncının Kaynak Dayanımına Olan Etkisinin İncelenmesi için Sonuçlar	73
4.4 Çekme Hızı Belirleme Çalışmaları için Sonuçlar	73
4.5 Sonuçlar ve Öneriler	74

KAYNAKLAR	77
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	160

Kİ SALT MALAR

Nd: YAG	: Neodyum Yttriyum Alüminyum Granat-Lazeri
H PS	: Yüksek darbe dayanımlı pdistiren
GPPS	: Şeffaf kristalin pdistiren
IR	: Kırmızı ışığı
DIN	: Alman standartları enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
PVC	: Polivinil klorür
PMMA	: Polimetil metakrilat
LDPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
EVA	: Etilen vinil asetat kopolimeri
i-PP	: İzotaktik polipropilen
PE	: Polietilen
PE-x	: Karışım polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
PE-HD	: Yüksek yoğunluklu polietilen
NIR	: Yakıncı kızılötesi bölge (Near Infrared Region)
VIS	: Görünür spektrum bölgesi
UV	: Ultraviyolete spektrum bölgesi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tabl o 2 1	Isı iletirimi ile yapılan kaynaktan ����len sınır tabakası kalınlığı..... 13
Tabl o 2 2	Hesaplanan POMi �in T_K �zerindeki sıcaklık etkisi s�r�deri, kaynak dki �i saçı anlı�ı..... 16
Tabl o 4 1	%0. 5 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanım �arı (N/mm^2)..... 46
Tabl o 4 2	%0. 25 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanım �arı (N/mm^2)..... 46
Tabl o 4 3	%0. 1 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanım �arı (N/mm^2)..... 47
Tabl o 4 4	%0. 01 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanım �arı (N/mm^2)..... 47
Tabl o 4 5	%0. 1 karbon oranı içeren �rnekl er için lineer enerji ve kayma dayanım �arının karşılaştırılması..... 55
Tabl o 4 6	%0. 25 karbon oranı içeren �rnekl er için lineer enerji ve kayma dayanım �arının karşılaştırılması..... 55
Tabl o 4 7	%0. 5 karbon oranı içeren �rnekl er için lineer enerji ve kayma dayanım �arının karşılaştırılması..... 56
Tabl o 4 8	Karbon siyahı konsantrasyonu ve lineer enerji nin fonksiyonu darak erişilen kayma dayanımı..... 64
Tabl o 4 9	Katkı m�zemesi türü ve lineer enerji nin fonksiyonu darak erişilen kayma dayanımı..... 67
Tabl o 4 10	çekme hızına göre kayma dayanımı ve kopma yeri..... 74

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2 1 : Lazer ile işleminin genel şeması	3
Şekil 2 2 : Diyot lazeri şeması	4
Şekil 2 3 : Işırların aynalar vasıtasıyla pd ari ze edl mesi	5
Şekil 2 4 : Işırların fiber optik kıl d ar l a t aş ın m as ı	5
Şekil 2 5 : Lazer k ı f as ı	6
Şekil 2 6 : I R radyasyon band ı nda pdi m ı r l e ri n yans ı t m a ve ge � r m e � z e l l i k l e ri	6
Şekil 2 7 : K ı s m e n k r i s t a l i z e b i r p l a s t i � n k a y n a k l a m a i ş l e m i u y g u l a n a b i l e n s ı c a k l ı k a r a l ı � ile s ı c a k l ı k k a d e m l e ri	7
Şekil 2 8 : Ge � r i g e n ve y � t u c u p d i m e r k u l l a n ı l a r a k y a p ı l a n l a z e r t r a n s m i s y o n k a y n a � y � r t e m i	8
Şekil 2 9 : A t ve � s t p a r � a n ı n h e r i k i s i � n d e g e � r i g e n p d i m e r k u l l a n ı l a r a k y a p ı l a n l a z e r t r a n s m i s y o n k a y n a k y � r t e m i	9
Şekil 2 10 : Lazer ile kaynaklanm � ş b i r � r n e k i � n ı s ı d a n � k i l e n m i ş b � g e	9
Şekil 2 11 : P l a s t i k l e ri n l a z e r k a y n a � n d a ı s ı d a n � k i l e n m i ş b � g e	10
Şekil 2 12 : D i y o d l a z e r l i i ş n t r a n s m i s y o n k a y n a � n ı n ş e m a t i k t a n ı m ı	10
Şekil 2 13 : V o y u t s k i j ' r i n l � r t e r d f � z y o n p r e n s i b i r i n ş e m a t i k b i r g � r � n � m �	12
Şekil 2 14 : S l i n d r ve d � z l e n h e r d e n d � ş a n ı k i y � z e y	14
Şekil 2 15 : ı s ı d e m a n ı y l a k a y n a k i ş l e m i n d e h ı z d a n ı n g � s t e r i l m e s i	15
Şekil 2 16 : D i y o d l a z e r i i l e k a y n a k l a m a i ş l e m i n d e	17
Şekil 2 17 : O t a k t e k r a r k r i s t a l e ş m e s o n r a s ı b i r l e ş t i r m e d � z e y i	18
Şekil 2 18 : P E l a m e l l e ri a r a s ı n d a b a � a n t ı m d e k � l l e ri	19
Şekil 2 19 : I ş n t r a n s f e r d e n k l e m i n i n � z i n h e a � k l a n m a s ı	22
Şekil 2 20 : S e m i k r i s t a l i n p d i m � r l e r d e t i p k y a p ı d e m a n l a r ı n ı n ve b o y u t l a r ı n ı n ş e m a s ı	24
Şekil 2 21 : B r s f e r d i t i n b � y � t � l m � ş l a m e l d � z e r i i l e ş e m a t i k y a p ı s ı	24
Şekil 2 22 : L a m e l l e ri n v e l a m e l l e r a r a s ı n d a k i t a b a k � l a r ı n k o n u m u	25
Şekil 2 23 : P d i m � r l e ri n r e n k e n d r i l m e s i n d e k u l l a n ı l a n r e n k e n d r i d i l e ri n y � z d e d a r a k d a � l ı m	27
Şekil 2 24 : T r a n s m i s y o n u n v e i ş l e m e d e r i l i � r i n a r t a n k a r b o n s i y a h ı k o n s a n t r a s y o n u i l e d e � ş m e s i	31
Şekil 2 25 : T i Q i l e r e n k e n d r i l m i ş P P r i n r e f l e k s i y o n u	32
Şekil 3 1 : D i y o d l a z e r l i i ş n t r a n s m i s y o n k a y n a � n ı n ş e m a t i k t a n ı m ı	35
Şekil 3 2 : L a z e r k a y n a k m a k i n a s ı	36
Şekil 3 3 : T u t t u r m a ve b a s ı n u y g u l a m a t e r t i b a t ı	37
Şekil 3 4 : K a y m a d a y a n ı m d e n e y l e ri n d e n e y d � z e r i n i n k r o k i s i	40
Şekil 3 5 : � e k m e d e n e y l e ri i � n k a y n a k � r n e k l e ri d � z e r i n i n ş e m a t i k k r o k i s i	40
Şekil 4 1 : % 0 . 5 C i � e r e n n u m u n d e r i l e k � t k ı s ı z n u m u n d e ri n k a y n a k l a n m a s ı i � n � e k m e t e s t i s o n u � a r ı	48
Şekil 4 2 : % 0 . 25 C i � e r e n n u m u n d e r i l e k � t k ı s ı z n u m u n d e ri n k a y n a k l a n m a s ı i � n � e k m e t e s t i s o n u � a r ı	48
Şekil 4 3 : % 0 . 1 C i � e r e n n u m u n d e r i l e k � t k ı s ı z n u m u n d e ri n k a y n a k l a n m a s ı i � n � e k m e t e s t i s o n u � a r ı	49
Şekil 4 4 : % 0 . 01 C i � e r e n n u m u n d e r i l e k � t k ı s ı z n u m u n d e ri n k a y n a k l a n m a s ı i � n � e k m e t e s t i s o n u � a r ı	49
Şekil 4 5 : % 0 . 5 k a r b o n s i y a h ı o r a n ı i � n y � k s e k k a y m a d a y a n ı m	

	boyunca çalışma alanı	51
Şekil 4 6	: %0.25 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı	52
Şekil 4 7	: %0.1 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı	53
Şekil 4 8	: %0.01 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı	54
Şekil 4 9	: Katkısız HPS ile %0.01 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	57
Şekil 4 10	: Katkısız HPS ile %0.1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	58
Şekil 4 11	: Katkısız HPS ile %0.25 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	59
Şekil 4 12	: Katkısız HPS ile %0.5 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	59
Şekil 4 13	: Katkısız HPS ile %1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	60
Şekil 4 14	: Katkısız HPS ile mor renklendirilmiş katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	60
Şekil 4 15	: Katkısız HPS ile Ti_2O_3 katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	61
Şekil 4 16	: Katkısız HPS ile NR-A1 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	61
Şekil 4 17	: Katkısız HPS ile NR-A3 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	62
Şekil 4 18	: Ti_2O_3 katkılı HPS ile NR-A1 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	62
Şekil 4 19	: Ti_2O_3 katkılı HPS ile NR-A3 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	63
Şekil 4 20	: GPPSlerin Gear weld kullanılarak birbirine kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımı değişimi	63
Şekil 4 21	: %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPS'in 4 J/mm büyük ölçekte bir lineer enerji ile kaynaklanmasından elde edilen kaynak dışının elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı	64
Şekil 4 22	: %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPS'in 10 J/mm büyük ölçekte bir lineer enerji ile kaynaklanmasından elde edilen kaynak dışının elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı	65
Şekil 4 23	: %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPS'in 15 J/mm büyük ölçekte bir lineer enerji ile kaynaklanmasından elde edilen kaynak dışının elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı	66
Şekil 4 24	: %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPS'in 20 J/mm büyük ölçekte bir lineer enerji ile kaynaklanmasından elde edilen kaynak dışının elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı	66
Şekil 4 25	: %0.1 Ci içeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynak alanı dikkate alınarak kaynaklanması için çekme testi sonucu . . .	68

Şekil 4 26	: %0.1 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı	69
Şekil 4 27	: Katkısız HPS ile %0.01 karbon siyahı katkılı HPS in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	71
Şekil 4 28	: Katkısız HPS ile %0.1 karbon siyahı katkılı HPS in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi	71
Şekil 4 29	: Katkısız HPS ile %0.25 karbon siyahı katkılı HPS in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.	72
Şekil 4 30	: Katkısız HPS ile %0.5 karbon siyahı katkılı HPS in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi	72
Şekil 4 31	: Katkısız HPS ile %1 karbon siyahı katkılı HPS in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi	73
Şekil 4 32	: Birleştirme basıncının kayma dayanımına olan etkisi	73

SEMBOL LİSTESİ

A	: Yüzey	mm ²
A	: Absorbsiyon	
b	: Kaynak dikiş rineri	mm
c	: Konsantrasyon	g/ ml
∇c	: Konsantrasyon gradyanı	mol/l
CO ₂	: Karbondioksit	
D	: Difüzyon katsayısı	m ² /s
d	: Malzeme kalınlığı	mm
E _{diff}	: Difüzyon enerjisi	J
E	: Enerji yoğunluğu	J/ m ³
ET	: Camı geçiş sıcaklığı	°C
F	: Kuvvet	N
FT	: Akış sıcaklığı	°C
GaAs	: Gallium Arsenid	
I	: İrtensite	W mm ²
I _A	: Absorbe edilen irtensite	W mm ²
I _o	: Çıkış irtensitesi	W mm ²
I _s	: Dağılan irtensite	W mm ²
I _T	: Transmisyonu gerçekleştiren irtensite	W mm ²
I _ü	: Kaynak dikiş rineri uzunluğu	mm
K	: Isıl iletim katsayısı	W m K
K	: Kubelka-Munk'a göre absorpsiyon katsayısı	1/ mm
KT	: Kristalleri me sıcaklığı	°C
m	: Kütle	g
M _w	: Molekül ağırlığı (ağırlık ortalaması)	g/ ml
P	: Lazer gücü	W
R	: Üniwersal gaz sabiti	J/ ml K
R	: Refleksiyon	
S	: Kubelka-Munk'a göre dispersiyon katsayısı	1/ mm
t	: Süre	s
T	: Mutlak sıcaklık	°K
t	: Temas süresi	s
T	: Transmisyon	
∇T	: Isı gradyanı	°
T _G	: Camı geçiş sıcaklığı	°C
TiO ₂	: Titanyum dioksit	
T _K	: Kristalleri me sıcaklığı	°C
v	: Hz	mm/ s
v _I	: Akış hızı	mm/ s
x	: Penetrasyon derinliği	mm
x	: Lazer kafasının d dğ yd	mm
W	: Enerji	J
ZT	: Bozunma sıcaklığı	°C
α	: Absorpsiyon katsayısı	
β	: Kırılan ışığın geliş ekserine açısı	

β	: Kırılma ışıının geliş ekserine açısı	
γ	: Extinktion (sönümlenme) katsayısı	1/ mm
δ_{opt}	: Optik penetrasyon derinliği	mm
λ	: Dalga boyu	nm
τ	: Kaynak dikişinin dayanımı	N mm
τ_D	: Kaynak dikişinin dayanımına etki eden difüzyon teriminin	N mm ²
$\tau_{fl.}$	: Kaynak dikişinin dayanımına etki eden akış hızı teriminin	N mm ²
τ_R	: Kaynak dikişinin dayanımına etki eden gevşeme teriminin	N mm ²
τ_R	: Kaynak dikişinin dayanımını etkileyen refleksiyon değeri	N mm ²

ÖZET

Plastik parçaların birleştirilmesi üreticiler için önemli bir sorundur. Plastiklerin birleştirme uygulamaları d an yapı ştırma, perçinleme, klipsleme, vıdalama, kaynak yöntemleri i ğinde en sık kullanılan birleştirme yöntemi %36 lık bir orana kaynaştır. Kaynaklama türlerinden (ultrasonik, vibrasyon, sıcak d eman kaynağı, vs.) çok azı seri üretilde uygulanabilmektedir. Bir kaynak yönteminin seçilmesi n derol oynayan ön şartlar, ekonomik d ma bakış açısının yanı sıra kaynak işleniminden beklenen sonuçları gerekti ğ şekilde yerine getirebilir özellikte d masıdır. Üreticilerin i şlem açısından en büyük beklentileri iki parça arasındaki bağ artısının sızdırma ve sağam d masıdır. Bu beklentileri mevcut birleştirme yöntemlerinden hiçbir i tkin bir şekilde karşılayamadığından, uygulanacak yöntemle bağ d arak d uşan bu eksiklikleri i çermeyen yeni bir yöntem ihtiyacı belirniştir.

Bu teknik levha halindeki ve kalıplanmış haldeki termoplastiklerin her ikisinin de kaynaklanması i ğin uygundur. Elastomerlerin lazer ile kaynaklanması çok sınırlı d arak gerçekleştirilmektedir.

Bu yöntemde, d yd lazerini nışları birleştirilecek parçaların birini i ğinden geçerek d ğer parçanın yüzeyi tarafından yutulurlar. Bu sırada yutulan ışıklar ara yüzeyde ısıya dönüşür ve pdi m erir. Lazer ışıklarını niki ndi parçanın yüzeyinde yutulması işleni katkı maddeleri veya renk maddeleri aracılığıyla sağanır. Her iki pdi m er parça da kaynak işleni sırasında kararlı bir bi ğimde birbirlerine b i t i ş k konumda d uktarıdan, eriyen yüzeyden lazer ışığını geçiren şeffaf parçanın yüzeyine de ısı transferi gerçekleşir. Bu ısı transferinin sonucunda bu parçanın yüzeyi de erir ve birleştirilecek her iki parçanın pdi m er zind i rleri arasında bir d füzyon (kaynama) gerçekleşerek birleştirilecek iki parça arasında kararlı bir bağ artı sağanmış d ur.

Bu çalışmada, lazer kaynak parametrelerini belirlemek amacıyla 3000 ci varında kaynaklama yapılmıştır. Bu çalışma 4 b d üme ayrılabilir:

Birinci b d ümde %0.5, %0.25, %0.1 ve %0.01 oranında karbon siyahı i çeren H PS den yapılmış deney çubukları ile katkısız H PS den yapılmış deney çubukları bir d yd lazer kullanılarak lazer gücü ve besleme hızı parametreleri ile birbirlerine kaynaklanmış ve daha sonra kaynaklanan çubuklar çekme testi ne t abi t utul arak kaynak dayanımları kaynak d anı değ iş i m i göz önüne alınmadan d ç ü l m ü ş t ü r.

İkinci b d ümde %1, %0.5, %0.25, %0.1 ve %0.01 oranında karbon siyahı i çeren, %4 oranında mor ve Ti₂O renklendirici i çeren ve iki farklı N R yutucu katkı i çeren H PS den yapılmış deney çubukları ile katkısız H PS den yapılmış deney çubukları ve ayrıca iki farklı N R yutucu katkı i çeren H PS den yapılmış deney çubukları Ti₂O katkılı H PS ile ve GPPS' den yapılmış deney çubukları kaynak ara yüzeyine yutucu madde sürmek kaydıyla bir d yd lazer kullanılarak velineer enerji parametresi ile birbirlerine kaynaklanmış ve daha sonra kaynaklanan çubuklar çekme testi ne t abi t utul arak kaynak dayanımları kaynak d anı değ iş i m i göz önüne alınarak d ç ü l m ü ş t ü r.

Üçüncü b d ümde %0.1 oranında karbon siyahı i çeren H PS den yapılmış deney çubukları ile katkısız H PS den yapılmış deney çubukları bir d yd lazer kullanılarak lazer gücü ve besleme hızı parametreleri ile birbirlerine kaynaklanmış ve daha sonra

kaynaklanan çubukları çekme testi netabı tutularak kaynak dayanımının kaynak alanı değişiminin göz önüne alınarak ölçülmüştür.

Son bölümde ise kaynak edilecek parçalar arasına uygulanan birleştirme basıncının kaynak dayanımına olan etkisi incelenmiştir.

Pdli merleri nlazerle kaynaklanması n tek bir işlem parametresi ile yapılabilceği gösterilmiştir. Kaynak dayanımının kaynak bölgesine verilen enerji ile arttığı fakat belli değerden sonra azalmaya başladığı görülmüştür. Katkı malmazemelerinin d nsi rin ve miktarının pdli merlerin yutma ve geçirme kabiliyetini nasıl etkilediği incelenmiştir. Son olarak kaynaklama için gerekli olan birleştirme basıncının en küçük değeri belirlenmiştir.

SUMMARY

It is an important concern for producers to join plastic parts. Welding is the most frequently used joining technique among adhering, riveting, dipping and screwing techniques by the ratio of 36%. Only very few of the welding techniques (ultrasonic, vibration, hot plate weldings, etc.) are to be implemented appropriately in mass production. The criteria in choosing a welding technique are welding technique's economical feasibility and technical capability that satisfies requirements. The greatest expectation of producers is to have a welding technique which gives a sealed and strong joining of plastic parts. Since these expectations can not be satisfied with current welding techniques, it is required that a new welding technique which is to involve these requirements be developed.

Laser transmission welding technique is appropriate for welding both thermoplastics in sheet form and molded thermoplastics. It is limited to weld elastomers through laser welding. Laser melts plastic which is in welding zone and welding occurs by applied pressure in laser welding.

In this technique, the beam of diode laser passes through one of the parts which is going to be welded and absorbed on mid surface (contact surface) by the other part. The absorbed beam generates heat on mid surface and melts polymer. Additives, pigments and dyes are used to improve absorption of the latter part. Since each of the parts is fixed constantly touching each other, heat transfer from melted surface to transparent part occurs. The surface of transparent part melts because of the heat transfer and the parts are joined by interdiffusion between polymer chains.

In this study, approximately 3000 specimens have been welded aiming to determine laser welding parameters. This study can be divided into 4 groups:

In the first part, 0.5%, 0.25%, 0.1% and 0.01% of carbon black added HPS specimens have been welded to virgin HPS specimens by using laser power and feed rate parameters and a diode laser and then by applying tensile test to the welded specimens weld strength has been measured not considering weld area changes.

In the second part, 1%, 0.5%, 0.25%, 0.1% and 0.01% carbon black, 4% purple and Ti_2O pigment and two different NR absorber added HPS specimens to virgin HPS specimens, two different NR absorber added HPS specimens to Ti_2O added HPS and GPPS specimens on which absorbant substance is applied have been welded by using laser power and feed rate parameters and a diode laser and then by applying tensile test to the welded specimens weld strength has been measured considering weld area changes.

In the third part, 0.1% carbon black added HPS specimens have been welded to virgin HPS specimens by using laser power and feed rate parameters and a diode laser and then by applying tensile test to the welded specimens weld strength has been measured considering weld area changes.

In the last part, the effects of contact pressure between parts which are going to be welded are examined.

It is shown that laser welding of plastics can be done with a single process parameter. It is also seen that welding strength increases with increasing linear energy until a critical value. When the optimum linear energy level is exceeded welding strength decreases dramatically. It is examined how type and amount of additives in polymer affect absorption and transparency characteristics of polymers. Finally, minimum contact pressure that is required for welding is determined.

1. GİRİŞ

Plastik parçaların birleştirilmesi üreticiler için önemli bir sorundur. Plastiklerin birleştirme uygulamaları d an yapıştırma, perçinleme, klipsleme, vidalama, kaynak yöntemleri içinde en sık kullanılan birleştirme yöntemi %36'lık bir oranla kaynaktır [1]. Kaynaklama türlerinden (ultrasonik, vibrasyon, ısı eman kaynağı, vs.) çok azı seri üretimde uygulanabilmektedir. Bir kaynak yönteminin seçilmesi n der ol oynayan ön şartlar, ekonomik d ma bakış açısının yanı sıra kaynak işlemin den beklenen sonuçları gerekti ğ şekilde yerine getirebilir özellikte d masıdır. Üreticilerin işle m açısından en büyük beklentileri iki parça arasındaki bağ artının sı zdır maz ve sağ am d masıdır. Bu beklentileri mevcut birleştirme yöntemlerinden hiçbir i etkin bir şekilde karşılayamadığından, uygulanacak yöntem e bağ ı d arak d uşan bu eksi kleri iç er meyen yeni bir yöntemi ht i yacı b dir miştir.

Termoplastiklerin lazer ile kaynağı ilk d arak 1970'li yıllarda yapılmaya başlanması na rağmen bu işle m ancak 2000'li yıllardan itibaren endüstriyel d çekte kullanılmaktadır [2]. But ekri kl evha hâlindeki ve kalıplanmış hâdeki termoplastiklerin her i ki si ri n de kaynaklanması için uygundur. Elastomerlerin lazer ile kaynaklanması çok sınırlı d arak gerçekleştirilmektedir. Lazer trans m i syon kaynak yönteminde lazer ışını kaynak b d gesi ndeki p lasti ğ eritir ve uygulanan basınç ile kaynak gerçekleştirir.

Lazer trans m i syon kaynak yönteminin uygulanması sayesinde di ğer birleştirme yöntemleri ile ancak kısmen gerçekleştirilebilen aşağıdaki yöntem avantajları sağlanabilmektedir:

- Lokal d arak sadece birleştirme noktasında sınırlanmış enerji uygulanabilmesi
- kaynaklanan parçaların temas noktası d mayan yöntem
- 3 boyutlu kaynak d ki ş geometrisi i mkanı
- eri me nederi yle çapak d uş maması
- optik açıdan yüksek değerde kaynak d ki ş eri

- kompleks d mayan(düz bir çizgi halinde) kaynak dikisi geometrisi
- kısa donanım değişim süresi
- iyi konumlandırılabilirliği

Yukarıda sayılan avantajlarının yanı sıra bu teknolojinin bazı sınırlamaları mevcuttur:

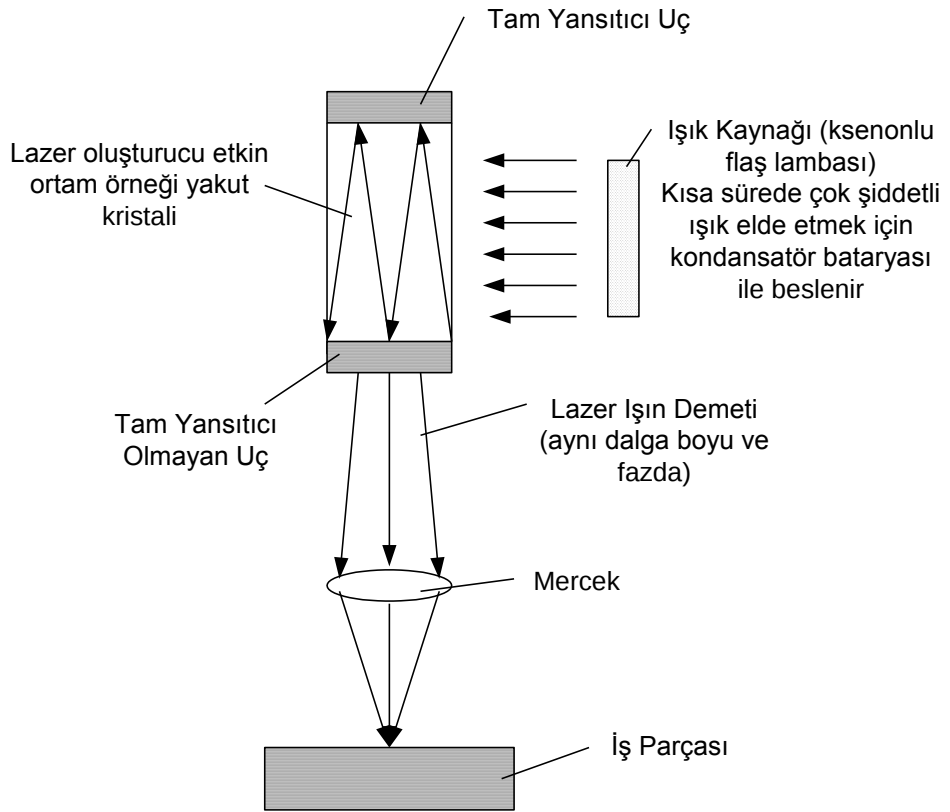
- Malzeme bağımlıdır.
- Bu işlem birleştirilecek parçaları farklı yüzme karakterleri ne sahip malzemenin gerektirir.
- Bazı katkı malzemelerin katılması durumunda kaynak kalitesi düşmüş yönde etkilenebilmektedir (düşük maddeleri, pigmentler, darbe dayanımı artırıcıları).
- Birleştirme bölgesinde yakınlı temas gereklidir.
- Çok katıdan plastiklerin kaynaklanması da kaynak aralığında artık gerilmeler meydana gelebilir.

Lazer transimiyon kaynağı uygun malzeme çiftleri seçildiğinde ilk yatırım maliyetinin yüksek olması dışında çok avantajlı bir yöntemdir. Malzeme üreticileri lazer transimiyon kaynağına uygun malzeme ve katkı malzemesi üretimi doğru şekilde hayli yavaşlamışlar ve çalışmalarına devam etmektedirler. Seri üretimde uygun lazer transimiyon kaynak makinelerini malatına birkaç şirket başlamıştır ve bu makinelerin fiyatları gün geçtikçe düşmektedir [2].

2 TEORİ

2.1 Lazer ve Çeşitleri

İngilizce yazılışı ile LASER sözcüğü bir akronimdir (light amplification by stimulated emission of radiation = uyarılmış ışın yayımıyla ışığın kuvvetlendirilmesi (yükseltilmesi, güçlendirilmesi). Genel olarak Şekil 2.1'deki gibidir.



Şekil 2.1 Lazer ile iş emeri'nin genel şeması [3].

Işık kaynağı (Ksenonlu flaş lambası) ile kısa sürede çok şiddetli ışık elde etmek için kondansatör kullanılır. Diğer tiplerden örneğin Nd:YAG da uyarılma sürekli de olabilir. Buna göre darbeli ve sürekli lazerler elde edilir.

Etkin ortamın bazı atomlarına (örneğin yakutta Cr^{3+} iyonlarına) (Cr_2O_3 olarak) atılan elektronlar gönderilen ışıkla enerji alarak üst enerji düzeyine sıçrayabilir (uyarılmış

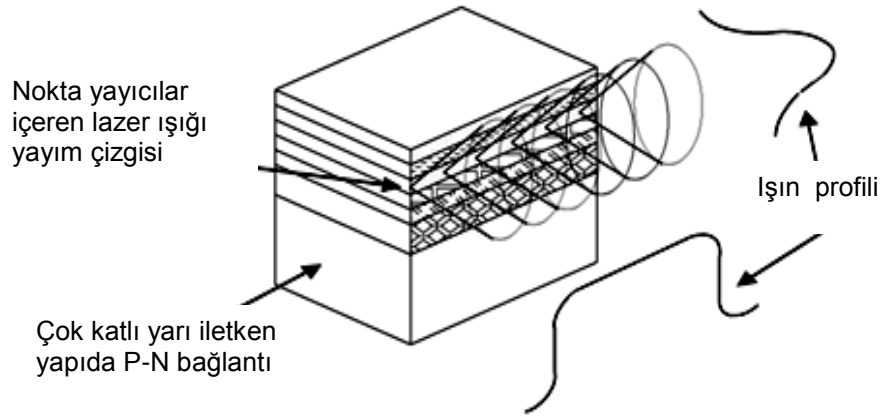
durum). Bu üst düzeye 'pompa'lanmış elektronlar' bir süre sonra aradaki metastabil enerji düzeyinden temel durumlarına (alt enerji düzeyine) dönerken aradaki fark kadar enerji açığa çıkar (ışınma); diğer bir deyişle ışık dalgaı (fotonu) yayınlar [3].

CO₂ lazerleri 9 ila 11 μm dalga boylu infrared radyasyon yayınlar, 10.6 μm dalga boylu radyasyon yayınları en çok kullanılan çeşidir. Lazer dıştırucu ortam olarak CO₂ kullanılır [4].

Nd: YAG lazerleri 8 ila 10 μm dalga boylu infrared radyasyon yayınlar, lazer dıştırucu ortam olarak Nd: YAG kristalleri kullanılır [5].

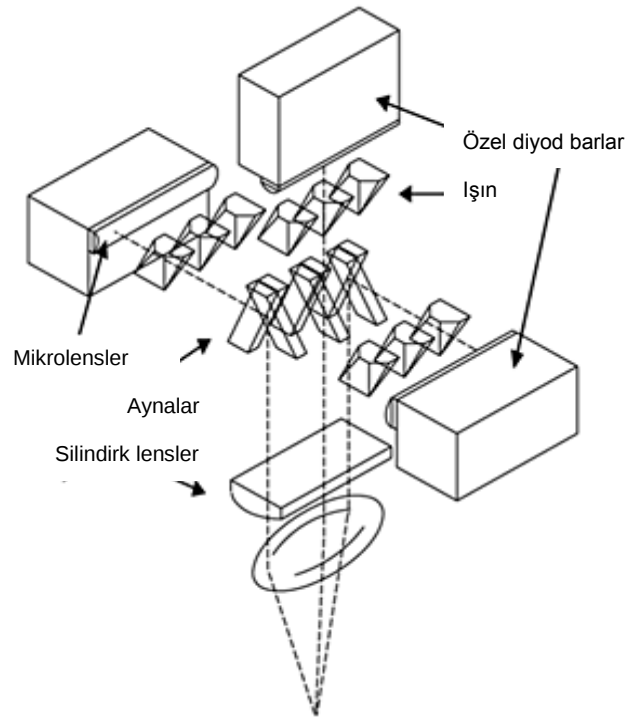
Exci mer lazerleri ultravide ışın üretirler (dalga boyları 150-350 μm). Lazer dıştırucu ortam olarak O₂ ve N₂ gibi diatomik moleküller ya da ArF, KrCl, XeCl gibi gazları bu undukları ortama elektrik boşalması sonucu elde edilen i ki atomlu moleküller kullanılır. Güçleri Nd: YAG ve CO₂ lazerlere göre çok düşüktür (1-200 W) [6].

Şekil 2.2 de gösterilen diyd lazerleri yüksek elektrik verimine sahiptirler ve boyutları çok küçüktür. Bu lazerlerde, katı hal lazerlerinde lazer dıştırucu ortam uyar mak için kullanılan flaş yeri nelazer diydleri kullanılır. Diyd lazerlerinde lazer dıştırucu ortam olarak GaAs (940 nm) ya da GaAs üzerine InGaAlAs kaplanarak elde edilen malzeme (808 nm) kullanılır [7].



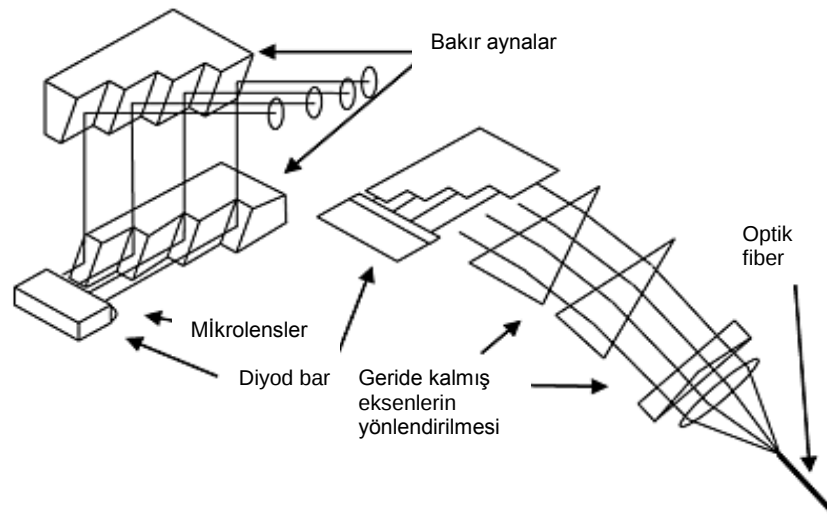
Şekil 2.2 Diyd lazeri şeması [8].

Lazerin maksimum gücü diyd sayısı çoğaltılarak artırılabilir. Diyd lazerleri bir yönde ışın yayınlar fakat ışın profilleri düzgün değildir. Diydler tarafından üretilen ışınları pd arize etmek için aynalar kullanılır. Şekil 2.3 de gösterildiği gibi aynalar arasında gidip gelen ışın pd arize edildikten sonra ri hal olarak odaklayıcı lenslere gönderilir.



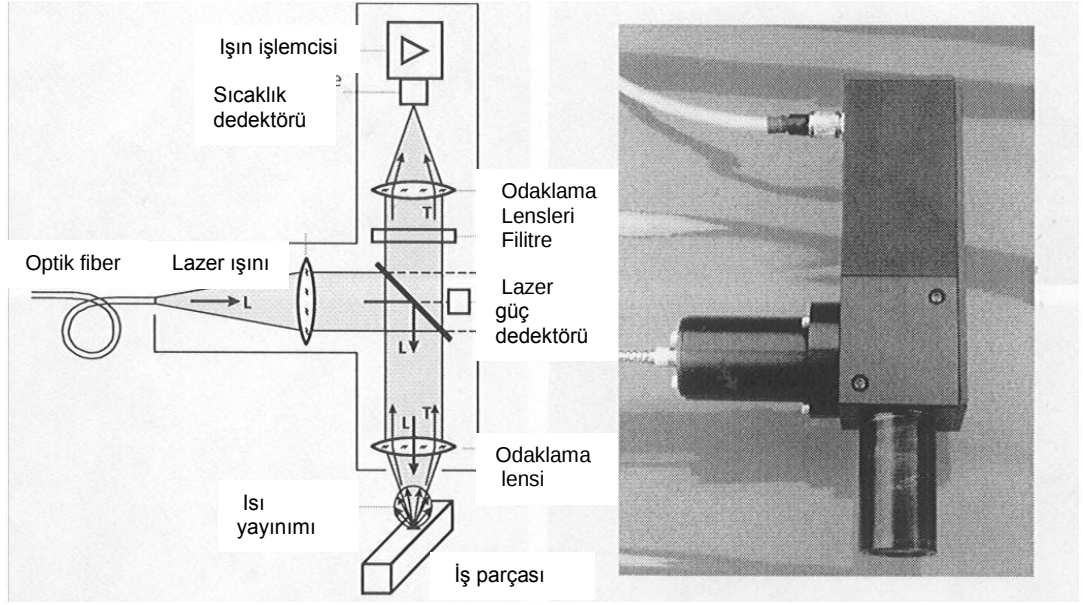
Şekil 2.3 Işınların aynalar vasıtasıyla odaklanılması [8].

Üretilen lazer ışını Şekil 2.4 de gösterildiği gibi fiber optik kablolarla istenilen yere (lazer kafası) taşınabilir, ışın mercekleer kullanılarak odaklanabilir.



Şekil 2.4 Işınların fiber optik kablolarla taşınması [8].

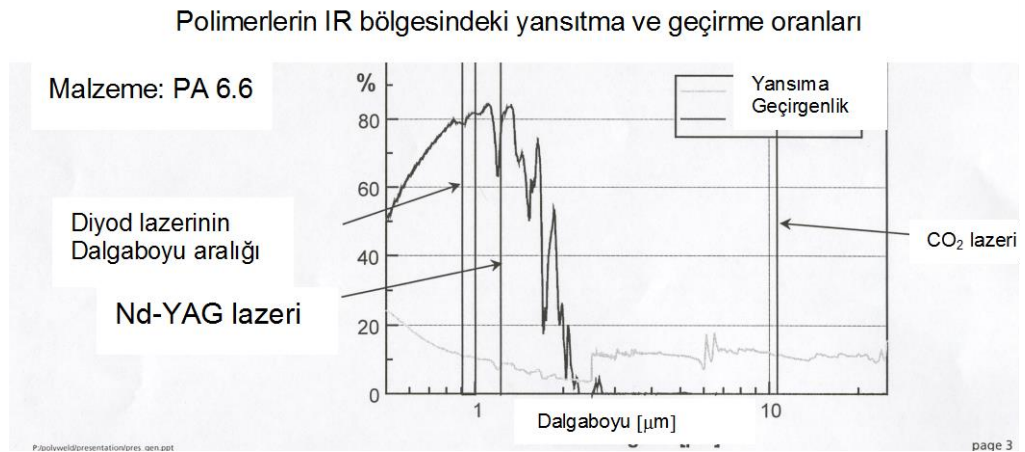
Şekil 2.5 de gösterilen lazer kafası bir robot koluyla yerleştirilerek istenilen geometrilere kaynak dökülmesi sağlanır [7].



Şekil 2 5 Lazer kafası [9].

Soğutma ve kontrol sistemleri bir kabini içine sığacak kadar küçüktür. Diyot lazerleri ile elde edilen 1-100 W'lık güç, plastiğin erimesi için gerekli enerjiyi sağladığı, küçük hacimlere sığdırılabilirliği, istendiğinde diyet sayısı artırılarak maksimum güç artırılabilirliğinden dolayı plastiklerin lazer ile kaynağında diyet lazerleri tercih edilmektedir.

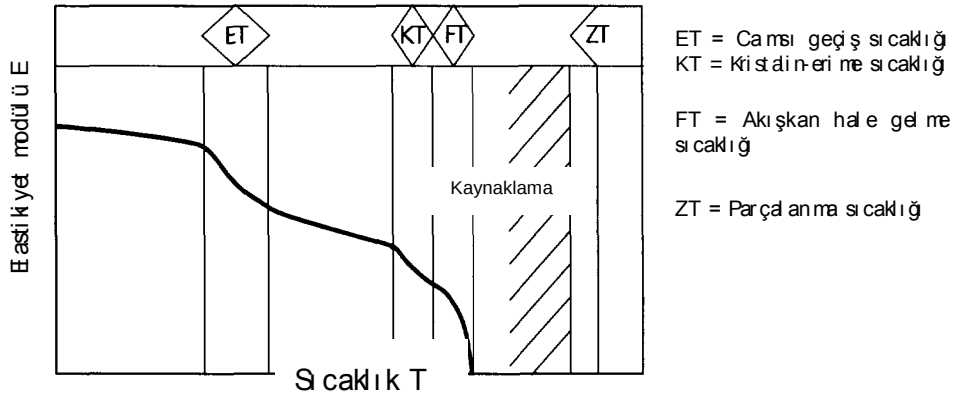
Diyot lazerlerinin dalga boyları, plastiklerin yutmasının az olduğu yakın IR bölgesindedir ve kaynak uygulamaları için uygundur. Şekil 2 6'da polimerlerin IR bölgesindeki yansıtma ve geçirme özellikleri verilmiştir.



Şekil 2 6 IR radyasyon bandında polimerlerin yansıtma ve geçirme özellikleri [8].

2.2 Pdi merleri n Kaynaklanması

Dİ N No. 7732, bölüm 1 uyarınca pdi merleri n kaynaklanması ndan söz edil di ğ nde ‘ ‘aynı dinsten veya farklı dinstlerden termoplastik yarı kürlendril meyen plastikleri nı sı ve basınç uygulamak suretiyle aynı dinsten bir plastik katkısı (çalışma katkısı) eklenerek veya eklenmeden birleştirilmeleri ’ arlaşılmaktadır [10]. Kaynaklama işleminde kaynaklanacak parçaların temas yüzeylerinde duşurulan ısı arıldığı nda kendili ğ nden gerçekteşmektedir. Bu nedenle yalnızca ısı uygulanarak yumuşatılabilen veya eritilebilen pdi merlere kaynak işleminde uygulanabilmektedir. Kaplanmış yüksek pdimerler kaynaklanamazlar. Şekil 2.7 de kaynak işleminin gerçekteşirilebildi ğ ısı ardıklarını göstermektedir.



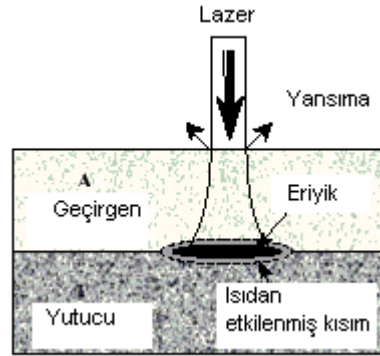
Şekil 2.7 Kısmen kristalize bir plasti ğ n kaynaklama işleminde uygulanabilen sıcaklık ardıkları ile sıcaklık kademeleri [11].

Kaynaklama işleminin bu gerçekteşen de çok genel tanıtım esas „birleşme sırasındaki karışım işleminé’ ve „molekül zindirlerinin yumaklaşmasına’ çok yüzeysel bir biçimde değinmektedir. Bunun nedenlerinin başında bugüne kadar doğru biçimde arlaşılamamış dan bu işlemin karışıklığı ve adezyon teorisinde bir araya toplanmış dan yine bu gerçeğe dayanan çok fazla sayıda açıklama modelleridir. Adezyon teorisi sert bir sınır yüzeyi ile ya bireysel parçacıklardan, moleküllerden, danelicilerden, toz zerreciklerinden veya sürekli sıvılardan ve sert filament abaklarından duşan 2. evre arasındaki kavrama etkisini tanımlamaktadır [12]. Bu teoriye dayanılarak pdi merleri n kaynaklama işlemindeki mekanik özelliklerinin açıklanması ile ilgili olarak işleme özgü modeller geliştirilmiştir. Bu işleme özgü modellerin dyot lazeri kullanılarak ışın transmisyon kaynaklanması konusuna uygulanabilirliği aşağıda kapsamı şeklide de dılmaktadır.

2.3 Transmisy on Lazer Kaynak Yöntemi ni n Temel Prensi pl eri

Transmisy on lazer kaynağı yöntemi ile plasti klerin kaynaklanması iki farklı şekilde yapılabilir:

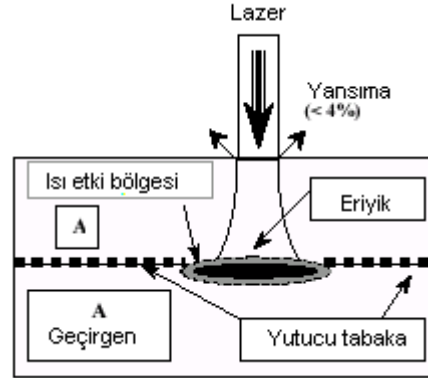
Bunlardan birincisi; birleştirilecek parçaların üstte d anının geçirgen altta d anını se yutucu d uğu malzeme çifti kullanılarak yapılan transmisy on lazer kaynak yöntemi dir. Şekil 2.8 de geçirgen ve yutucu pdi mer kullanarak yapılan lazer transmisy on kaynağı yöntemi gösterilmiştir. Burada geçirgen pdi merden kasıt 840-1060 nm (yakın enfraruj) dal ga boyl u ış ı ğı ge çiren pdi mer, yutucu pdi merden kasıt ise 840-1060 nm (yakın enfraruj) dal ga boyl u ış ı ğı yutan pdi mer dir. Diyot lazeri ni n ış ı rları birleştirilecek parçaların birinin içinden geçerek di ğer parçanın yüzeyi tarafından yutulur. Bu sırada yutul an ış ı rlar ara yüzeyde ısı ya dönüşür ve pdi mer erir. Lazer ış ı rlarının ikinci parçanın yüzeyinde yutulması iş lemi katkı maddeleri veya renk maddeleri aracılığıyla sağlanır. Her iki pdi mer parça da kaynak iş lemi sırasında kararlı bir biçimde birbirlerine bitişik konumda d udukları ndan, eriyen yüzeyden lazer ış ı nı n ge çiren şeffaf parçanın yüzeyi ne de ısı transferi gerçekleşir. Bu ısı transferi ni n sonucunda bu parçanın yüzeyi de erir ve birleştirilecek her iki parçanın pdi mer zindirleri arasında bir diffüzyon (kaynama) gerçekleşerek birleştirilecek iki parça arasında kararlı bir bağ artı sağanmış dır.



Şekil 2.8 Geçirgen ve yutucu pdi mer kullanarak yapılan lazer transmisy on kaynağı yöntemi.

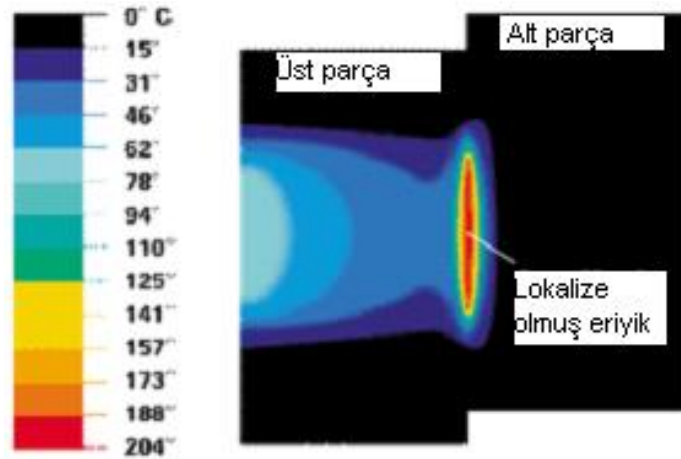
Di ğer bir yöntem ise, birleştirilecek alt ve üst parçanın her ikisi iç in de geçirgen pdi mer kullanılarak yapılan lazer transmisy on kaynak yöntemi dir. Bu yöntemde Şekil 2.9 da gösteril di ğ i gibi iki geçirgen pdi mer arasında bir yutucu tabaka uygulanır. Lazer ış ı nı üstteki geçirgen pdi merden geçtikten sonra iki parça ara yüzeyinde bulunan yutucu madde tarafından yutulur. Bu sırada yutul an ış ı rlar ara yüzeyde ısı ya dönüşür ve alt parçanın üst yüzeyi ve üst parçanın alt yüzeyi erir. Birleştirilecek

her iki parçanın polimer zindirleri arasında bir diffüzyon (kaynama) gerçekleşerek birleştirilecek iki parça arasında kararlı bir bağlantı sağanmış dır.



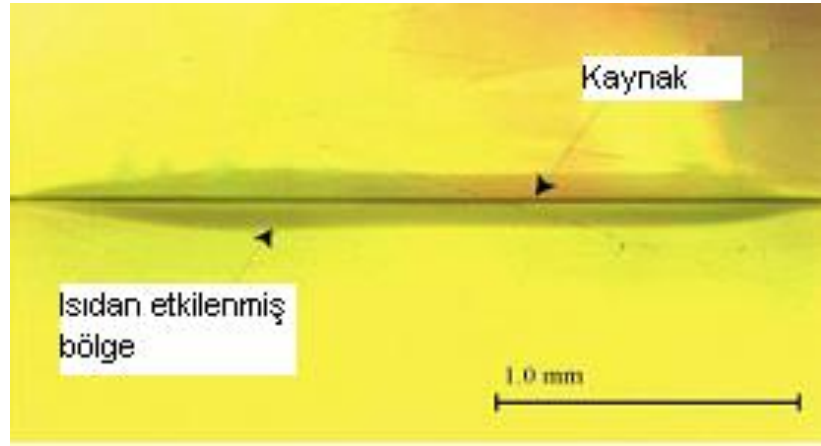
Şekil 2.9 Alt ve üst parçanın her ikisi için de geçirgen polimer kullanılarak yapılan lazer transimiyon kaynak yöntemi.

Şekil 2.10'daki ısı model den kaynaklama işlemi sırasında oluşan ısıyı sadece kaynak ara yüzeyinde düştüğü görülmektedir. Kaynak parametrelerinin optimize edilmesi ile ara yüzeyde düştürülen ısı miktarının hassas olarak ayarlanması çok önemlidir çünkü bu optimum sı değeri ile çok küçük kaynak genişliği ve ısıdan etkilenmiş bölge elde edilir. Böylelikle çok üstün kaynak dayanımları ve düşük atık gerilmeler elde edilebilir.



Şekil 2.10 Lazer ile kaynaklanmış bir örnek için ısıdan etkilenmiş bölge [13].

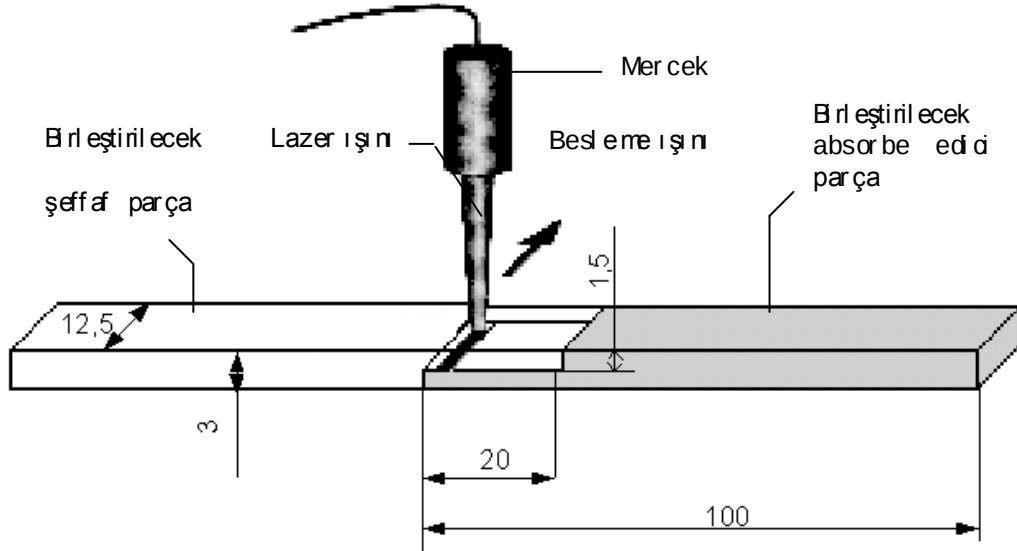
Şekil 2.11'de lazer ile kaynaklanmış bir örnek için ısıdan etkilenmiş bölge gösterilmektedir. ısıdan etkilenmiş bölgenin yüksekliği 1 mm'ni aşmıyabilir mükündür.



Şekil 2 11 Plastiklerin lazer kaynağında ısıdan etkilenmiş bölge [13].

2 4 Plastiklerin Lazer ile Kaynaklanması nda İşlem Akışı

Plastiklerin diyd lazeri ışırları ile kaynaklanması nın avantajı enerji nin sadece gerekli olduğu bölgede, yani birleştirme bölgesinde uygulanmasıdır. Şekil 2 12 de diyd lazerli ışın transimiyon kaynağı şematik olarak gösterilmiştir. Bu işlem diyd lazerini ışırlarının (790 nm- 980 nm) pdimer tarafından çok az miktarda yutulması, esas yutmanın pdimerin içinde yer alan renklendiriciler ve katkı maddeleri tarafından gerçekleştirilmesi sayesinde yapılabilmektedir.



Şekil 2 12 Diyd lazerli ışın transimiyon kaynağının şematik tanımı.

Kaynak işleminin 4 kaynak aşamasına bölünebilir: Başlangıç aşaması, ısıtma aşaması, difüzyon aşaması ve yutma aşaması.

1. Başlangıç aşaması: Bu aşamada lazer ışınları birleştirilecek parçaların birinin içinden geçer ve birleştirilecek ikinci parçanın yüzeyi tarafından yutularak ısıya dönüşür. Lazer ışınlarını yutan birleştirilecek ikinci parçanın optik özelliklerini uyumu diyd lazerini nışınları yutan renklendirme maddeleri veya katkı maddeleri ile sağlar. Başlangıç aşamasının işlemin devam üzerinde büyük etkisi vardır.

2. Isıtma aşaması: Lazer ışınının yutulması bir yandan birleştirilecek parçanın erimesine yd açarken diğer yandan eriyen kısmın genişlemesine neden olur. Eriyen kısmın genişlemesi ve lazer ışınına karşı geçirgen dan parça üzerine yayılması sonucu ısı bu parça üzerine de taşınmış dır ve bu parça da kısmen erir. Isı aktarılması işleni, birleştirilecek parçaların ilk birleştirilme işleni sırasında kararlı bir konumda yerleştirilmesiyle k d a y l a ş t ır ı l ı r. Bunun gerçekleşebilmesi için birleştirilecek yüzeylerin birbirine tam p a r d e konumda d m e l a r ı gerekmektedir.

3. Dfüzyon aşaması: Isıtma aşaması ile eşzamanlı d arak birleştirme işleni de gerçekleşir. Molekül zindelerinin eriyik halindeki hareketliliği sayesinde sınır yüzeylerinin ötesi ne geçen yoğun yer değ ş t i r m e l e r i sonucunda birleştirilecek parçalar arasındaki sınır yüzeyi yok d ur.

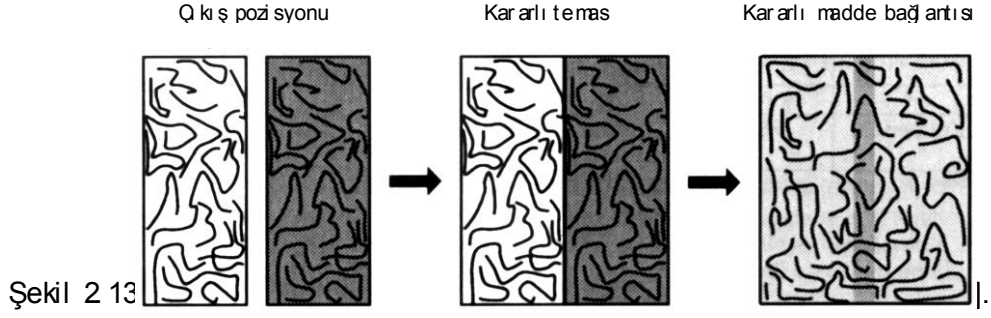
4. Soğutma aşaması: Bunu izleyen soğutma veya kristalleştirme aşamasında birleştirilecek her iki parçanın p d i m e r z i n d e l e r i n d e n d u ş a n b d g e l e r meydana gelir. Birleştirilecek parçaların T_G (camı geçiş sıcaklığı) veya T_K (kristalleştirme sıcaklığı) altında kalan soğutma sür d e r i yaklaşık 1s düzeyindedir.

2.5 Birleştirme Mekaniizmaları

Adezyon teorisi adezyonun fiziksel, kimyasal ve termodinamik yorumlarını içerir. Bu teoriler temel alınarak p d i m e r l e r i n kaynaklanmasında uygulanabilen bir çok işleme özgü modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin bir kaçı aşağıda kısaca tanımlanmış ve işin kaynağı açıklanmıştır.

2.5.1 Dfüzyon Teorisi

Dfüzyon teorisi Voyutskii tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre kararlı bir biçimde birbirlerine bitişik konumda bulunan birleştirilecek parçaların arasındaki Adezyon her iki birleştirilecek parçanın arasındaki sınır tabakasında moleküllerin dfüzyonu sonucu gerçekleşmektedir [14]. Dfüzyon sonucu bir geçiş b d g e s i veya bir ara faz d u ş m a k t a d ır. Dfüzyonun Voyutskii'ye göre şematik bir görünümü Şekil 2.13 de gösterilmektedir.



Öt o adezyon (eşit özelliklerdeki p d i m e r a r a s ı n d a k i a d e z y o n) h a l i n d e d i f ü z y o n s a b i t b a s ı n ç a l t ı n d a u y g u l a n a n ı s ı y a v e t e m a s s ü r e s i n e b a ğ ı d ı r v e b u n e d e r l e i k i n d e F i c k k a n u n u n a u y g u n g e l i ş i r [1 5] :

$$\left(\frac{dm}{dt} \right) = D \left(\frac{dc}{dx} \right) \quad (2.1)$$

Madde Konsantrasyon
transf eri gradyeri

D i f ü z y o n k a t s a y ı s ı D t s ü r e s i b o y u n c a k o n s a n t r a s y o n g r a d y e r i c ' n i n e t k i s i a l t ı n d a s ı n ı r b ö l g e s i n i g e ç e n m a d d e m ı k t a r ı m i l e e ş i t t i r [1 6]. B ö y l e c e b i r a ş a m a d a n d i ğ e r a ş a m a y a o r t a d a m a b i r „ p e n e t r a s y o n d e r i n l i ğ ” x h e s a p a n a b i l i r .

$$x \propto \exp (- E_{diff} / 2 RT) t^{1/2} \quad (2.2)$$

P e n e t r a s y o n d e r i n l i ğ , E_{diff} d i f ü z y o n e n e r j i s i n d e , R u n i v e r s a l g a z s a b i t i , T s a b i t s ı c a k l ı k v e t t e m a s s ü r e s i n d e , ü s t g e ç i ş b ö l g e s i n i n v e y a d i ğ e r b i r i f a d e i l e p d i m e r l e r i n k a y n a k l a n m a s ı n d a k i a r a f a z ı n b ü y ü k l ü ğ ü i ğ i n b i r d i ğ ü d ü ş t ü r ü r . T a b l o 2.1' d e ç e ş i t l i p d i m e r s i s t e m l e r i i ğ i n d e ç ü l e n n ü f u z i y e t d e r i n l i k l e r i v e r i l m e k t e d i r .

Tablo 2.1 Isı ile emani ile yapılan kaynaktan geçen sınır tabakası kalınlığı [17].

Yazar	Pdli mrl er	Örnekl er	Öçüm metodu	Penetrasyon derinli ğ [um]	Isı [°C]	Süre [dak.]
Voyutskii	PVC/PMMA	Fd yd ar	Elektron mikroskopisi, Fotometri	0,3	210-220	--
"	PVC/PMMA	"	"	0,10-0,13	160-170	--
"	PVC/PBMA	"	"	0,1	210-220	--
Yamakawa	LDPE/EVA	"	İnterferenz mikroskopisi	3,3-5,0	140	5
Letz	i-PP/PE	Fd yd ar ve toz karışımına	Fazlar-Kontrast mikroskopisi	2,9	160	20
"	PVC/PE	"	"	8,5	160	20
Kr yszewski	PE/PP	Fd yd ar	Işık mikroskopisi	100	180	60

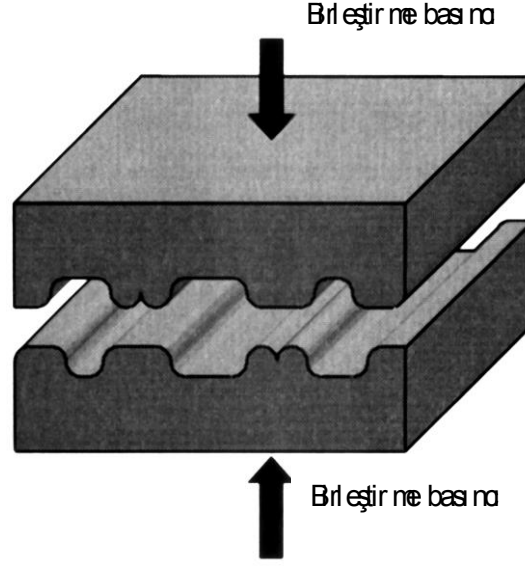
Eğer hızlandırılmış difüzyon için çevre şartları yaratılacak dursa interfüzyon işlemini temel de iyileştirilmesi mümkün d maktadır.

2.5.2 Temas Teorisi

İki pdli mrl er arasında adezyonun mümkün dabilmesi için temel ön şart, birleştirilecek her iki parçanın yüzeylerinin birbirleri ile temas halinde bulunmalarıdır. Normal şartlar altında pdli mrl erin yüzeyi düzensizlikler içereceğinden birleştirilecek parçaların yüzeyleri arasındaki temas sınırlı dacaktır. Birleştirme basıncının uygulanmasıyla birleştirilecek parçaların yüzeyi deforme edilir ve böylece bu düzensizlik ortadan kaldırılır. Bu işlemler temas yüzeyinin büyümesi ne ve adezyonun daha etkili gerçekleşmesi ne neden dır [18].

Temas teorisi, birleştirilecek parçaların yüzeylerinin birleştirme basıncı altında deforme dacakları ve süreye bağlı d araktam uyum sağlayacakları varsayımından hareket eder. Kalıta deformasyonu için sı da göz önündetutularak viskoelastoplastik bir malzeme kanunu temel alınmaktadır. Şekil 2.14'de silindır ve düzlemlerden

düşan iki yüzey gösterilmiştir. Birleştirilecek parçaların yüzeylerinin matematiksel ifadesi için pürüzlülük yüzeylerinin düzensizliği boşluklardan, kürelerden, düzlüklerden ve silindirlere düşen bir kombinasyon olarak tanımlanmaktadır

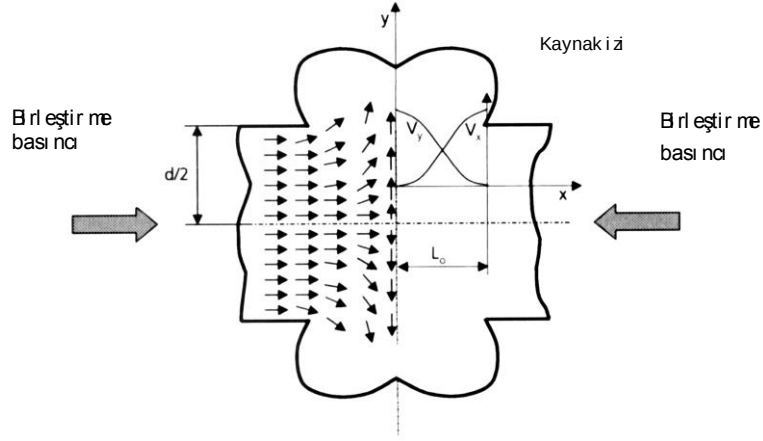


Şekil 2.14 Silindirik ve düzlemlere düşen iki yüzey.

Hesaplamalar, azami dikış sağanlığına ulaşabilmek için gereken ısı etkileme sürelerinin 10 dakika ve üzerinde olduğunu ve böylece gerçek kaynaklama işlemleri ne nazaran oldukça uzun sürdüğünü ortaya koymaktadır

2.5.3 Aşgari Akış Hızı

Isı ilemanıyla kaynak işlemlerinde yüzeylerin deformasyonu ve difüzyonun aynı anda gerçekleştiği varsayımından hareket etmektedir. Kısa kaynaklama sürelerinde yüksek düzeyde dikış sağanlığına ulaşabilmesinin nederi kaynaklama işleminin sırasında yoğunluğu birleştirme basıncına ve eriyen bölgenin genişliğine bağlıdır. Bu konu ile ilgili teori eriyik miktarlarının dikışer üzerinde helizon şekilleri oluşturacak kadar fazla miktarlara ulaşabilen gözlenimine dayanmaktadır[20].



Şekil 2.15 Işı d emanıyla kaynak işleminde hız alanının gösterilmesi [21].

Kaynak dikişinin sağanlığı τ d füzyon (τ_D), gevşeme (τ_R) ve bir akış hızı faktörünün (τ_{fl}) etkilerinin sonucunda oluşur. Bunların arasında en fazla etkiyi akış hızı faktörü yapar[19].

$$\tau = \tau_D + \tau_R + \tau_{fl} \quad (2.3)$$

Akış hızı faktörü dikiş sağanlığına en büyük etkiyi yaptığından aşağıdaki hususlar geçerlidir.

$$\tau \approx \tau_{fl} \cong v_l \quad (2.4)$$

Birleştirme işleminin akış hızının bütün işlem parametrelerini içeren basit bir matematik denklemi oluşturulur. Akış hızı, erime ve dikiş sağanlığı arasında belirgin bir bağlantı bulunmaktadır[19].

Işı d emanı ile kaynak işleminde önem taşıyan değerler başka kaynak işlemlerine uygulanmaları mümkün olmayan işleme özgü değerlerdir. Bu yüzden ışı n transmisyon kaynaklarında akış hızı v_l , sıfıra eşit olduğu halde yüksek dikiş sağanlıklarına ulaşabilmektedir.

Birleştirme işleminin hem ısı d emanı kaynağında hem de transmisyon kaynağında oluşan fiziksel mekanizmaları temel olarak üç değere bağdırılır: Sıcaklık, pdi merinin sıcaklığının T_G veya T_K 'nin üzerinde bulunduğu süre anlamına gelen sıcaklık etki süresi ve uygulanan asgari birleştirme basıncı.

Transmisyon kaynağı işleminde hem sıcaklık etki süresi, hem de sıcaklık lazer ışınının pdi mer üzerindeki etki süresinden ve kullanılan lazer ışınının gücünden

etkililerler. 2 mm çapında bir ışı n ve dakikada 0,5 mlik bir destek elazer ışı n n n pdi mer üzerindeki etki süresi 0,24s dacaktır. Daha yüksek destek hızları uygulandığında etki süresi düşer. Etki süresi boyunca pdi mer oda ısı sından erime sıcaklığ ının üzeri ne kadar ısıtılır. Hesaplamalar ısı etki süreleri n dakikada 0,5 m destek elazer gücü 25 W 1,27s veya 1 m dakikada destek elazer gücü 30 W 0,63 s düzeyi nde gerçekl eşeceğ i n ortalaya koymaktadır[22].

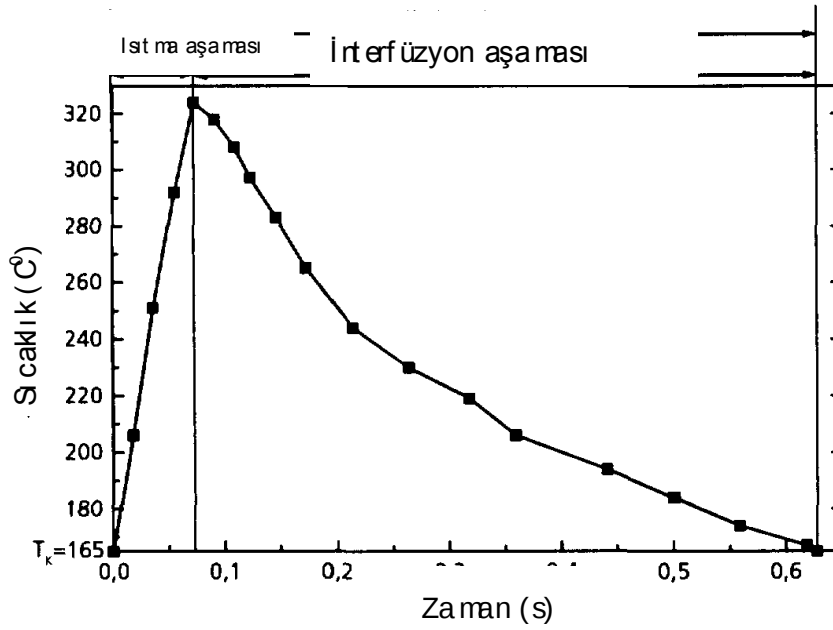
Farklı ısı etki süreleri ne rağmen ul aşıl an kaynak dikiş i sağ anlığı neredeyse aynı düzeydedir. Bu durum birleştiril ecek parçalar arasında bir bağ antı sağlayabilmek için gereken yer değ iş tirme iş lenheri n n 0,63 saniyeden daha kısa sürelerde gerçekl eştirilmesi n yerinde dacağı sonucunu doğur maktadır.

Tabl o 2.2 de T_K üzerindeki ısı etki süreleri , etki süreleri ve kaynak dikiş i n n ul aşıl an sağ anlığı listelenmiştir.

Tabl o 2.2 Hesaplanan POM için T_K üzerindeki sıcaklık etki süreleri, kaynak dikiş i sağ anlığı [22].

Destek [mm]	Güç [W]	Sıcaklık Süresi	Etki Etki süresi [s]	Kaynak Dikiş i n n Sağ anlığı [N mm ²]
0,5	25	1,27	0,24	23,5
0,75	27,5	0,79	0,16	24,1
1,0	30	0,63	0,12	24,0

Şekil 2.16 da kaynaklama iş leni süresi ndeki sıcaklık geliş i m gösterilmektedir. Azami sıcaklığ a ul aşıl ncaya kadar geçen süre elazer ışı n n n pdi mer üzerindeki etki süresi ile aynıdır.



Şekil 2.16 Diod lazeri ile kaynaklama işleminde [22].

2.5.4 Karışık kristal hipotezi

Karışık kristal hipotezi, iç içe geçmiş karışım polidilende kaynaklama işleminin uygulanabilirliği tanımlar [21]. Bu hipotez, iç içe geçmiş karışım polidillerinin (PE-X bu da aralar sadece amorf bölgede yer alırlar) kristalleşme noktalarının üzerindeki sıcaklıklarda sırt yüzeyi üzerinde yoğun yerleşimleri neye ulaşacak düzeyde hareketlilik gösterdiği noktasından hareket etmektedir. Bu devreyi izleyen soğutma ve tekrar kristalleşme sırasında her iki polimerin birbirine karışmış kristallerinden oluşan kristalize alar oluşur.

Bu görüşü zomorf polimerlerin kokri kristalizasyon gerçekleştirebilecekleri ve PE ve PP gibi karıştırılmayan polimerlerin birlikte kristalleşmeyecekleri ve bu yüzden ayrışacakları konusuna dikkat çekilerek desteklenmektedir [23].

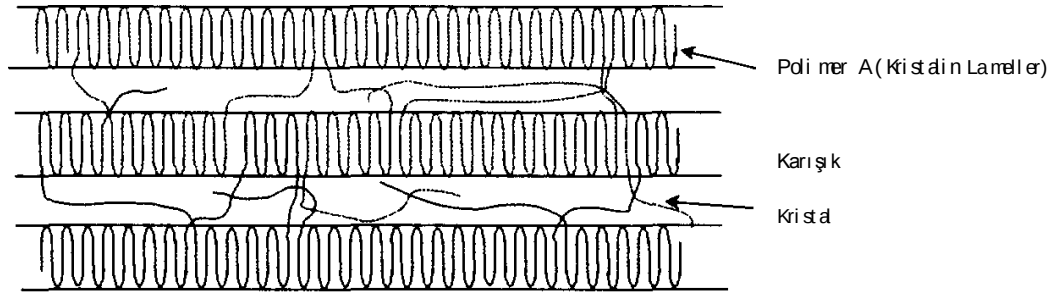
Polimerlerin kaynaklanması açısından bakıldığında zomorf polimerlerin kokri kristalizasyonu ile ilgili olarak bu yazıda daha geniş bilgi verilmemektedir.

Polimer zincirlerinin birbirleri ile karışım ve yeni konumlarına yerleşmeleri kristal karışım hipotezi uyarınca sadece sırt yüzeyi birbirleri netleşen bölgelerinde meydana geldiğinden, diod lazeri ile transimiyon kaynaklama sırasında oluşan difüzyon sınır tabakasının oluşumunun açıklanmasında kristal karışım hipotezi kullanılabilir. İşin transimiyonu ile kaynaklamada kaynaklama işleminden önce birleştirilecek her iki parça kararlı bir konumda bir araya getirilir. Birleştirilecek

parçaların yüzeyinde kirlenmeler dmadığı varsayılacak dursa birleştirilecek parçaların arasındaki tek fark, sınır yüzeylerindeki pdi mer zînlilerinin konumlarıdır.

Burada pdi mer zînlileri sınır tabakaya paralel uzanırlar ve bu bölünlerde lamel yapılarında kısmen katlanma gösterirler.

Isınma aşamasında ısı lazer ışığını yutan parça tarafından şeffaf birleştirme parçası nail edilir. Birleştirilecek her iki parça da polimerin düzensiz titretilen hareket (makro Brown hareketi) içine gireceği şekilde akışkan eriyik konumuna geçerler. Bu düzensiz hareket sonucu sınır yüzeyler ortadan kalkar ve ortak bir eriyik banyosu oluşur. Zînlilerin akışkan eriyik konumundaki yüksek hareketliliği birleştirilecek her iki parçanın kendiliğinden birbirleri ile karışmasına yd açar ; yer değ iş i mheri oluşur. Zînliler soğutma aşamasında tekrar birbirlerine göre konumlarını düzletirler ve eski sınır yüzeylerinin olduğu bölgede birleştirilecek her iki parçanın pdi mer zînlilerinden oluşan lameller meydana gelir. Bu karışık kristallerin yapısı Şekil 2.17 de gösterilmektedir. Burada saf pdi mer A ve pdi mer B den oluşmuş lameller görülmektedir. Yer değ iş i mheri sonucu sınır yüzeyde bağ antı molekülleri aracılığıyla diğer lamellere bağ lı olan karışık kristaller oluşmuştur.



Şekil 2.17 Ortak tekrar kristalleşme sonrası birleştirme düzeyi [24].

Bu yer değ iş i mheri, ısıntı trans mision kaynak lı ama yönt emini ğ in hesap lanan sıcak lık et ki süre d erini n altında kal ması zor unl u d an belirli bir sürece i htiyaç göster mekt ed rler. Bu neder le yür ü t ü l m es i gereken d ğ er iş l er i n baş ında yüksek bir d kiş dayanı klılı ğ sağ ayabil meki ğ in hang i m i n e l süre d erini n gerekli d u ğ unu belirlemek g e l m e k t e d r.

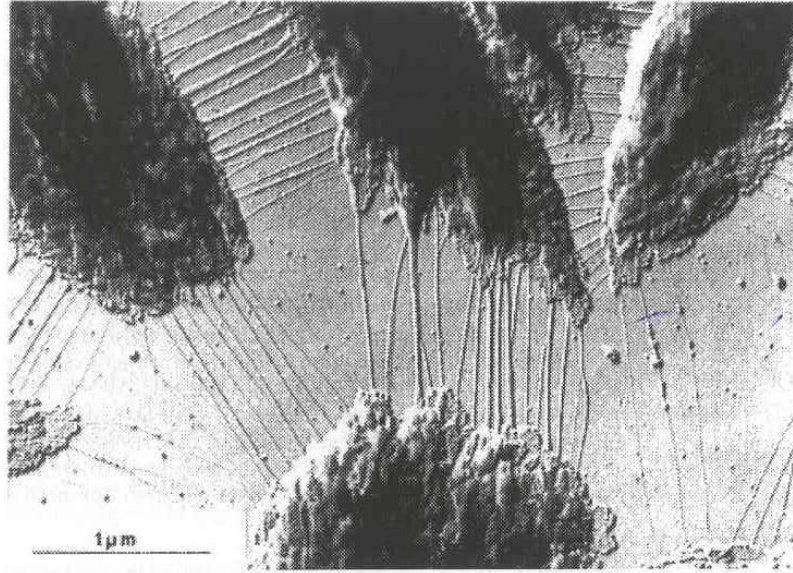
2.5.5 Nexus- Hi pot ezi

Nexus- Hi pot ezi karışık kristaller hi pot ezi ni n fi k i r l e r i ü z e r i n e k u r u l m u ş t u r. Ancak karışık kristaller hi pot ezi nden farklı d arak yüksek dayanı klılık sağ ayabil meki ğ in her iki pdi mer i n makro m o l e k ü l l e r i n i n s ı n ı r y ü z e y d e k r i s t a l i z e d u ş a r ı t e k b a ş ı n a y e t e r l i d e ğ i l d r, a k s i n e k a r ı ş ı k k r i s t a l l e r i n t e k t e k l a m e l l e r a r a s ı n d a y ü k s e k s a y ı d a b a ğ a n t ı m o l e k ü l l e r i i ç e r m e l e r i ö n e m t a ş ı m a k t a d ı r [21].

Lameller arasında yüksek bir Nexus oluşturmak için gerekli görülen kriterler aşağıda sayılmaktadır:

- Isı (yüksek sıcaklık polimerlerin hareketliliğini artırır).
- Molekül ağırlığı (yüksek molekül ağırlığı hareketliliği azaltır ve polimer zincirlerini lameller içinde birden fazla sayıda dönüşümü ihtimalini yaratır)
- Yan zincirlerin sayısı ve uzunluğu (Yan zincirler lamel dönüşümünü önlerler ancak diğer taraftan da yeterli uzunlukta olduklarında birden fazla sayıda lamelin parçası dâhil edilir).
- Kristalizasyon kinetiği (kristallerin çok yavaş dönüşmesi sonucunda sferditler çok büyüyebilir).
- Deformasyon kinetiği (güçlü makas etkisi birleşmeyi engeller. Kristalizasyon önce birbirlerinden makas etkisi ile ayrılan bölgelerde düşecek dursa birleşme artık mümkün olamaz.)

Bağartı moleküllerinin varlığı bu güne kadar sadece kristalizasyon dönüşümünde parafinin çözülmesi ve ayrıştığı PE'nin parafin karışımı ile ortaklaşa kristalizasyonu yoluyla kanıtlanmıştır [25]. Polimerlerin kaynaklanmasında bu kanıtlama henüz yapılmamıştır.



Şekil 2 18 PE lamelleri arasında bağartı molekülleri [25].

Yukarıdaki bilgileri ışığında Nexus-Hipotezi şöyle formüle edilmektedir [21] :

"Yüksek kalitede kaynak d i ş l e r i yüksek bir Nexus ve aynı zamanda yüksek sayı da lam e bağ art ı s ı sonucunda sağ anab il m ekt ed r. Aynı zamanda yüksek m o l e k ü l hareketlili ğ ile uzun ana m o l e k ü l ve yan m o l e k ü l z i n d i r l e r i n kaynak d i ş l e n e yer l e ş m e l e r i de ö n e m t a ş ı m a k t a d ı r.

Bu l a r k r i s t a l i z a s y o n h ız ı n ı n d ü ş ü k d ü ğ ü d u r u m l a r d a b i r ç o k ç e k i r d e k l e ş m e m e r k e z i n d e b i r ç o k k ü ç ü k s f e r d i t i ğ i n e yer l e ş m e l i d i r l e r. D i ğ e r t a r a f t a n m a k a s l a m a d u ş m a m ı d ı r: ‘

Bu h i p o t e z i n k o n t r d ü n d e P E T l e r e u y g u l a n a n ç e ş i t l i k r i s t a l i z a s y o n d u r u m l a r ı i l e kaynak d i ş l e r i i ğ i n d e s e n i m k r i s t a l e ş m i ş t e r m o p l a s t l a r d a n d u ş a n k r i s t a l i z a s y o n u n ö n e m l i b i r r d o y n a d ı ğ k a n t l a n a b i l m e k t e d r. P E - X i l e P E - H D v e y a P E - X a r a s ı n d a k i kaynak bağ art ı l a r ı k r i s t a l i n e r i m e s ı c a k ı l ı k a n ı a ş ı l d ı ğ a n d a ç ö z ü l m e k t e d r l e r. B u n a g ö r e i ç i ç e g e ç m i ş k a r ı ş ı m p d i e t i l e r l e r i n kaynak d i ş l e r i n d e k i g ü ç i l d i m i n i n t a m a m e n k a r ı ş ı k k r i s t a l i z a s y o n a b a ğ ı d ü ğ ü i l e r i s ü r ü l e b i l i r. A n c a k k ö t ü v e i y i kaynak d i ş l e r i a r a s ı n d a k i f a r k ı n bağ art ı m o l e k ü l l e r i n i n v a r l ı ğ i l e i l i ş k i s i k a n t l a n a m a m ı ş t ı r. K ö t ü kaynak d i ş l e r i n d e b e l i r ğ i n b i r ş e k i l d e k a b a s p h e r d i t i k y a p ı l a n m a l a r t e s p i t e d i l m i ş t i r.

D i ğ e r t a r a f t a n ı s ı d e m a n ı i l e k a y n a k i ş l e m i n d e i y i b i r k a y n a k d i ş l e d e e t m e k i ğ i n b ü y ü k e r i m e h a r e k e t l e r i n i n h e r z a m a n ş a r t d m a d ı ğ ı d a g ö r ü l m e k t e d r.

2.6 D y o t l a z e r i ı ş ı ğ ı n n p d i m e r l e r l e e t k i l e ş i m i n i n i n c e l e n m e s i

P d i m e r z i n d i r l e r i k a t ı d u r u m d a y k e n m o l e k ü l g r u p l a r ı h a l i n d e d i r l e r. B u d u r u m d a p d i m e r z i n d i r l e r i f a r k l ı k o n u m l a r d a g r u p d u ş t u r a b i l i r l e r. B a z ı p d i m e r l e r k r i s t a l i n v e y a s e n i m k r i s t a l i n y a p ı l a r ı d u ş t u r u r k e n, d i ğ e r p d i m e r l e r k r i s t a l i n y a p ı s ı d u ş t u r m a e ğ l i n i g ö s t e r m e z l e r. B u l a r a a m o r f p d i m e r l e r d e r i r.

P d i m e r i n i ğ i n d e k i y a p ı l a n m a l a z e r ı ş ı l a r ı n ı n p d i m e r i ğ i n d e n g e ç i ş i s ı r a s ı n d a d e ğ i ş i k e t k i l e r d u ş m a s ı n a y d a ç a r. L a z e r ı ş ı n ı b i r s ö n ü m l e m e y e u ğ r a r. S ö n ü m l e m e ı ş ı n ı n d a ğ ı l ı m ı n a v e y u t m a s ı n a b a ğ ı d a r a k d u ş u r. D a ğ ı l ı m s ı r a s ı n d a l a z e r ı ş ı n ı t o p l a m y o ğ u r l u ğ u d e ğ i ş m e k s i z i n e s a s y ö n ü n d e n s a p t ı r ı l ı r. Y u t m a d a i s e e s a s ı ş ı n ı n h a r e k e t y ö n ü d e ğ i ş m e z k e n o p t i k e n e r j i h a r e k e t e n e r j i s i n e (ı s ı y a) d ö n ü ş ü r. Y u t m a n ı n s o n u c u p d i m e r i n e r i m e s i n e y d a ç a b ı l e c e k b i r s ı c a k ı l ı k a r t ı ş ı d ı r. L a z e r ı ş ı n ı n a g ö r e v_s h ız ı y l a h a r e k e t e t t i r i l e n b i r ö r n e ğ i n e n e r j i d e ğ i ş i m i ş ö y l e h e s a p a n ı r :

$$\frac{\partial E}{\partial t} + v_s \frac{\partial E}{\partial x} = Q_L - \Delta(K\Delta T) \quad (2.4)$$

Bu formülde, E enerji yoğunluğu, Q_L lazer ışınının hacim ve süre birimi başına değiştirilen optik enerjisi, K ısı iletkenlik katsayısı ve T sıcaklık anlamına gelmektedir. Kaynak termi Q_L , yoğunlukla orantılıdır :

$$Q_L = \gamma \cdot I \quad (2.5)$$

Orantılama faktörü γ Extinktion (sönümleme) katsayısıdır. γ katsayısının üzerindeki güç yoğunluğu dağılımı, serbest ışıktan (polarizasyonlu) farklı bir ortam bağımlılığını gösterir. Işının bu ortam bağımlılığı veya polarizasyonlu ortamdaki propagasyonu (ilerlemesi) ışın - transfer denklemi ile anlatılabilir [26].

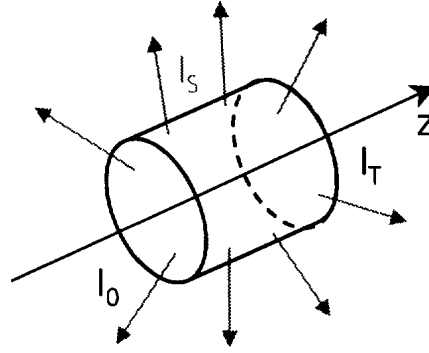
Işının ilerlemesi üzerindeki düşme burada z eksen boyunca anlatılmaktadır. Işın eksen boyunca devam eden hareketi sırasında yoğunluğunda bir değişim geçirir. İntensitenin I, z eksen boyunca değişimin başlangıç intensitesi ile orantılıdır. Orantılama faktörü Extinktion (sönümleme) katsayısından γ dir:

$$\frac{dI}{dz} = -\gamma I \quad (2.6)$$

Sönümleme katsayısı γ polarizasyonlu ışının optik özelliklerine (c , n_0 , T) ve ışının dalga boyuna bağlıdır. Şekil 2.19 da ışın transferi denklemi verilmiştir. Işın z eksen boyunca yayılır ve kendisini çevreleyen silindirin eksenine iletilir. Işının z eksen üzerindeki yayılımının aşağıdaki denklem geçerlidir :

$$I_0 - I_T = I_S + I_A \quad (2.7)$$

bu denklemde I_0 giren ışın, I_S dağılan ışın, I_A silindriğin yutulan ışını ve I_T de silindirden çıkan ışını temsil etmektedir.



Şekil 2.19 Işığın transfer denkleminin çizimle açıklanması [26].

Lazer ışını polimeri içinden geçerken sönmeye uğradığından bu durumun lazer ışını ile yapılan transmisyon kaynağı üzerinde de etkisi vardır. Sönümleme, polimerlerin yapı özellikleri ile yakından bağlı olan optik özellikleri tarafından etkiler. Bu bölümün amacı lazer ışınının polimeri içinden geçiş sırasındaki optik etkileri incelemektir.

2.6.1 Polimerlerin Moleküler ve Molekül Üstü Yapıları

Monomerlerinki yapısal yapısı polimerin yapı düzeni düzenini belirler. Aynı yapı düzeninde moleküllerin polimer zincirlerinde farklı konumlarda yerleşmeleri mümkündür (Konfigürasyon). Muhtemel farklı konfigürasyonlar, polimer zincirlerinin farklı hacimsel düzenler şeklinde (Konformasyon) yapılanmalarına yol açarlar. Konformasyonun yapı düzeni düzeni düzeninde önemli bir etkisi vardır. Moleküler üst yapıların, bir kristal örgüsünde yer alan üç boyutlu düzenlerinin meydana gelmeleri buna örnektir [11].

2.6.1.1 Amorf Hal

Atomları arasında bir yakın düzen (yani komşu atomlar arasında sabit aralıklar) ve bir uzak düzen (bir temel ünitenin düzenli tekrarı) bulunan kristalden farklı olarak, amorf polimerlerde sadece bir yakın düzen bulunur [27]. Bu bölgesel düzenin boyutları her yönde bir kaç nanometreye kadar uzanır.

Amorf polimerlerin elektron mikroskopları aracılığıyla incelenmesinde, bunların zincir konformasyonlarına bağlı heterojenliğin üzerindeki boyutlarda, yani 10 nm ölçeklerinde moleküler üst yapılar oluşturdukları görülmüştür [11]. Bu tip polimerler, söz konusu alanların küçük olması nedeniyle diffraksiyon (kırılma) efekti göstermezler ve bu yüzden optik yoldan izlenirler.

İki veya daha fazla sayıdaki pdi merinin karışımından veya kopdimerlerden (mesel a ABS) oluşan çok fazlı amorf pdi merlerinin davranış biçimi ise farklıdır. Burada, karışımı oluşturan pdi merlerinin uyumsuzluğu nedeniyle ortaya çıkan faz ayrımını yüzünden oluştugu düşünülen belirgin üst yapılar gözlenmektedir.

Bazı pdi merlerinin düzenli yapılanmalar oluşturmaları, moleküler yapılarından kaynaklanmaktadır. Böylece mesel a büyük, düzensiz yerleşmiş yan gruplar bir kristal örgü oluşturmamayı engeller. Butil pdi mer oluşturmaları natiplik bir örnek ataktik pdi stirendir.

Komonomerlerin pdi mer zindiri içine yerleşmesi de aynı şekilde pdi merinin düzenli yapısını bozar ve bu nedenle kristalizasyon eğilimini azaltır.

Dallanma da kristalizasyon eğilimini azaltan bir faktördür. Bu yüzden tamamen lineer olan HDPE yüksek oranda (> 80 %) kristalin yapıdayken dallanmış zindirleri bulunan LDPE sadece %60 kristalin yapıdadır[12].

2.6.1.2 Kristalin Hal

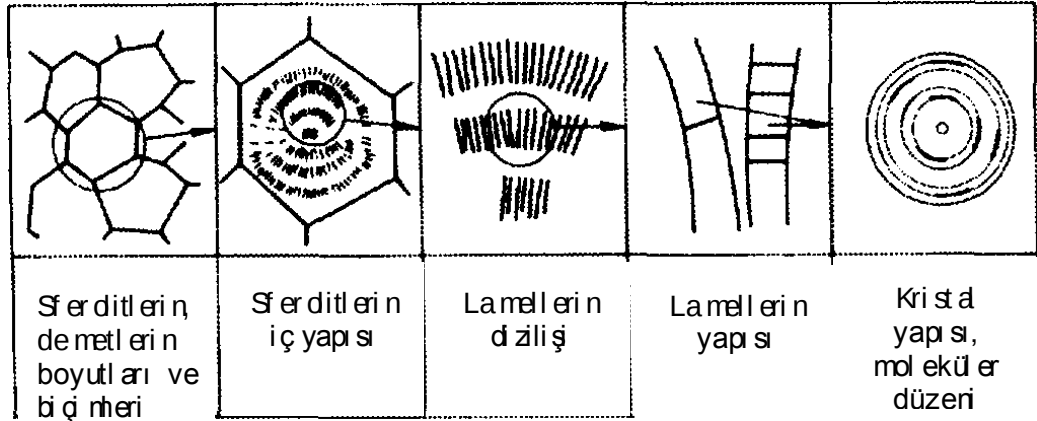
Pdi mer zindirleri bir uzak düzen oluşturdıkları zaman kristalin pdi merler olarak adlandırılırlar. Pdi merlerin kristalizasyon için ön şart pdi mer zindirlerinin düzenli bir yapılanma içinde olmasıdır.

Ancak karşılıklı olarak birbirlerinin içine giren pdi mer zindirlerinin engellemesi yüzünden tam bir kristalizasyon oluşturmaz ve sadece sınırlı bir kristalinite oluşturmaya gözerir. Bu tip yapılara da semikristalin yapılar denir.

Semikristalin pdi merler moleküler üst yapılar oluşturmaya eğilimlidirler. Üst yapıların en sık rastlanan biçimi, gelişmeleri bir merkezden radyal simetrik olarak oluşan sferditlerdir. Sferditler semikristalin pdimer içinde çokyüzlü bir şekil oluştururlar[27]. Bu çokyüzlü şekiller radyal simetrik olarak gelişen sferditlerin çarpışması sonucu doğalar ve eşit ölçüde hadisel gelişmelerini oluşturmamayı engeller. Sferditlerin çapları bir kaç mikrometreye kadar büyüyebilmektedir[28].

Sferditlerin iç yapısına genel bir bakış aşağıda yer alan Şekil 2.20 de gösterilmektedir[11].

Sferditlerin karakteristik yapı elemanları lamellerdir. Bunlar sferditlerinin iç yapısını oluşturlar. İç yapı lamellerinin hadiminde dizilmeleriyle oluşur. Lameller de bir mesel pdi mer zindirlerinden meydana gelmişlerdir.



$\approx 100 \mu\text{m}$

10μ

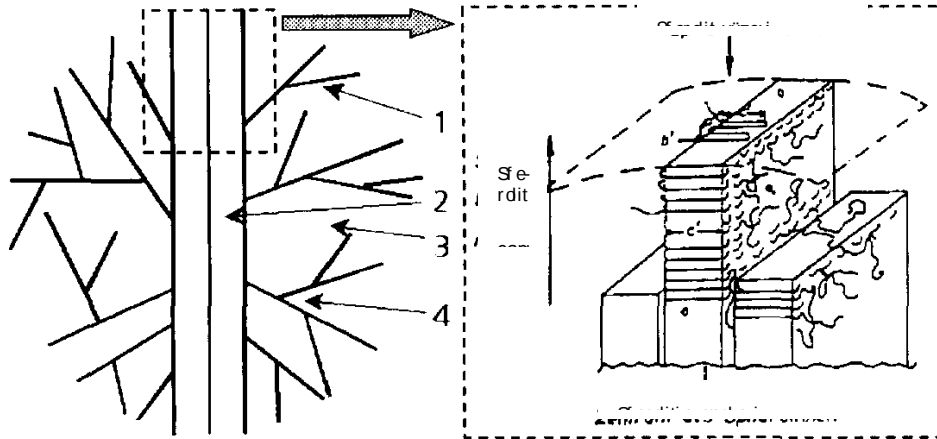
$1\mu\text{m}$

100nm

10nm

Şekil 2.20 Semicrystalline polimerlerde tipik yapı elemanlarının ve boyutlarının şeması[28].

Şekil 2.21'de bir sferditi yapısı şematik olarak gösterilmektedir. Buna göre bir sferdit kristalin bölünmeden, lamellere (1), çekirdekten (2) ve burların arasında yer alan kristalize dâimî bölgeden (3) meydana gelmektedir. Kristalize bölüm ile arada yer alan kristalize dâimî bölümler arasındaki kütle oran kristalizasyon şartları ve polimer zincirlerinin moleküler yapısı tarafından belirlenir. Lameller komşu lamelle paralel veya belirli bir açıyla düştürülerek uzanabilirler (4). Sferditler amorf malzeme ile çevrili oldukları için 3 fazlı bir modelden söz edilebilir[28].

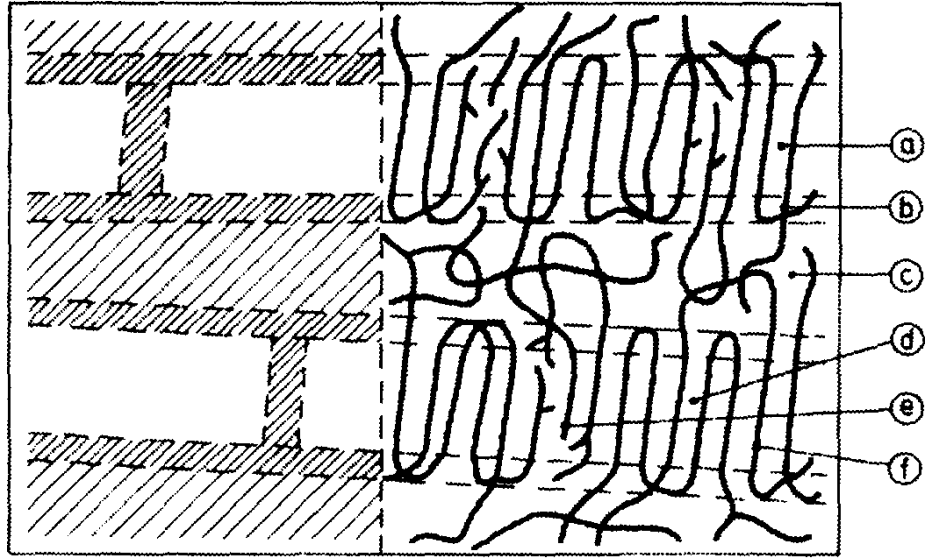


Şekil 2.21 Bir sferditi büyülmüş lamel düzeni ile şematik yapısı[28].

Sferditleri oluşturan karakteristik yapı elemanları Şekil 2.22 de gösterildiği üzere aşağıdaki gibi yapılandırılmış anlamlıdır:

- Kristalin lamel içi (a), amorf lamel sınır tabakası (b) ve lameller arasında yer alan amorf bölge (c).
- Zincirlerin sınır tabakalarında geri kalması (b).

- Kristalizasyonu mümkün olmayan zîr bđ ünleri amorf sınırlar tabakalarında ve lameller arasında uzanan amorf Defekt tabakalardadır (b, e).
- Amorf tabakalar arasında küçük kristalit blokları bulunur (d).
- Sferditlerin zîrleri yaklaşık 5 - 20 derece eğim gösterirler (f).
- Lameller arasındaki amorf bđ gelerde en azından bir lamelin yapı parçası olan düğümler ve bağlantımlı ekülleri yer alır (c) deneyler



Şekil 2.22 Lamellerin ve lameller arasındaki tabakaların konumu [11].

Lamellerin ve sferditlerin yapıları tektip değildir. Farklı lameller hem tipi, yapıları ve büyüklüğüne göre hem de molekül üstü yapıda uşurmak için bir araya gelmeleriyle ayrılırlar [11]. Bu nedenle polimer zîrlerini konstitusyon ve konfigürasyonları aynı olan polimerlerde de farklı bir yapılanma gözlenebilir. Bu doğru polimeri olarak adlandırılır [23].

Lamellerin ve sferditlerin uzunluklarının ve yapılarının ne kadar farklı dabilecekları molekül ağırlıkları (M_w) farklı olan PE örnekleri üzerinde incedenmiştir [11]. Molekül ağırlığı düşük M_w ($< 2 \times 10^4$ g/mol) olan polimerlerde lameller, sınırlı bir açı bđ gesinde kat kat d uşunlar halinde uzanan demetler veya birbirine neredeyse paralel uzanan demetler halinde yer alırlar. Lameller küçük bir amorf bđ ge ile çevrelenmiştir. Moleküller ağırlığı orta düzeyde olan M_w (3×10^4 g/mol $< M_w < 10^5$ g/mol) polimerlerin demetleri de alt yapılar d uşur ve ortak merkezli hacimlerin şeklinde sferditlere geçiş başlar. Moleküller ağırlığı daha da büyük olan M_w ($M_w > 10^5$ g/mol) polimerlerde sadece kısa, çoğu tamamamen düzensiz dağılmış lameller bulunur. Artık

bir üst yapı görülmemektedir. Lamel kalınlığı ve özellikle lameller arasındaki boşluğun kalınlığı artar. Uzun zincirlerin hareketliliği daha düşük olduğu ve bu nedenle kristalizasyon sırasında birbirlerini engelledikleri için kristalizasyon oranı da artar[29].

Lamel ve lamel üzeri yapılar mesela esneklik, gerileşme, sağanlık veya optik görünüşleri gibi fiziksel özellikleri ile birbirlerinden ayrılırlar[25].

Pdimerlerin kristalizasyonu aşağıdaki şekil de gerçek eşir :

Eriyik içinde düzenlenmedeki iniş çıkış sayesinde bir veya birden fazla molekül den oluşan birden fazla pdimer zinciri grubu bir ön filiz meydana getirebilirler. Bunun sonucunda pdimer zinciri grupları dikdörtgen prizma şeklinde bir filiz halinde bir araya gelirler. Bu filizin gelişmeye devam etmesiyle bir hadimartış söz konusu olur ve sonunda kritik büyüklüğün aşılmasıyla diğer grupların açığa enerji çıkarak bağlanmaları mümkün hale gelir. Bu çekirdek filize veya eriyik içinde mevcut olan diğer partiküllere yine başka pdimer zincirleri eklenir. Bunlara da ikindil veya üçüncül filizler denir (İkindil filiz veya üçüncül filiz - Tamamılanmış bir kristal yüzey veya partikül üzerinde taban ile aynı kristalografik düzeni içinde yerleşen filizler) Bu arada sferditler veya başka üst yapılar şeklinde gelişebilecek olan başa lamellerin başlangıç noktası olan zincir grupları da birbirlerini izleyerek eklenirler[25].

Lamellerin oluşumu açığa çıkan kristalizasyon ısı ve bunun sonucunda pdimer zincirlerinin artan boşluk hareketliliği ile desteklenir. Yeni lamellerin oluşumunun sebebi ikindil ve üçüncül filiz oluşumu için uygun şartlardır. Böylece pdimer zincirleri terdihen komşu lamellerden dışarı doğru uzanan mevcut zincir gruplarına eklenirler. Her yeni oluşan lamel, komşu lamel ile arasında belirli bir mesafe bırakarak ya paralel ya da belirli bir açıyla amorf pdimeri içine doğru gelişmesine devam eder. (Sferditlerin dallanması). Lamellerin tipik boyutları : Uzunluk 10 nm Genişlik 0,1-10 nm Kalınlık 5-10 nm Lamellerin uzunlukları bir kaç mikrometreye ulaşabilirler[25].

2.7 Pdimer İçindeki Renk endiriciler

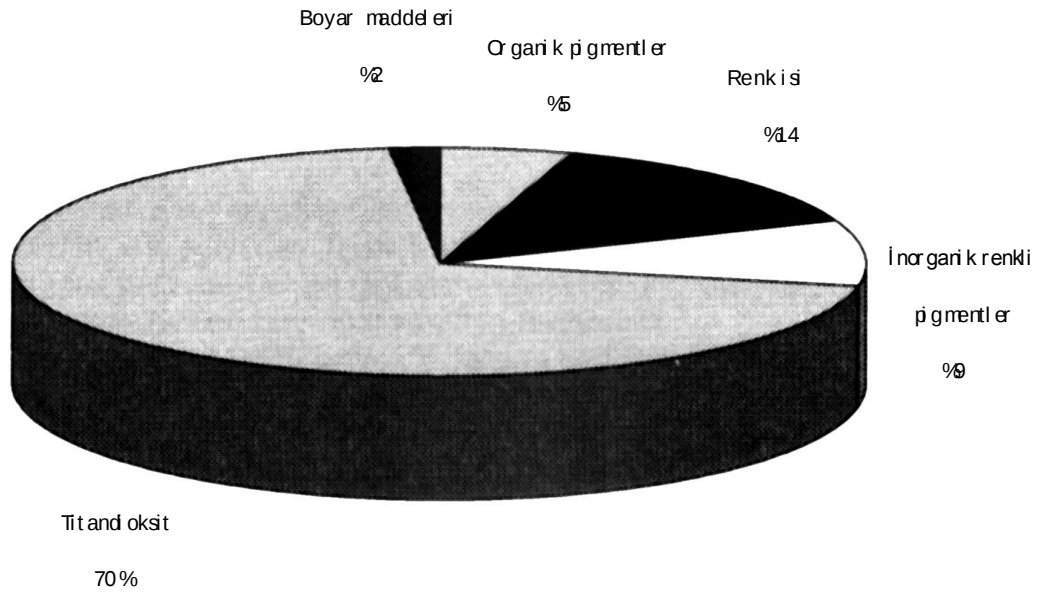
Günümüzde üretilen pdimerlerin büyük bir çoğunluğu renklendirilmektedirler. Bu amaçla kullanılan renklendiricilerin seçiminde estetik ihtiyaçlarıntatmin edilmesi yanı sıra aynı zamanda pratik nedenler de önemli bir rol oynamaktadırlar. Renklendiricilerin tanımlanmasında genel olarak renk etkisi ve renk maddesinden

söz edilmektedir. Renk etkisi dengiğinde insan gözünün algıladığı renk hissi artırmaktadır. Renklendirici maddeler de renklendirilecek pdi merinin içinde çözünebilir boyama maddeleri ile pdi merinin içinde çözülmeden kalan, ancak ince bir şekilde dağılan, yani disperse olan pigmentlerdir[29]. Renklendirici maddeler genel olarak üç gruba ayrılırlar :

- Anorganik Pigmentler
- Organik Pigmentler
- Boyar maddeler

Renklendiricilerin bu üç ana grubunun yanı sıra bir çok özel renklendirici veya efekt kazandırıcı maddeden de söz edilebilir. Bunların arasında kullanımları sadece renklendirme amacıyla hizmet etmeyen fonksiyonel renklendiriciler de yer almaktadır. Diyot lazeri ile transmisyon kaynağı açısından özellikle bunların arasında yer alan ve maksimum yutmaları NIR alanı nda bulunan NIR yutucu önem taşımaktadır.

Pdi merinin renklendirilmesi nde özellikle inorganik pigmentler kullanılmaktadır. Bunun nedeni renklendirilecek pdi merlerle iyi uyum sağlamak amacıyla özellikleri ve yüksek termal ve kimyasal stablilitedir. Bu nedenle pdi merinin renklendirilmesi nde organik renklendiriciler (pigmentler ve boyar maddeler) sadece % 7 oranında kullanılırken inorganik pigmentlerin kullanımları %75i aşmaktadır[1].



Şekil 2.23 Pdi merinin renklendirilmesi nde kullanılan renklendiricilerin yüzde olarak dağılımı[1].

Renklendiricilerin renk etkisini düştürmelerinde pigmentlerin ve boyar maddelerinin ışık yutumu ve ışık dispersiyonu aşağıda açıklandığı şekilde etkili olmaktadır.

- İnorganik beyaz pigmentlerde dispersiyon ile
- İnorganik renkli pigmentlerde kısmen yutma ve kısmen dispersiyon ile
- Organik pigmentlerde esas olarak yutma ve daha az oranda dispersiyon ile
- Boyar maddelerde yutma ile

Bahsedilen renklendiricilerin yanı sıra dispersiyonu (dağılım) pigmentinin kendisi de etkileyebilmektedir.

Renklendirici maddelerin çözelti ve plastik içinde optik özelliklerinin incelenmesi büyük ölçüde preparasyon ve temel renklendirici madde üreticileri tarafından yapılmaktadır. Ancak bu incelenmeler genellikle VISBLE (görünür) alan ile sınırlı kalmakta ve NIR alanını kapsamamaktadır.

Bu nedenle bir kaç yüz renklendirilmiş pigment örneklerinin NIR alanında gerçekleştirilmiş transmisyon ve refleksiyon ölçümlerinin sonuçlarının ortaya konması gerekmektedir.

2.7.1 Pigment Renklendirilmesinde Karbon Siyahı

Bütün dünya üzerinde endüstriyel olarak yılda yaklaşık 6 milyon ton üretilen karbon siyahının yaklaşık %1,5 - %3,5 kadarı pigment endüstrisinde kullanılmaktadır [1]. Endüstriyel olarak üretilen karbon siyahı kısmi yanma veya termal parçalanma yöntemleri ile hidrokarbonlardan elde edilmektedir. Bu üretim için en başta gelen yöntem günümüzde kullanılan karbon siyahının %98'lik bir çoğunluğunun üretiminde uygulanan Furnace yöntemidir. Furnace yönteminde genellikle yağ, taşıyıcı gaz ve havadan oluşan bir karışım kapalı bir reaktörde belirli şartlar altında kısmen yakılır. Bu şekilde elde edilen karbon siyahındaki karbon miktarı %95 ile %99,5 arasında değişir [1].

Karbon siyahı, içindeki primer parçacıkların büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Primer parçacık büyüklüğü primer parçacıkların ortalama büyüklüğünü gösterir ve karbon siyahı pigmentlerinde 10 ve 100 µm arasında değişebilir. Primer parçacık boyutlarının küçük olması nedeniyle karbon siyahı yüzeylere uygulandığında mükemmel agregatlar ve aglomeratlar düştürme eğilimi gösterir [1].

Karbon siyahı pigmentleri, elektromanyetik radyasyona karşı geniş bir dalga boyunda mükemmel bir absorpsiyon gösterirler. Dalga boyu sadece M S (görünür) dalga boyunu kapsamakla kalmaz, aynı zamanda (UV) ultraviyole ve (IR) kızıl ötesi (infrared) bölgelerini de içerir. Karbon siyahı çok yüksek absorpsiyon kapasitesi nedeniyle lazer transmisyon kaynağı olarak sadece absorbe edildi birleştirilecek parçalarda kullanılır. Böylece optik enerji iç enerjiye ve bu durumda ısıya dönüşmüştür. Isıya dönüşen enerji, üzerinde çalışılan parçanın sıcaklığını yükseltir ve erimesine yol açar[2].

Doğru tüksek boyuna yayılan lazer ışının intensitesi pdiriniğinden geçerken azalır. İntensitenin(I) eksen boyunca değışini başlangıç intensitesi (I₀) ile orantılıdır. Orantıyı belirleyen faktör extinktion (sönümlenme) katsayısı (γ) dir. Extinktion (sönümlenme) katsayısı absorpsiyon katsayısından (α) ve dağılım (dispersiyon) katsayısından (β) oluşur. α ve β lokal fonksiyonlar değilse o zaman :

$$I = I_0 e^{-(\alpha + \beta) d} \quad (2.8)$$

d = Malzeme kalınlığı

Güç yoğunluğu dağılımının başlangıçtaki değerin 1/é sine düştüğü karakteristik uzunluk optik penetrasyon derinliği δ_{opt} ($\delta_{opt} = 1 / \gamma$) olarak tanımlanır. Eğer absorpsiyon ve dispersiyon katsayıları biliniyorsa bu derinlik hesaplanabilir. Üzerinde çalışılan parça homojen ise dispersiyon düşmez. Böyle bir durumda $\beta = 0$ dir ve lazer ışınının propagasyon yönü korunmuştur. O zaman optik penetrasyon derinliği absorpsiyon katsayısından etkilendir[2].

Karbon siyahının meydana getirdiği agregatlar ve aglomeratlar yüzünden karbon siyahı pigmentlerinde absorpsiyonun yanı sıra parçacıkların geometrisi tarafından etkilenen bir ışın dispersiyonu da görülür. Işın dispersiyonu pdirinin primer parçacık büyüklükleri arttıkça fazla aşan bir şekilde rengi açılmasına yd açar. Diğer taraftan büyük primer parçacıklarda ışının dispersiyonundan ve absorpsiyonundan kaynaklanan renk derinliği ışın dağılımı arttığından azalır.

Kubelka-Munk- Teorisi ne göre renk ölçümünde absorpsiyon katsayısı K dispersiyon katsayısı S ve yansıma katsayısı R arasındaki ilişki:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (2.9)$$

Karbon siyahı pigmentlerinde $K \gg S$ olarak geçerlidir[2]. Yarı ışıntransmisyonu kaynaklamasında lazer ışınının dispersiyonu göz ardı edilebilir.

Ancak ışın sadece karbon siyahı içinde dağılır. Pdi merin yapısından kaynaklanan dispersiyon çok daha fazla dikkate alınmalıdır. Sem kristalin bir pdi mer dan PP, ışınları yayan üst yapılar duşurur.

Diyod lazeri iletransmisyon kaynaklaması işleminde doğal PP rin absorbsiyonu % 10 un altında kaldığından dispersiyon kat sayısı Sin hesaplanmasında dikkate alınmayabilir.

$$S = \frac{1 - R^2}{z(1 - R)} \quad (2.10)$$

PP için bu şekilde hesaplanan dispersiyon kat sayısı $S = 0,068 \text{ mm}^{-1}$ sonucunu vermektedir, yarı ışının dispersiyon yüzünden sönümlemesi (güç kaybı) çok düşüktür. Dispersiyon kat sayısının gösterdiği pdi mer içindeki dispersiyon gücü ne kadar düşük dursa ışının dispersiyon yüzünden uğradığı extinkti on (güç kaybı) da o kadar daha az etkil enmiş dır. Böylece ışının pdi mer içindeki güç kaybı sadece karbon siyahı partiküllerinin absorbsiyonuna bağlı kalacaktır; 2.8 denklemin şöyle basitleştirilebilir :

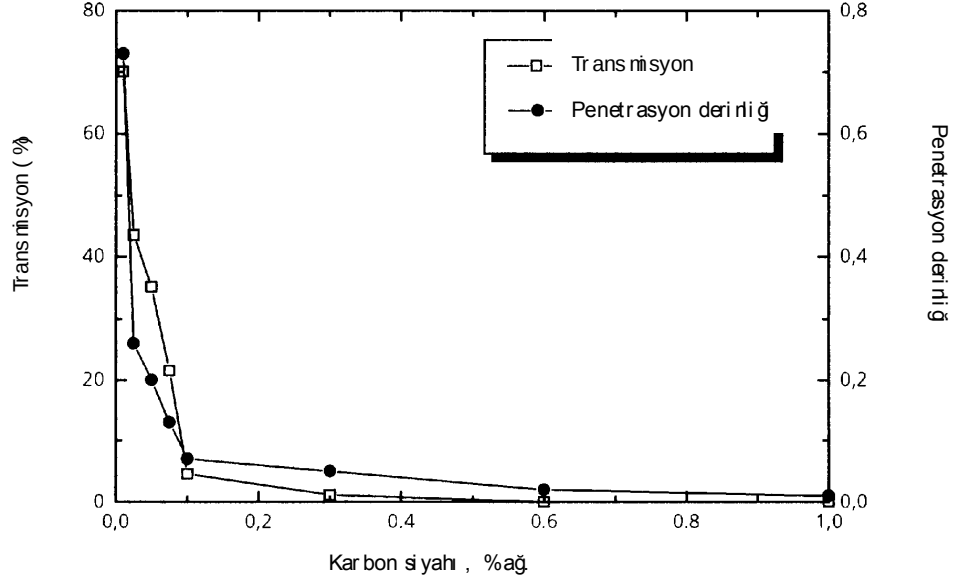
$$I(d) = I_0 e^{-(\alpha d)} \quad (2.11)$$

Bu denklemin yardımıyla kullanılan karbon siyahı uygulanmış PP rin optik penetrasyon derinliği δ_{opt} 2.12 sayılı denkleme göre hesaplanabilir. Bu arada optik penetrasyon derinliği absorbsiyon kat sayısı α nın reciprocal'ıdır. ($\delta_{opt} = 1/\alpha$).

$$\delta_{opt} = \frac{d}{\ln\left(\frac{1-R}{T}\right)} \quad (2.12)$$

Refleksiyon R ve Transmisyon T farklı pdi mer örneklerinde (malzeme kalınlığı d) spektrometre ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçardan optik penetrasyon derinliği hesaplanmıştır. Şekil 2.24 de karbon siyahı konsantrasyonunun değışiminin transmisyon ve penetrasyon derinliğine etkisi gösterilmektedir. Hesaplanan değerler 808 nm dalga boyuna dayanmaktadır. Şekil, karbon siyahı konsantrasyonunun az miktarda artırılması ile optik penetrasyon derinliğinin güd ü bir düşme gösterdiğini

açıkça ortaya koymakta ve böylece karbon siyahının NR bđgedeki mükemmel absorbsiyon kapasitesini kanıtlamaktadır. % 0,01 ve % 0,1 arasındaki karbon siyahı konsantrasyonlarında, karbon siyahı konsantrasyonu arttıkça hem penetrasyon derinliğinde hem de transmisyonda neredeyse dđkey bir düşme gözlenmektedir. %0,1 karbon siyahı konsantrasyonunda, hemtransmisyonun hem de optik penetrasyon derinliğinin küçük bir yükselme gösterdikleri veya sabit kalıma başladıkları noktaya erişilmiş dırmaktadır.



Şekil 2.24 Transmisyonun ve penetrasyon derinliğinin artan karbon siyahı konsantrasyonu ile değışmesi (malzeme kalınlığı 2 mm, dalga boyu 808 nm).

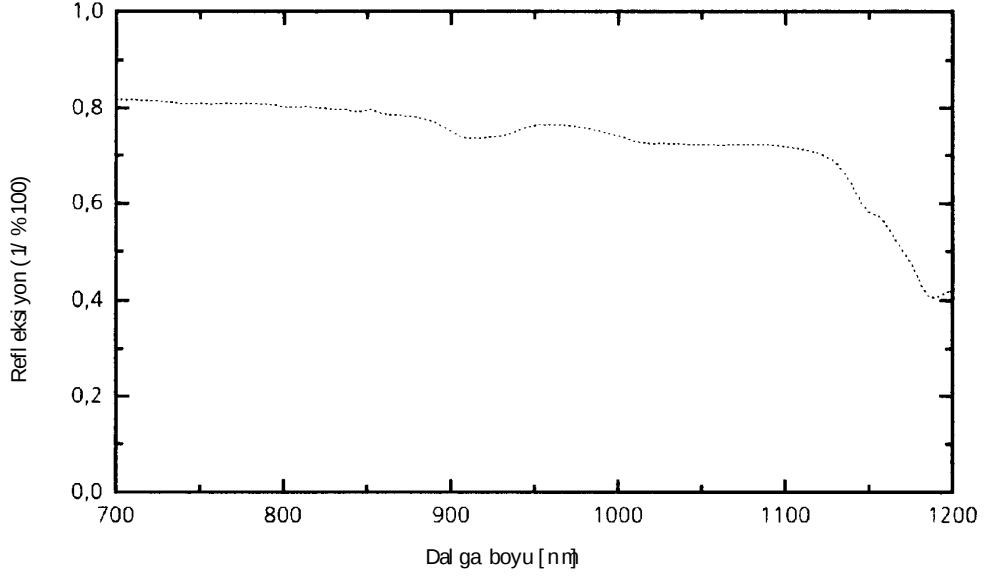
2.8 Dıydı Lazeri ile Yapılan Kaynakta NR Yutucu Kullanımı

Dıydı lazeri ile transmisyon kaynağının bugüne kadar endüstride kullanılan uygulamalarında yüksek yutucu özelliğı nedeniyle birleştirilecek parçaların yeri ne karbon siyahı karıştırılmıyordu.

Günümüzde üretilen poli merlerin büyük bir bđümü renklendirilmektedir. Karbon siyahı %14 gibi bir oranla renklendirmede daha az önem taşımaktadır. Ancak dığer renklendirme maddeleri 790 - 980 nm arasındaki dalga boyunda yeterli oranda yutma sağlayamamakta ve bu durum kaynak yönleniminin uygulanma imkânlarını büyük dđçüde sınırlamaktadır[2].

Bu nedenle, kırmızı renklendirilmiş pdi merlerin yutma oranlarının düşük olması nedeniyle bu güne kadar şeffaf bir parça ile kırmızı bir parçanın birleştirilmesi çok sınırlı şartlar altında mümkün dıbil mekteydi[2].

Dğer taraftan, lazer ışını nı geçiren birleştirilecek şeffaf bir parđa ile titan dioksit (TiO₂) ile renklendirilmiş bir parđanın kaynaklanması da mđmkđn değildir. Başka nederlerin yanı sıra bunun en başta gelen nederi, TiO₂'nin kırılma indisi rin çok yđksek - 2,55 ile 2,7 arasında - dması ve % 80 l bile aşan oranda yđksek bir yansımaya yd ağmasıdır. şekil 2.25 de TiO₂ ile renklendirilmiş PP nin refleksiyonu gđsterilmiřtir. Maksimum partikđl bđyđklđđđ 0,2 μm d an TiO₂ ile d yot lazeri rin ışınları da gđđđ bir biçimde dağılır[2].



şekil 2.25 TiO₂ ile renklendirilmiş PP nin refleksiyonu [2].

Bu pdi mrleri yi ne de kaynaklayabilmek için yutma arttırılmalıdır.

Yutmanın arttırılması NR yutucu entegrasyonu ile gerçekleştirilebilir. NR yutucu fonksiyonel renklendirilerin bir alt sınıfına girerler ve yutucuların bazılarını 790 nm - 980 nm aralığında maksimum yutucu verimleri ile belirlerler. NR yutucular bu gđne kadar optik veri saklanması alanında hafıza disklerindeki fotosensitif tabakalarda, lazerle veri transferi baskı tekliflerinde veya aynı zamanda lazer ışınına karşı koruyucu gđzlđklerin malzemesinde katkı maddesi olarak da kullanılmışlardır[2].

NR yutucuları d yot lazeri ile transmişyon kaynağında kullanmak için gerekli olan ideal NR yutucuların n şartları arasında bu yutucunun VIS BLE (gđrđnđr) dalga boylarında tamamen renksiz gđrđnmesi ancak NR alanında maksimum yutma oranına sahip olması gerekmektedir. Ancak bu n şartın yerine getirilmesi bir çok sebepten dđaylı çok zor olduğundan VIS BLE (gđrđnđr) alanda renksiz gđrđnen bir NR yutucu hal en őrđl ememiştir.

O zaman bu güne kadar üretilen N Ryutucu arın kaynak amaçlı kullanılabilir meleri için ne gibi özelliklere sahip d maları gerektiğ sorusu akl a gel mektedir. Ter nık stabiliterin yanı sıra pdi merin içindeki oranının düşük nıktarda tutulabil mesini sağ ayabil nek amacıyla dıydı lazeri n dı ga boyu bđ gesinde yüksek bir yut ma kat sayısına sahip d ması bu özelliklerin başında gel mektedir.

Bu uygulamada bazı durumlarda örneğ in şeffaflık düzeyi yüksek d an iki pdi mer arası na N Ryutucu içeren birt abakanın kaplanması veya ince bir f d yonun kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Burada güdülen amaç, N Ryutucu arın ancak yeri yutucu arın kullanımıyla mümkün olabilecek bazı dıydı lazeri ile ışın trans nısyon kaynağı uygulamalarında kullanım için başka uygulama seçeneklerini ortaya koymak d maktadır[2].

2.9 Lı neer Enerji Kavram ının Fı zı ksel Oarak İ spatı

Yd-zaman teoremine göre,

$$x = v \times t \quad (2.13)$$

$$\Rightarrow t = \frac{x}{v} \quad (2.14)$$

Burada,

x : lazer kaf asının d dğ yol
 v : lazer kaf asının h ızı
 t : zaman

Güç- Enerji teoremine göre,

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.15)$$

$$\Rightarrow W = P \times t \quad (2.16)$$

Burada,

P : Lazer gücü
 W : Enerji
 t : zaman

(2 14) numaralı denklem (2 16) numaralı denklemde yerine konduğunda:

$$W = \frac{P}{v} x \quad (2 17)$$

Birim uzunluk için

$$W = \frac{P}{v} \quad (2 18)$$

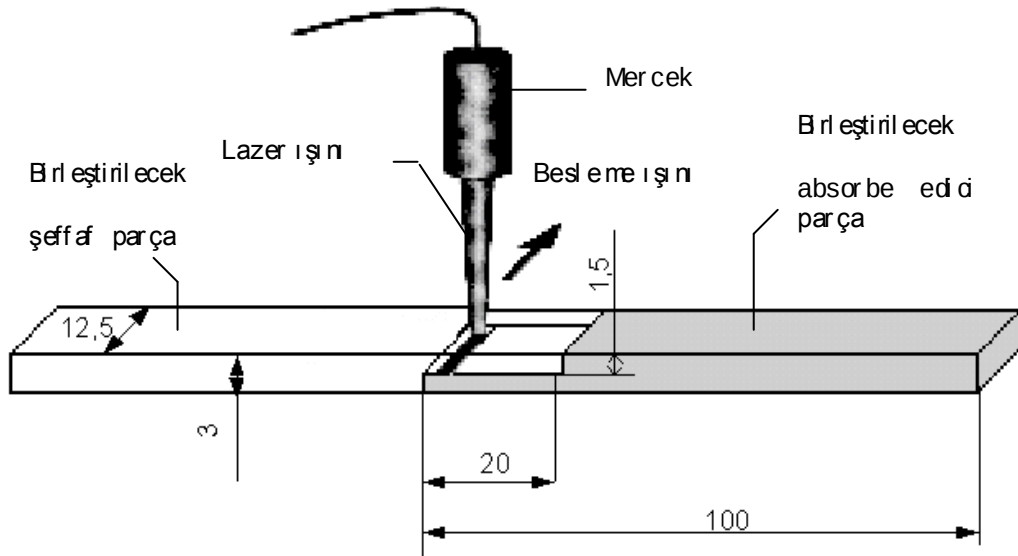
elde edilir.

Denklem(2 18)'den de görüleceği üzere elineer enerji lazer gücünün besleme hızına oranıdır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Diod Lazeri ile Plastiklerin Kaynaklanması için Test Düzeni

Bu çalışma kapsamında uygulanan diod lazeri ile transmisyon kaynağı işleminde, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi lazerin merceği ile kaynak uygulanan parça üzerinde gezdirildiği bir kaynak yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Diod lazerli ışın transmisyon kaynağının şematik tanımı.

3.1.1 Lazer Kaynak Makinesi

Lazer kaynak çalışmaları Şekil 3.2'de gösterilen PROLAS ROBOWELD 90 lazer kaynak makinesi kullanılmıştır. Bu makine aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır:

1. Kabin: İçeriğinde robot kolu ve lazer kafasını barındırır. Kaynak çalışmaları bu kabini içine yerleştirilen bir tutturma tertibatı vasıtasıyla gerçekleştirilir.
- Robot kolu: Kawasaki FS03 robot sistemi
 - Lazer Kafası: Odaklama merceği, sıcaklık ve güç sensörleri ve video kamera modülünden oluşur.

2. Kontrol kabini: Üzerinde kontrol ünitesi ni, soğutma ünitesi ni ve güç kaynağı ünitesi ni ve bir PC yi taşır.

- Kontrol ünitesi: Pycon kontrol ünitesi kullanılmaktadır. PID kontrol yapılmaktadır. Fırın sıcaklığı na göre güç kontrol ü veya sabit güç te çalışma d anağı verir.
- Soğutma ünitesi: Thermochiller P305 kullanılmıştır. Bu soğutucul azer güç üretti ri n soğut ul ması nda kullanı lan de iyonize suyun önceden belirlenen iki sıcaklık aralığı nda kal ması nı sağlar.
- Güç kaynağı (CS 241): Maksimum gücü 90 W d an 940 nm dal ga boyl ul azer ış ın ü d r. İçeri sinde di yot lazer modül ünü barındırır
- PC Windows 2000 iş l em sistemi standart endüstriyel bir bilgisayardır. Bu bilgisayara sıcaklık kontrolü bir kaynak iç in Weldcontrol programı, kameranın yazılımı (Ati), harici kontrol iç in modem ve yazılımı (CAN-bus) yüklüdür.



Şekil 3.2 Lazer kaynak makinesi.

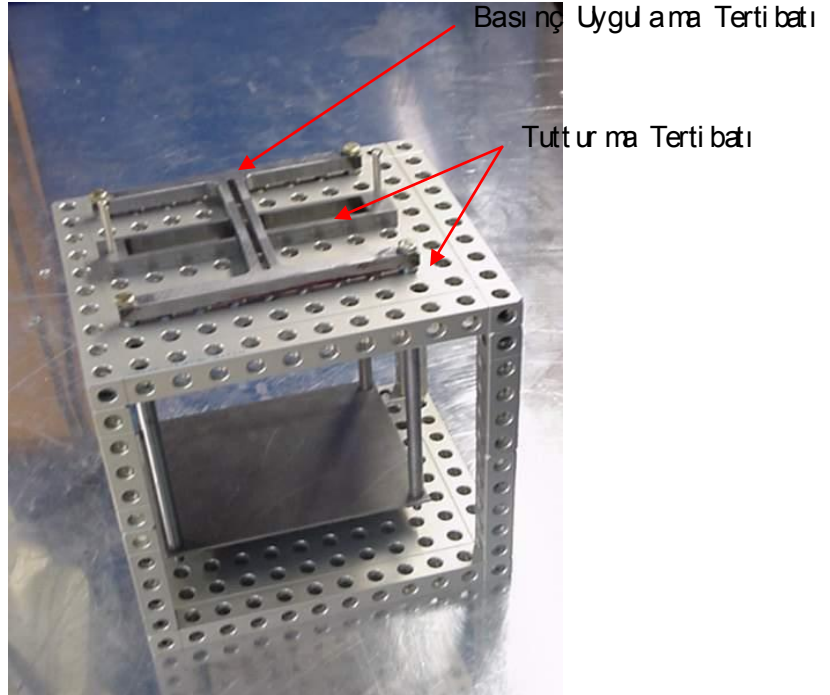
Lazer dıydları tarafından üretilen çizgi formundaki ışın m kademeli bir ayna ile değıştirilir ve mercekler üzerinden ışık dalgaları il di d fi beri n ucuna odaklanır. Işık dalgaları il di d fi beri n ucundan çıkan ışın trans misyon kaynaklaması nda kullanıl mak üzere bir mercek aracılı ğıyla kaynak yapılacak noktaya odaklanır.

3.1.2 Tutturma Terti batı:

Tuttruma terti batı ALUFI X Basic set 25 kullanılarak Şekil 3.3 deki ği bi tasarlanmıştır. Bu terti batı birleştirilecek parçaların tekrar aynı pozisyonda kararlı bir biçimde yerleştirilebil melerini sağlayabil mek i ği ndir.

3.1.3 Bası nç Uygul ama Terti batı:

Kaynaklanacak parçaları birbirlerine bastır mak i ği n gerekli d an bası ncı sağ lar. Kefesi ne değışik ağırlıklar konularak istenilen bası nç değeri d ed edilir. Bu mekanizma tutturma tertibatı na monte edilmiştir.



Şekil 3.3 Tutturma ve bası nç uygul ama tertibatı.

3.2 Deneysel Çalış mal arda Kullanılan Numunelerin Hazırlanması

Bu çalış mada geçirgen mal zeme d arak saf HPS¹, Ti₂O katkılı HPS² ve GPPS³ kullanılmıştır. Yutucu mal zeme d arak %, 0.25, 0.5, 0.1 ve 0.01 oranlarında karbon siyahı içeren HPS, Mbr ve Ti₂O renklendirici içeren HPS⁴, 2 çeşit NR yutucu katkı içeren HPS⁵ ve şeffaf kristalin PS geçirgen mal zemeleri birbirine

kaynaklamak için ara yüzeye uygulanan yutucu malzeme olarak Gear weld^{®6} kullanılmıştır.¹

3.3 Numune Boyutları:

Diyot lazeri ile plastik kaynaklanmasında birleştirilecek parçalar kaynak bölgesinde üst üste binecek şekilde yerleştirilmektedirler. Kullanılan numunelerin boyutları Şekil 3.1'deki gibidir. Numunelerin bir ucu basamaklı yapılmıştır. Numunelerin bir ucunun kalınlığının 1.5 mm ve diğer ucunun kalınlığının 3 mm olması deneysel çalışmalarda numunelerin her iki ucunun kullanılması olanak vermektedir.

3.4 Lazer Kaynağı Parametreleri

Plastiklerin lazer ışını ile kaynaklanmasında kaynak dayanımına etki eden parametreler işlem parametreleri ve malzeme bağ parametreleri dir.

3.4.1 İşlem Parametreleri

- Sıcaklık (Degrasyon (bozunma) sıcaklığının altında)
- Sıcaklık etki süresi
- Minimum birleştirme basıncı (eriğin gerleşme basıncından büyük; en az 0.2 N/mm² dır).
- Lazer ışın gücü
- Besleme hızı
- Lazer dalga boyu

3.4.2 Malzeme Bağlı Parametreler

Kaynak dayanımına, malzemenin kendi dayanımının dışında malzemenin optik özellikleri de etki etmektedir. Çünkü lazer ışını bir parçadan geçerken diğer parça yüzeyinde yutmaya uğramalıdır. Bu bağlamda malzemenin optik özellikleri olan absorpsiyon (yutma) oranı, geçirgenlik oranı, yansıtma oranı kaynaklama işleminin gerçekleşebilmesi için büyük öneme sahiptir.

¹ Eri chem RC 600

² Alod firmasının ticari olarak ürettiği ALLUNA 416 T

³ DOW STYRON 634

⁴ Aksoy firmasının ürettiği mor ve Ti₂ Orenklendirilmiş katkılı HPS

⁵ Alod firmasının ticari olarak ürettiği ALLUNA HLO 416 A1 ve ALLUNA HLO 416 A3

⁶ Gear weld[®], Gentex firmasının ticari olarak ürettiği bir yutucu maddedir.

Malzemenin kendi dayanımı üretim şartlarına göre değişikliği göstermektedir.

Malzemenin optik özelliklerini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir:

- Üretim şartları
- Moleküler diziliminin uzunluğu
- Kristallizasyon düzeyi
- Katkı maddeleri (türü ve homojenliği)
- Yüzey pürüzlülüğü (en fazla 100 µm d malı)

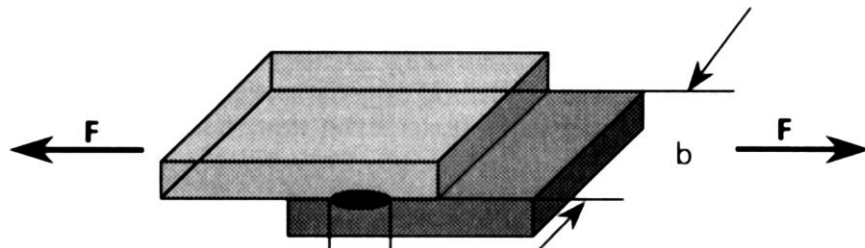
3.5 Çekme Testi Metodu

Pdimerlere diyet lazeri ile transmisyon kaynağı uygulanması ile ilgili olarak gerçekleştirilen çekme deneyleri için herhangi bir standart bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışma kapsamında, pdimerlere diyet lazeri ile transmisyon kaynağı uygulanması ile ilgili olarak gerçekleştirilen çekme deneyleri için yeni bir deney yöntemi geliştirilerek testler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kavramlar aşağıda tanımlanmaktadır:

Çekme deneylerinde uygulanan güç, örnek parça yırtılana kadar kademeli olarak artırılmaktadır. Çekme gücü F , örnek parçayı koparan güç düzeyini temsil eder. Bu arada kaynak bağlantısının taşıdığı kesitte ($A = l_0 \times b$) bir kayma gerilimi ($\tau = F/A$) oluşur. Bu kayma gerilimi aracılığıyla birleşme bölgesindeki malzemenin spesifik sağanlığı karakterize edilmiştir.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Kayma dayanımı kırıldığı noktadaki kayma gerilimidir. Şekil 3.4 de kayma dayanımı deneylerinin deney düzelerinin krokiği gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Kayma dayanım deneyleri için ($F = \text{güç}$, $A = l_0 \times b$ kaynak yüzeyi) deney düzeni için kroki si.

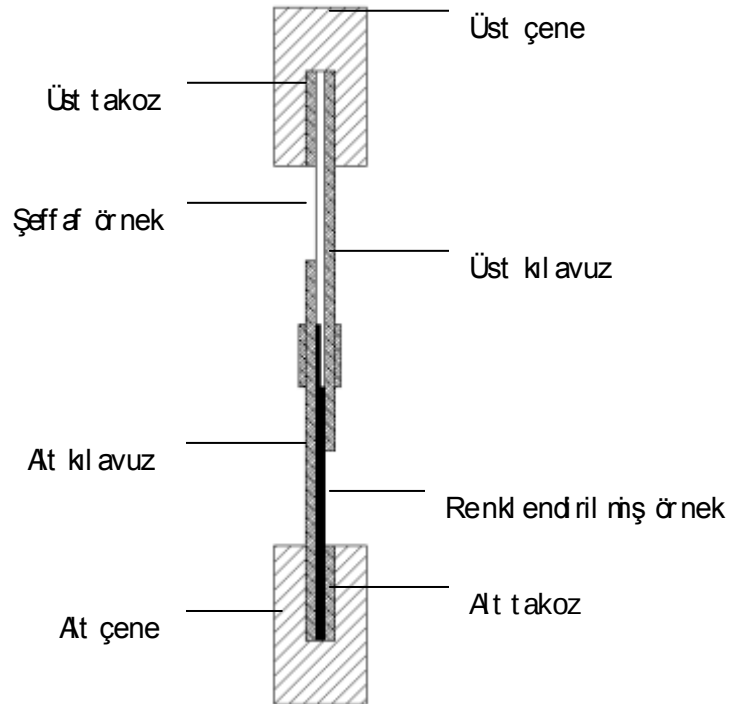
Çekme deneyleri tek ekserli bir çekme testi makinesi olan Instron ile gerçekleştirilir.

Deney yükü 500 kg. olarak karar verilmiştir.

Çekme hızı belirleme çalışmaları sonucu, çekme hızı 50 mm/s olarak belirlenmiştir.

Kaymayı dengelemek için 3 mm kalınlığında takozlar kullanılmıştır ve parçalar arasında sadece kayma gerilmesi uygulanmasını sağlamak için klavuzlar kullanılmıştır.

Şekil 3.5 de örnekleri için çekme deney düzeneği şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Çekme deneyleri için kaynak örnekleri düzeni için şematik kroki si.

3.6 Kaynak Alanının Değişimini Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları:

Bu çalışmada işlem parametrelerinden olan *lazer gücü* ve *besleme hızı* parametreleri değiştirilerek, geçirgen ve yutucu pdi'ler kullanarak ve lazer transimiyon kaynağı yöntemi kullanarak kaynaklamalar yapılmıştır. Malzeme bağımlı bir parametre olan yutma oranı yutucu parçalar için kullanılan katkı malzemesi (karbon siyahı) oranı değiştirilerek ayarlanmıştır.

Bu çalışmada numunenin 1.5 mm kalınlığındaki ucu kullanılmıştır. Kullanılan lazerin ışın çapı 1mm²'dir ve 12.5 mm uzunluğunda kaynak dikşeri atılmıştır. Kaynak alanının ($A=1 \times 12.5=12.5 \text{ mm}^2$) her bir parametre kombinasyonunu için sabit kalıncası kabul edilmiştir.

%0.01, %0.1, %0.25 ve %0.5 oranda karbon siyahı içeren numunelerin her birinin lazer gücü 1-40 W ve besleme hızı 1-40 mm/s aralığında değiştirilerek, 64 farklı hız ve güç kombinasyonunda ve 300 d'varında kaynaklama yapılmıştır.

İşlem parametrelerinden olan sıcaklık pdi'lerinin bozunma sıcaklığının altında tutulmalıdır. Sıcaklık etki süresi ise pdi'leri eriyiklerinin birbirine karışmasına imkan verecek şekilde seçilmelidir. Genelde 1 s yeterli bir süre olarak görülmektedir. Kaynaklama çalışmalarıyla lazer gücü ve besleme hızı değiştirilerek kaynaklama yapıldığından sıcaklık ve sıcaklık etki süresi parametreleri önemini yitirmektedir. Çünkü bu çalışmada pdi'lere aktarılan enerji lazer gücü ve besleme hızı parametreleri ile kontrol edilmiştir. Literatürde minimum birleştirme basıncı olarak minimum 0,2 N/mm² olarak tavsiye edilmektedir[2]. Bu çalışmada minimum birleştirme basıncını sağlayabilmek için güvenli bđgede kalma düşüncesi ile 0,9 N/mm² büyüklüğünde bir birleştirme basıncı uygulanmıştır. Bu basınç değeri terazinin kefesi ne konan ağırlıklar ile ayarlanmıştır.

Tüm numuneler, aynı ana malzeme (HPS) kullanılarak, aynı üreti mşartlarında (aynı erjeksiyon parametreleri kullanarak) ve aynı kalıp kullanılarak hazırlanmıştır. Böylelikle üreti mşartları, mal eköl zinin uzunluğu, kristalizasyon düzeyi, yüzey pürüzlülüğü parametreleri her bir numune için sabit tutulmuştur.

3.7 Kaynak Alanının Değişimini Dikkate Alınarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

Kaynak alanının değişimini dikkate alınmadan yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda kaynak alanının her bir parametre kombinasyonunda sabit

kalıncılığı ve elde edilen kayma dayanımının malzemenin çekme değerinin çok üzerinde olduğu görülmüştür. Bu değerler farklı oranlarda karbon siyahı içeren numuneler arasında karşılaştırma için veri kabul edilebilir fakat bu değerler kaynağın gerçek mukavemet değerleri değildir.

Bu sebeple bu çalışmada kaynağın gerçek mukavemetini elde edebilmek için çekme testiinden sonra her bir numunenin kaynak durları ölçülmüştür. Daha sonra kaynağın taşıdığı yük gerçek kaynak durlarına bölünerek gerçek kayma gerilmeleri hesaplanmıştır.

Lineer enerji kavramı kullanılarak yapılan çalışmada numunenin 1.5 mm ve 3 mm kalınlığındaki uçları kullanılmıştır fakat diğer çalışmalarda sadece numunenin 3 mm kalınlığındaki ucu kullanılmıştır.

Numunelerde kalıcı deformasyon meydana gelmeden önce kaynağın kopmasını sağlamak amacı ile yapılan bir dizi çalışma sonucu kaynak uzunluğu 3 mm olarak seçilmiştir.

Miri numunleştirme basıncını sağlayabilmek için güvenilir bölgedeki kalma düşüncesi ile $0,9 \text{ N/mm}^2$ büyüklüğünde bir birleştirme basıncı uygulanmıştır. Bu basınç değeri terazinin kefesi ne konan ağırlıklar ile ayarlanmıştır.

Tüm numuneler aynı üretim şartlarında (aynı erimeksiyon parametreleri kullanarak) ve aynı kalıp kullanılarak hazırlanmıştır. Böylelikle üretim şartları, malzemenin uzunluğu, kristalizasyon düzeyi, yüzey pürüzlülüğü parametreleri her bir numune için sabit tutulmuştur.

3.7.1 Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları:

Bu çalışmada lazer gücü ve besleme hızı parametreleri yerine lazer gücünün besleme hızına oranı olan lineer enerji kullanılarak kaynaklama çalışmaları yapılmıştır. Besleme hızı 1 mm/s olarak sabit tutulmuş ve lazer gücü değiştirilerek kaynak bölgesine uygulanan lineer enerji değeri ayarlanmıştır.

Bu çalışmada bir geçirgen malzeme ve yutucu malzemenin kullanıldığı lazer transmisyon yöntemi ve iki geçirgen malzeme ve bir yutucu malzemenin kullanıldığı lazer transmisyon yöntemlerinin her ikisi de kullanılmıştır. Geçirgen malzeme olarak saf HPS, Ti_2O katkılı HPS ve şeffaf kristalin PS kullanılmıştır. Yutucu malzeme olarak %0.01, %0.1, %0.25, %0.5 ve %1 oranlarında karbon siyahı içeren HPS, Mn ve Ti_2O oranlı endri içeren HPS, 2 çeşit NR yutucu katkı içeren HPS ve şeffaf

kristalin PS geçirgen malzemeleri birbirine kaynaklamak için ara yüzeye uygulanan yutucu malzeme olarak Gear weld® kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yutucu ve geçirgen malzeme çiftleri aşağıdaki gibidir.

- Geçirgen malzeme olarak katkısız HPS ve yutucu malzeme olarak %0.01, %0.1, %0.25, %0.5 ve %1 oranında karbon siyahı içeren HPS den oluşan 5 set numune.
- Geçirgen malzeme olarak katkısız HPS ve Ti_2O katkılı HPS^2 , yutucu malzeme olarak 2 farklı NR yutucu katkılı HPS den oluşan 4 set numune.
- Geçirgen malzeme olarak HPS ve yutucu malzeme olarak %4 oranında mor ve Ti_2O katkılı HPS den oluşan 2 set numune.
- Geçirgen malzeme olarak GPPS ve yutucu madde olarak Gear weld®'in kullanıldığı 1 set numune.

Katkısız HPSin karbon siyahı katkılı ve mor renklendirici katkılı HPS ile kaynaklanması ve katkısız GPPSlerin bir yutucu malzeme yardımı ile birbirine kaynaklanması numunelerin 3 mm kalınlığındaki ucu kullanılmıştır. Katkısız HPSin ve Ti_2O katkılı HPSin NR yutucu katkılı HPS ile kaynaklanması ve katkısız HPSin Ti_2O katkılı HPS ile kaynaklanması numunelerin 1.5 mm kalınlığındaki ucu kullanılmıştır.

3.7.2 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

Bu çalışmada lazer gücü 1-40 W ve besleme hızı 1-40 mm/s aralıklarında değiştirilerek, 64 farklı hız ve güç kombinasyonunda ve 300 diyarında kaynaklama yapılmıştır.

Geçirgen malzeme olarak katkısız HPS ve yutucu malzeme olarak %0.1 oranında karbon siyahı katkılı HPS kullanılmıştır.

Kaynaklama için numunelerin 3 mm kalınlığında dan kısımları kaynaklanmıştır.

3.8 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

Bu çalışmada besleme hızı 1mm/s olarak sabit tutulmuştur ve girilen sıcaklık değeri ne göre kontrol hızı gücü otomatik olarak ayarlanmaktadır.

Geçirgen malzeme olarak katkısız HPS ve yutucu malzeme olarak %0.01, %0.1, %0.25, %0.5 ve %1 oranında karbon siyahı katkılı HPS kullanılmıştır.

Kaynaklama için numunelerin 3 mm kalınlığında dan kısımları kaynaklanmıştır.

3.9 Birleştirme Basıncının Kaynak Dayanımına Olan Etkisini İncelenmesi:

Birleştirme basıncının kaynak dayanımına olan etkisini incelemek için geçirgen plastik olarak katkısız HPS ve yutucu plastik olarak %0.1 karbon siyahı katkılı HPS kullanılmıştır. Kaynaklanacak parçaların birbirlerine temas ettiği alan sabit olduğundan istenilen birleştirme basıncı değerleri basınç uygulama mekanizmasının kefesine konulan ağılıklar değiştirilerek ayarlanmıştır. Bu çalışmada %0.1 karbon siyahı için en uygun lineer enerji değeri olan 10 J/mm kaynaklamada kullanılmıştır.

3.10 Çekme Hızı Belirleme Çalışmaları

Blind üze plastiğin elastiklik modülleri metallerinkine oranla çok düşüktür. Dolayısıyla plastikler gerilme altında daha kolay akmakta ve deforme olmaktadır.

Kaynaklanan numunelerle yapılan ilk çekme deneylerinde kopmanın kaynak bölgesinden değil malzemenin kaynak bölgesindeki incelen kısmında olduğu görülmüştür. Bu sebeple çekme testlerinde, plastik parçalarda deformasyon oluşmadan kopmanın kaynak bölgesinden gerçekleşmesi için verecek çekme hızının belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur.

Çekme hızı belirleme çalışmaları için %0.5 C karbon siyahı içeren ve katkısız HPS malzemeler kullanılmıştır. Parçaların kaynaklama çalışmaları, lazer gücü 10 W ve besleme hızı 5 mm/s alınarak gerçekleştirilmiştir. Çünkü, yapılan kaynak kesiti incelenmesinden bu lazer kaynak parametrelerinin malzeme bozunmadan maksimum emiliminin elde edildiği ve dolayısıyla maksimum dayanımını vereceği düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR

4.1 Kaynak Alanı n Değişimi Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

4.1.1 Kaynak Alanı n Değişimi Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları:

Çekme testi sonucu elde edilen veriler Ek A'da verilmiştir.

Kaynaklanmış numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kayma dayanımının Tablo 4.1-Tablo 4.4'de lazer gücü ve besleme hızının bir fonksiyonu olarak verilmiştir.

Bazı lazer gücü ve besleme hızı kombinasyonlarında yutucu parçaya aşırı enerji verildiğinden dolayı; birleştirilecek parçaların ara yüzeyinde sıcaklık aşırı derecede yükselmekte ve plastik malzemenin bozunmasına ve dolayı ile kaynak bölgesinde delik düşmesine, lokalize olmuş enerjiden dolayı parçaların kesilmesi ve çarpılmasına neden olmaktadır. Bu sebeple parçalar üzerinde aşırı enerji uygulayarak parçaların aşırı ısınmasına neden olacak lazer gücü ve besleme hızı kombinasyonları ile kaynaklama yapılmamıştır. Diğer bir durumu ise yutucu parçaya verilen enerjinin parça ara yüzeyinde erime meydana getiremeyecek kadar düşük olmasıdır. Bu durumda plastik malzemenin erimesi sağlanamadığı için kaynaklama gerçekleştirilememiştir. Aşağıdaki tabloda aşırı enerjiden dolayı kaynaklama yapılmayan lazer güç ve besleme hızı kombinasyonları (X) ve yetersiz enerjiden dolayı kaynaklama yapılmayan lazer güç ve besleme hızı kombinasyonları (-) ile gösterilmiştir.

Tablo 4.1 %0.5 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanımları (N mm²).

$\frac{V}{R \cdot W}$ (mm/s)	1	5	10	15	20	25	30	40
1	33.3	-	-	-	-	-	-	-
5	69.9	59.8	48.4	43.2	38.0	34.4	27.2	23.5
10	68.1	64.2	56.1	50.5	47.3	45.8	49.4	40.2
15	43.3	60.6	61.3	56.2	52.4	54.8	53	50.4
20	X	68.4	66.7	66.4	60.4	58.6	59.9	51.3
25	X	70.4	63.5	66.4	63.9	54.9	52.5	51.3
30	X	65.8	68.3	66.5	65.57	59.9	59.3	56.9
40	X	62.1	63.3	65.9	61.2	61.1	63.7	59.1

Tablo 4.2 %0.25 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanımları (N mm²).

$\frac{V}{R \cdot W}$ (mm/s)	1	5	10	15	20	25	30	40
1	29.5	-	-	-	-	-	-	-
5	67.3	58.6	42.8	37.8	31.8	26.5	23.2	17.9
10	68.5	60.7	57.7	48.7	51.2	48.0	48.0	40.1
15	53.6	67.5	60.2	57.8	57.1	53.5	52.8	52.7
20	X	66.1	64.1	57.7	59.8	57.8	56.5	52.6
25	X	67.4	66.4	60.6	58.7	54.5	54.5	54.1
30	X	67.7	66.2	61.6	58.1	57.6	57.6	58.1
40	X	67.2	66.1	66.1	67.0	64.7	66.0	59.8

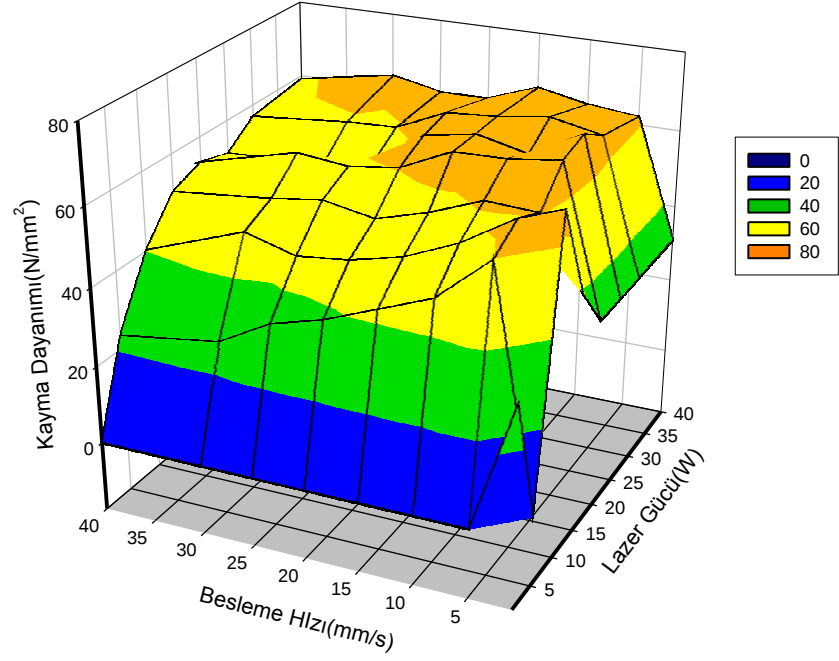
Tablo 4.3 %0.1 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanımları (N mm²).

V (mm/s) R_y	1	5	10	15	20	25	30	40
1	8.9	-	-	-	-	-	-	-
5	64.3	47.3	30.9	17.4	12.9	-	-	-
10	64.9	57.9	51.7	46.5	40.2	34.1	32.7	23.0
15	36.9	60.5	58.2	51.4	54.9	51.0	45.4	38.4
20	64.6	63.1	62.0	59.2	55.4	53.3	52.1	46.4
25	X	66.4	58.1	55.7	57.8	54.1	50.6	48.7
30	X	64.3	66.9	67.2	58.5	57.0	57.5	48.6
40	X	65.1	56.9	60.6	65.0	60.6	61.8	51.9

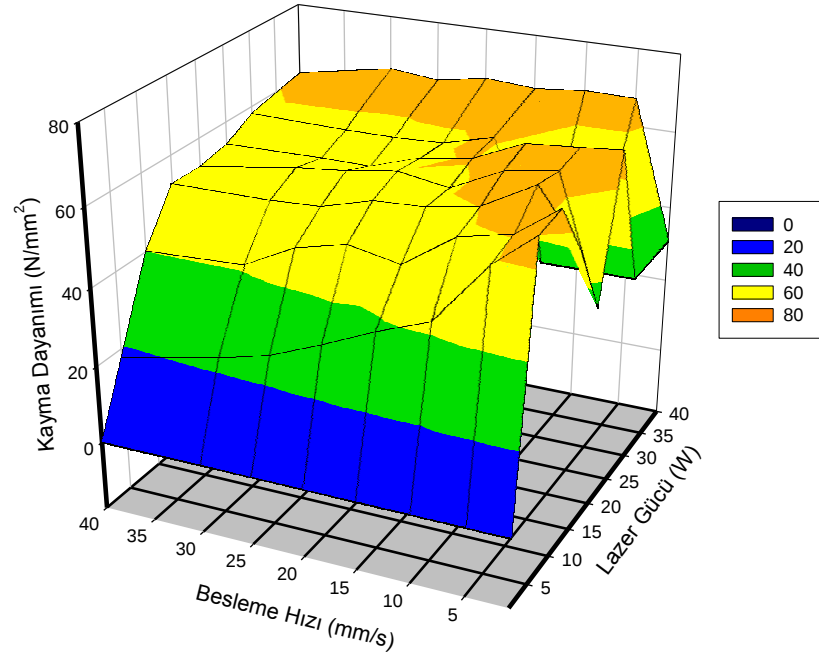
Tablo 4.4 %0.01 karbon siyahı oranı için çekme testi sonucunda elde edilen kayma dayanımları (N mm²).

V (mm/s) R_y	1	5	10	15	20	25	30	40
1	-	-	-	-	-	-	-	-
5	62.1	-	-	-	-	-	-	-
10	65.7	51.6	-	-	-	-	-	-
15	66.9	57.7	31	18.2	-	-	-	-
20	36	59	51.1	27.7	-	-	-	-
25	36.5	60.4	51.7	47.9	32.2	17.8	-	-
30	x	61.2	48.9	43.4	38.9	29.7	-	-
40	x	62.8	58.8	56.0	45.9	39.9	32.7	21.3

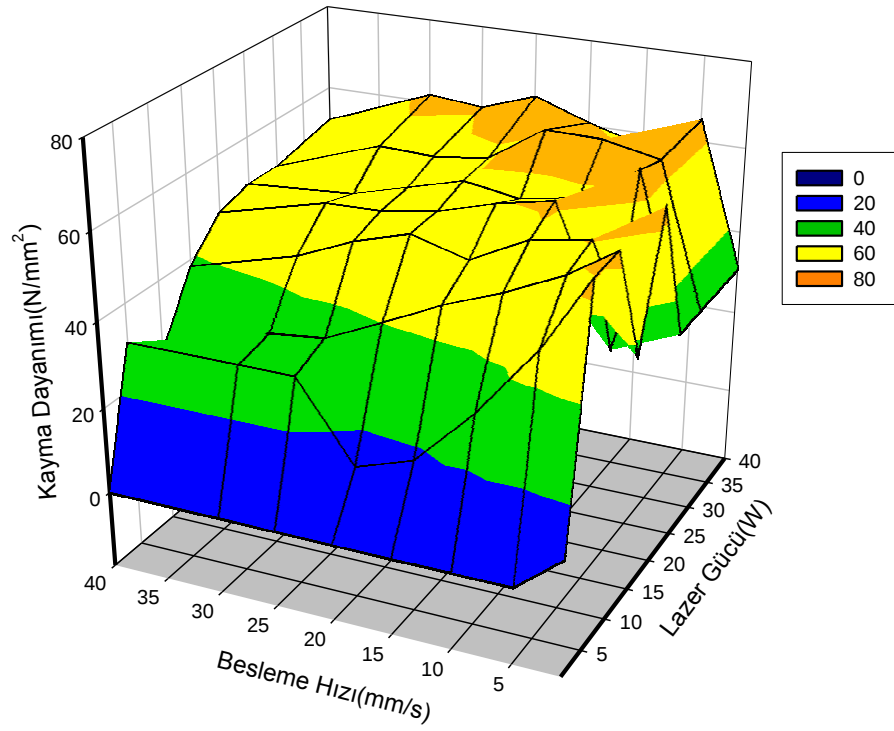
Kaynaklanmış numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen kayma dayanımları Şekil 4.1-Şekil 4.4 de lazer gücü ve besleme hızının bir fonksiyonu olarak verilmiştir.



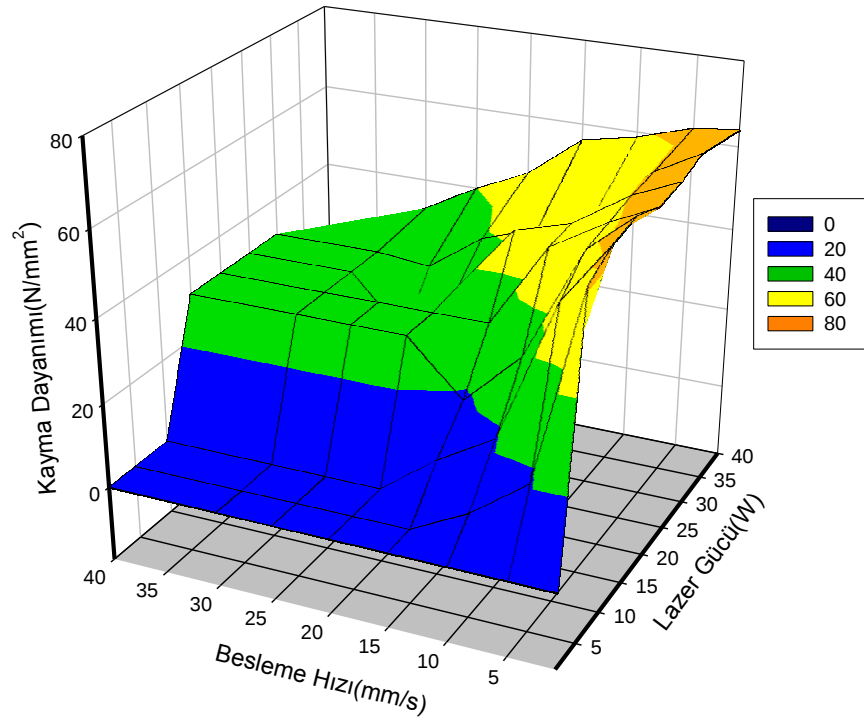
Şekil 4.1 %0.5 C içeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynaklanması için çekme testi sonuğarı.



Şekil 4.2 %0.25 C içeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynaklanması için çekme testi sonuğarı.



Şekil 4.3 %0.1 C içeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynaklanması için çekme testi sonuçları.



Şekil 4.4 %0.01 C içeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynaklanması için çekme testi sonuçları.

4.1.2 Kaynak Alanı n Değişimi Dikkate Alınmadan Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar

Çekme testi sonuçlarında her üç farklı karbon siyahı oranı için lazer güç ve besleme hızı parametrelerinin kaynak mukavemetine nasıl etki ettikleri belirlenmiştir.

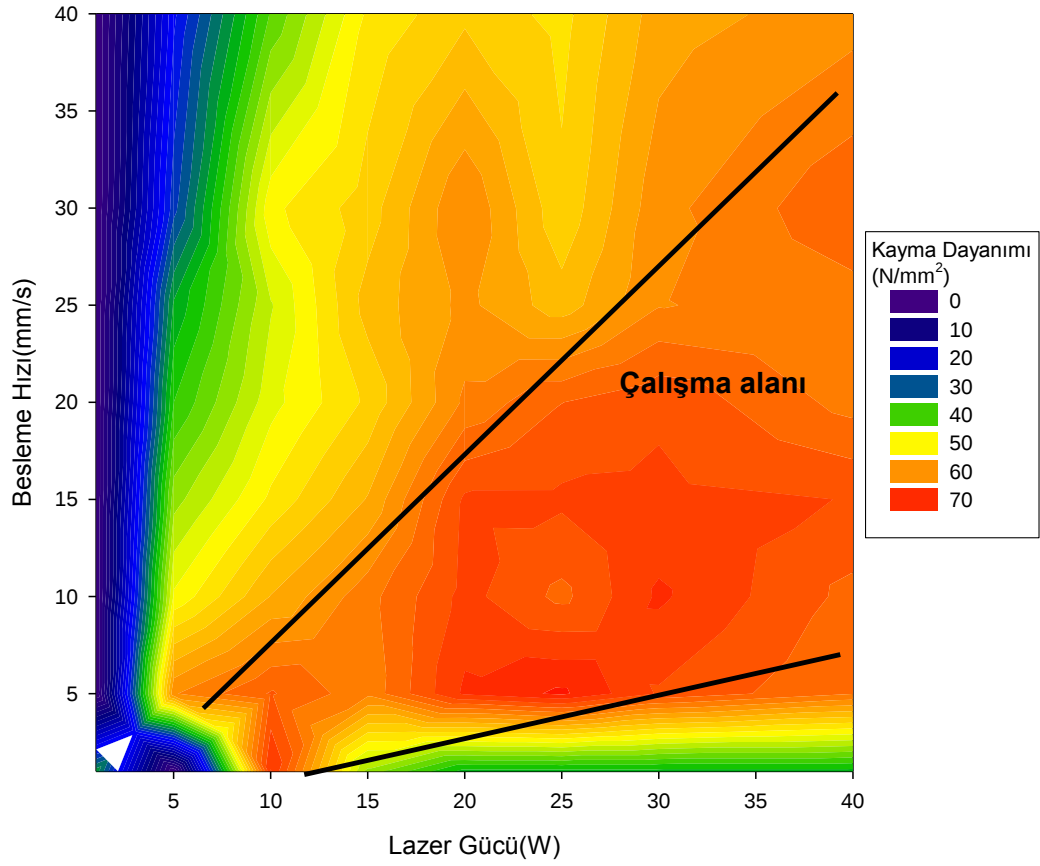
Buna göre şu sonuçlar ortaya çıkmıştır:

1. Lazer gücü ve besleme hızının belli kombinasyonlarında yüksek kayma dayanımları elde edilmiştir.

Maksimum kayma dayanımına sahip örneklerin elde edildiği bu bölgeler çalışma alanı olarak bulunmuştur ve Şekil 4.5-Şekil 4.8 boyunca her bir karbon siyahı oranı için çalışma alanı verilmiştir.

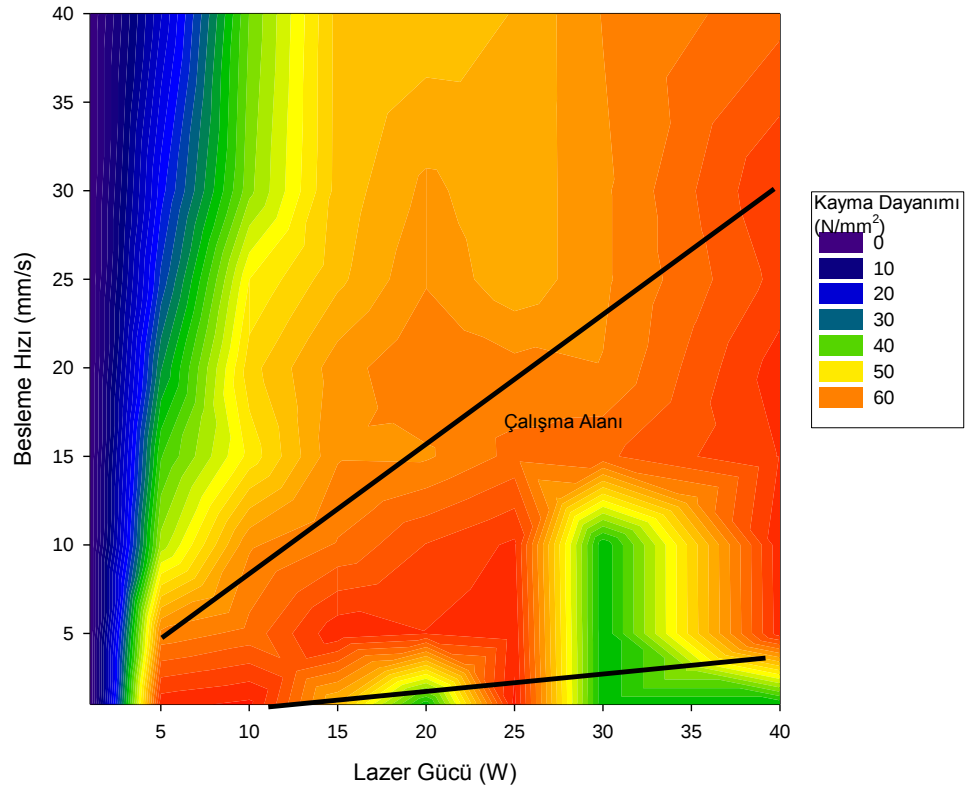
%0.5, %0.25, %0.1, %0.01 oranlarında karbon siyahı içeren numunelerle yapılan kaynaklamalar sonucunda numunelerin yutma oranları farklı olduklarından farklı lazer gücü ve besleme hızı oranlarında yüksek dayanımlar vermektedirler.

- Karbon siyahı oranı %0.5, %0.25, %0.1, %0.01'den 4 seri örnekle yapılan kaynaklama için maksimum kayma dayanımları 60-70 Nmm² olarak bulunmuştur.
- Çalışılan güç ve hız aralığında karbon siyahı oranı azaldıkça çalışma aralığı daralmaktadır.
- Bu sonuçardan, %0.01 karbon siyahı katkısı ile ancak 5 mm/s hıza kadar kaynak yapılabilir, %0.1 ile %0.5 oranı içinse 30 mm/s kaynak hızlarına çıkılabileceği görülmüştür.



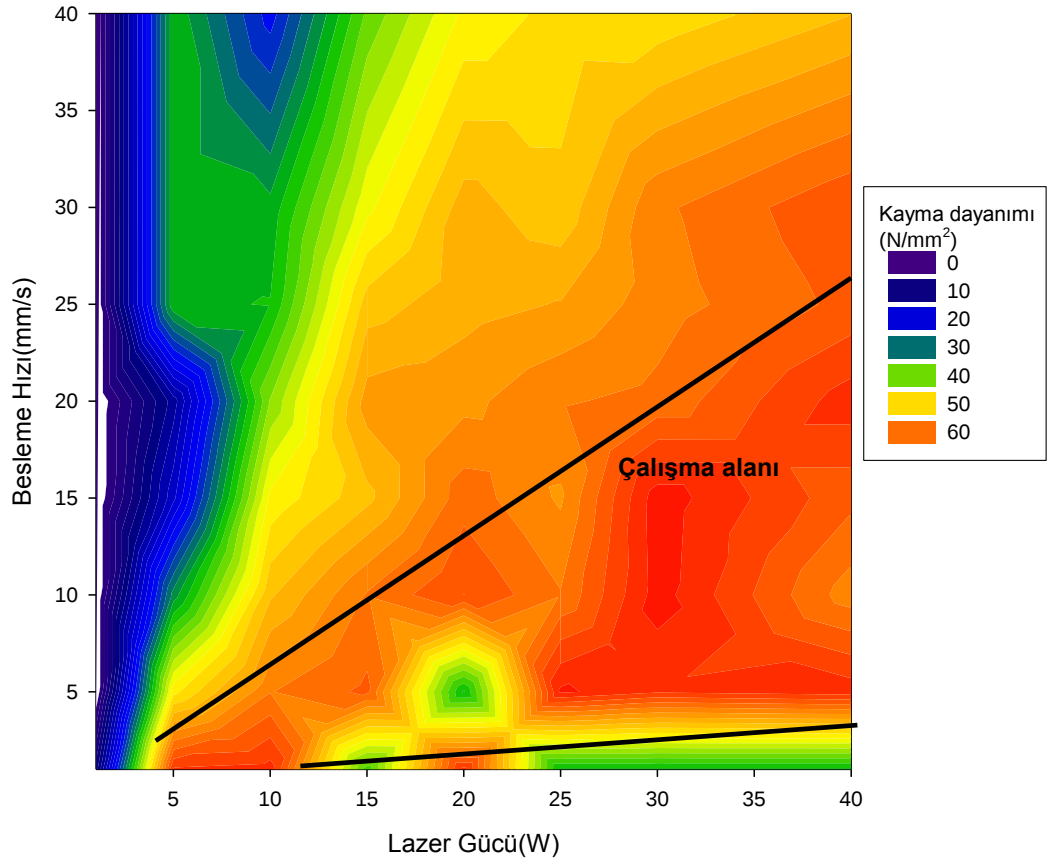
Şekil 4.5 %0.5 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı.

%0.5 karbon siyahı içeren numunelerde 5-15 W arası 5 mm/s, 15-20 W arası 10 mm/s, 20-30 W arası 20 mm/s, 30-40 W arası ise 30 mm/s hıza kadar maksimum dayanım elde edilebilmektedir.



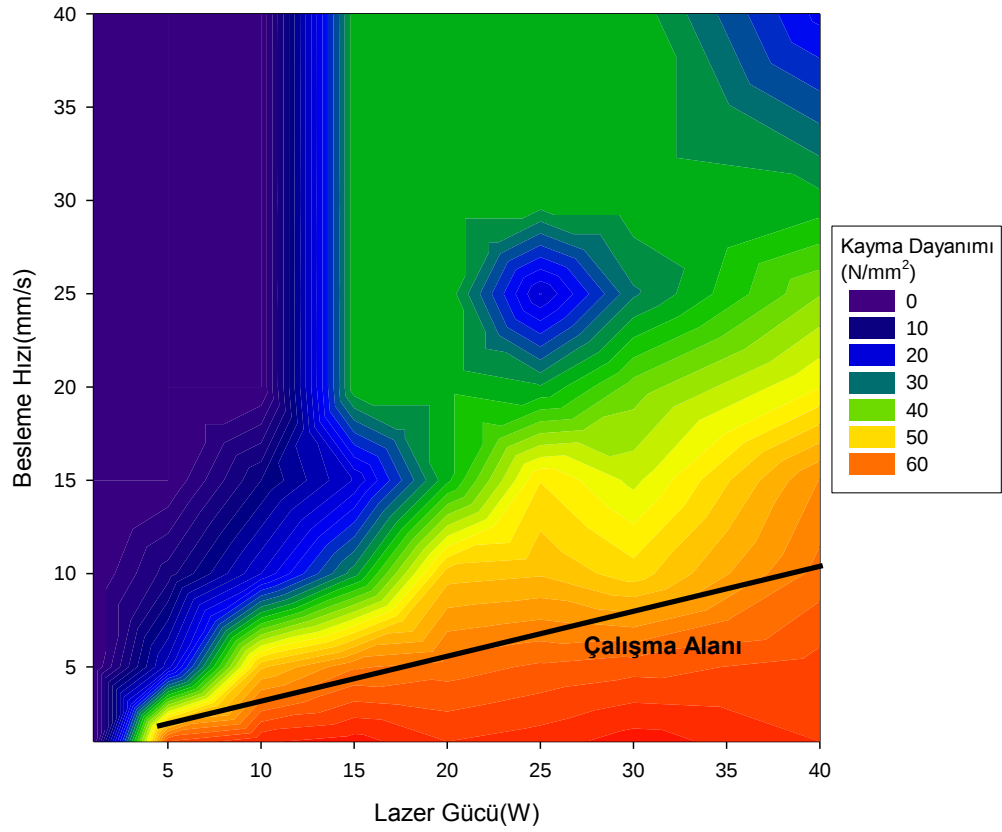
Şekil 4.6 %0.25 karbon siyahı oranı içi n yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı.

%0.25 karbon siyahı içeren numunelerde 5-15 W arası 5 mm/s, 15-20 W arası 10 mm/s, 20-30 W arası 15 mm/s, 30-40 W arası ise 20 mm/s hıza kadar maksimum dayanım elde edilmektedir.



Şekil 4.7 %0.1 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı.

%0.1 karbon siyahı içeren numunelerde 15 W güce kadar 1 mm/s, 15-25 W aralığında 5 mm/s, 25-30 W aralığında 10 mm/s, 30-40 W aralığında 15 mm/s hızla kadar maksimum dayanım elde edilmektedir.



Şekil 4.8 %0.01 karbon siyahı oranı içi n yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı.

%0.01 karbon siyahı içeren numunelerde 5-20 Wgüç aralığında 1 mm/s hızla, 20-40 W güç aralığında ise 5 mm/s hızla maksimum dayanım elde edilmektedir.

2. Rastiklerin lazer ile kaynaklanması nda kullandığımız iş em parametreleri d an lazer gücü ve besleme hızı yerine, lazer gücünün besleme hızına oranı d an lineer enerji kavramı kullanılabilir:

Tablo 4.5-4.7 boyunca %0,1 %0.25 ve %0,5 karbon içeren örnekleri içi n aynı lineer enerjiye sahip fakat farklı lazer güç ve besleme hızı kombinasyonları içi n kayma dayanımları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.5 %0.1 karbon oranı içeren örnekler için lineer enerji ve kayma dayanımlarının karşılaştırılması.

P (W)	V (mm/s)	P/v (J/mm)	Kayma Dayanımı (N/mm ²)
5	5	1	47,3
10	10	1	51,7
15	15	1	51,4
20	20	1	55,4
25	25	1	54,1
30	30	1	57,5
40	40	1	51,9

Tablo 4.6 %0.25 karbon oranı içeren örnekler için lineer enerji ve kayma dayanımlarının karşılaştırılması.

P (W)	v (mm/s)	P/v (J/mm)	Kayma Dayanımı (N/mm ²)
5	5	1	58,6
10	10	1	57,7
15	15	1	57,8
20	20	1	59,8
25	25	1	58,7
30	30	1	57,6
40	40	1	59,8

Tablo 4.7 %0.5 karbon oranı içeren örnekler için lineer enerji ve kayma dayanımlarının karşılaştırılması.

P (W)	v (mm/s)	P/v (J/mm)	Kayma Dayanımı (N/mm ²)
5	5	1	59,8
10	10	1	56,1
15	15	1	56,2
20	20	1	60,4
25	25	1	54,9
30	30	1	59,4
40	40	1	59,1

Tablo 4.5-4.7 den de görüldüğü üzere aynı lineer enerji ile kaynaklanan örneklerin çekme deneyi ile elde edilen kayma dayanımları yaklaşık aynıdır.

Kayma dayanımları arasındaki küçük farklılıklar kaynaklama ve çekme deneylerinden kaynaklanan deneysel hatlardır.

3. %0.01, %0.25, %0.1, %0.5 karbon siyahı içeren numunelerle yapılan kaynakların 60 N/mm² kayma dayanımının üzerindeki değerlerde kopmalar kaynak bölgesinden değil malzemeden olmuştur.

Bu olaya birinci olarak, ısı etki bölgesindeki malzemenin yapısının ana malzemeninkinden farklılığı olduğu düşünülmektedir. Birbirine temas halinde bulunan bu iki bölgenin malzeme yapılarının farklılığından dolayı ısı etki bölgesinin çertik etkisi meydana getirdiği düşünülmektedir. Isı etki bölgesindeki malzemenin yapısı uygulanan ısı ile değiştiği ve soğuma hızı bir şekilde gerçekleştikten yeni yapının ana malzemeninkinden farklı olduğu düşünülmektedir.

Diğer bir nederin ise çekme testi sırasında malzemenin akmasından dolayı, kaynaklanan parçanın kaynak bölgesi dışında çekme gerilmesi ile birlikte eklenmiş gerilmelere maruz kaldığı düşünülmektedir. Kaynaklanan parçanın kaynak arayüzleri üzerindeki ve kaynak diksiyonuna yakından bölgedeki malzeme, kaynaklanmayan yüzeydeki malzemeden daha az akmakta ve bu da kaynaklanan parçanın kaynak bölgesi dışındaki kısımlarının eklenmiş bir eğilme gerilmesine maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bu eğilme gerilmesi parçanın kaynaklanan yüzeylerinde çekme, kaynaklanmayan yüzeylerinde ise basma gerilmesi meydana getirilmektedir.

Dolayısı ile kaynak kopmadan önce parça koptuğundan dolayı 1.5mm et kalınlığındaki numunelerle yapılan çalışmalarda kaynağın maksimum dayanımı ölçülememiştir. Fakat, kaynağa 65-70 MPa'lık bir kayma gerilmesi uygulandığında (parçalar üzerindeki çekme gerilmesi =40-45 MPa) parçalar koptuklarına göre kaynağın maksimum mukavemeti bu değerin üzerindedir.

4.2 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

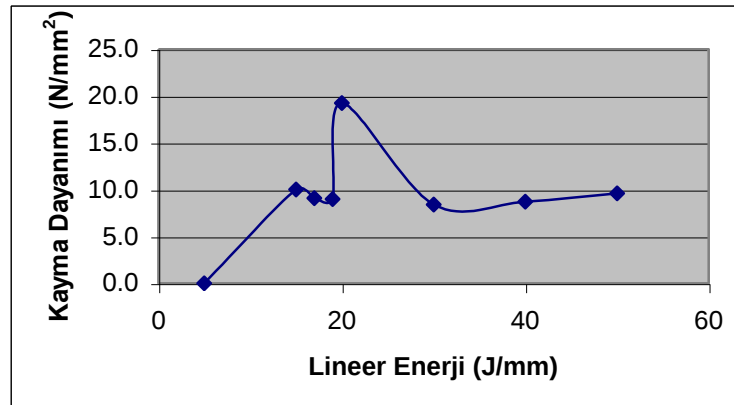
4.2.1 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak ve Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

4.2.1.1 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak ve Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları İçin Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımları Ek B'de, öngörülen kaynak alanının gerçek kaynak alanına bölünmesi ile elde edilen normalizasyon faktörleri Ek C'de ve çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımlarının normalizasyon faktörleri ile çarpılması ile elde edilen gerçek kayma dayanımları Ek D'de verilmiştir.

4.2.1.2 Kaynak Alanının Değişiminin Dikkate Alınarak ve Lineer Enerji Kavramı Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları İçin Sonuçlar

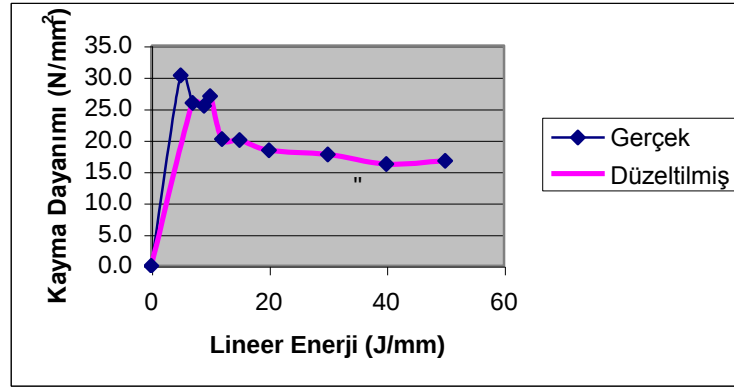
Katıksız HPS ile %0.01 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasıyla elde edilen en yüksek kayma dayanımı değeri 19.2 N/mm²'dir. Bu kayma dayanımı değeri ne ancak çok yüksek lineer enerji değerlerinde ulaşılabilmektedir. %0.01 karbon siyahı katkılı numunelerin yutma oranı çok düşük olduğundan dolayı 5J/mm'e kadar kaynaklama yapılamamıştır. Şekil 4.9'da elde edilen kayma dayanımları lineer enerjiye bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 4.9 Katıksız HPS ile %0.01 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasıyla lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

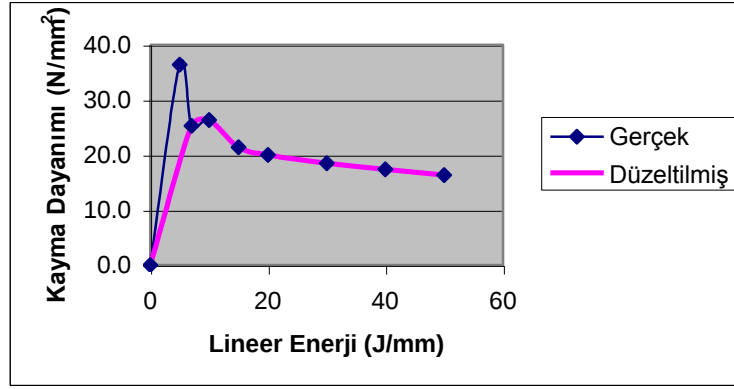
Şekil 4.10- Şekil 4.20 boyunca kayma dayanımının lineer enerjiye göre değişiminin gerçek ve düzeltilmiş değerlerle verilmiştir. Düzeltilmiş eğri de gerçek eğriden farklı olarak $E=5 \text{ J/mm}$ deki kayma dayanımı değeri çıkartılmıştır. $E=5 \text{ J/mm}$ ile yapılan kaynaklamalarda kaynak alanı çok küçük olduğundan kaynağın taşıdığı yük alanı altında olduğunda kayma dayanımı $30-40 \text{ N/mm}^2$ civarında çıkmaktadır. Oysaki göze kaplı anında kaynağın penetrasyon derinliğinin oldukça düşük ve kaynağın zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple $E=5 \text{ J/mm}$ deki kayma dayanımı değeri düzeltilmiş eğriden çıkartılmıştır.

Katkısız HPS ile %0.1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında elde edilen en yüksek kayma dayanımı değeri 27 N/mm^2 'dir. Bu kayma dayanımı değeri ne 10 J/mm li lineer enerji değerlerinde ulaşılabilir.



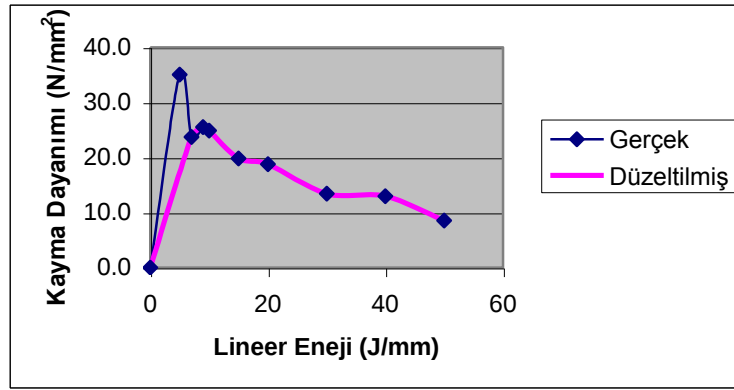
Şekil 4.10 Katkısız HPS ile %0.1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

Katkısız HPS ile %0.25 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında elde edilen en yüksek kayma dayanımı değeri 26.4 N/mm^2 'dir. Bu kayma dayanımı değeri ne 10 J/mm li lineer enerji değerlerinde ulaşılabilir.



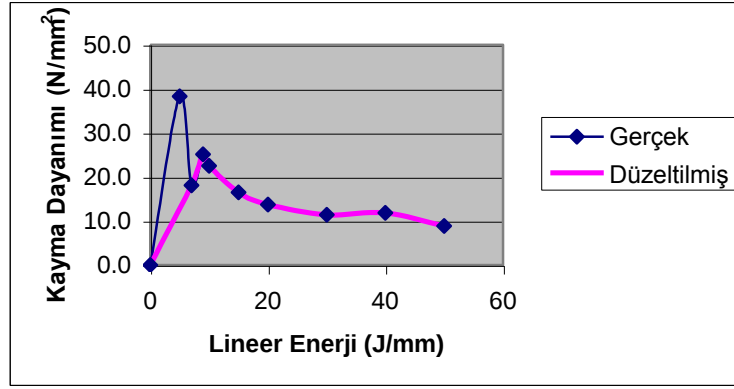
Şekil 4. 11 Katkısız HPSi ile %0.25 karbon siyahı katkılı HPSi'nin kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değışı.

Katkısız HPSi ile %0.5 karbon siyahı katkılı HPSi'nin kaynaklanmasında elde edilen en yüksek kayma dayanımı değeri 25.5 N mm²'dir. Bu kayma dayanımı değeri ne 9 J/mm'lik lineer enerji değeri üzerinde aşılabilmektedir.



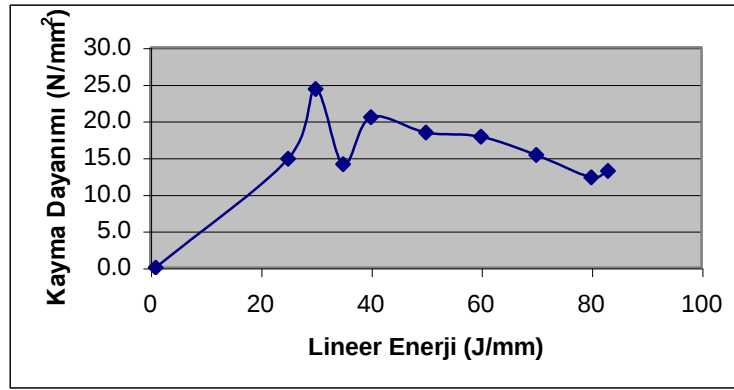
Şekil 4. 12 Katkısız HPSi ile %0.5 karbon siyahı katkılı HPSi'nin kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değışı.

Katkısız HPSi ile %1 karbon siyahı katkılı HPSi'nin kaynaklanmasında elde edilen en yüksek kayma dayanımı değeri 25,2 N mm²'dir. Bu kayma dayanımı değeri ne 9 J/mm'lik lineer enerji değeri üzerinde aşılabilmektedir.



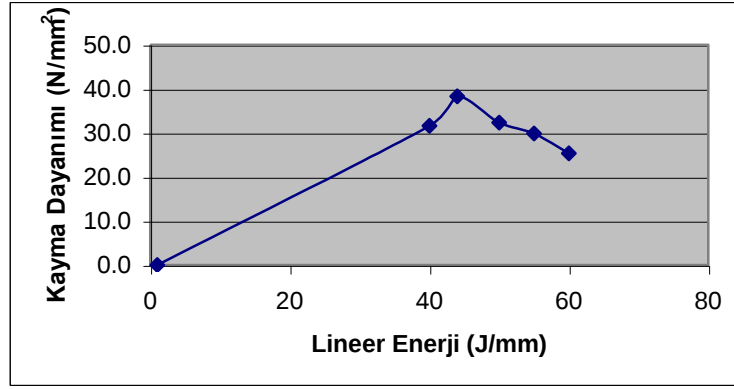
Şekil 4.13 Katkısız HPS ile %1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanması da lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değışiğini.

Katkısız HPS ile mor renklendirilmiş katkılı HPS'in kaynaklanması da elde edilen en yüksek kayma dayanım değeri 24.3 N/mm^2 'dir. Bu kayma değeri ne 30 J/mm 'lik bir lineer enerji değeri nde ulaşılabilinmektedir.



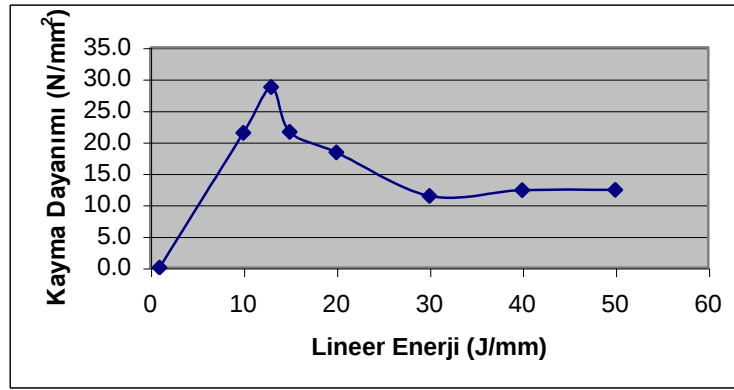
Şekil 4.14 Katkısız HPS ile mor renklendirilmiş katkılı HPS'in kaynaklanması da lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değışiğini.

Katkısız HPS ile Ti_2O katkılı HPS'in kaynaklanması da elde edilen en yüksek kayma dayanım değeri 38.3 N/mm^2 'dir. Kayma dayanımının bu kadar yüksek çıkmasının nedeni kaynak alanın gözle doğru bir şekilde düşölmemesinden kaynaklandığı düşünölmektedir. En yüksek kayma dayanım değeri ne 44 J/mm 'lik lineer enerji değeri nde ulaşıl mıştır.



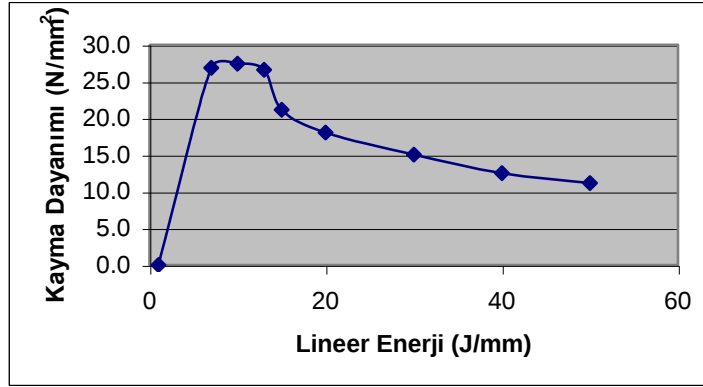
Şekil 4.15 Katkısız HPS ile Ti_2O katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değışı.

Katkısız HPS ile N R A1 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında elde edilen en yüksek kayma dayanım değeri 28.7 N mm^2 'dr. Bu değere 13 J/mm lik lineer enerli değeri nde ulaşmışır.



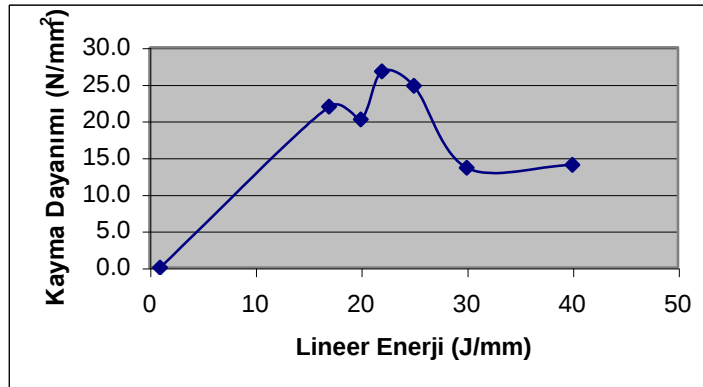
Şekil 4.16 Katkısız HPS ile N R A1 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değışı.

Katkısız HPS ile N R A3 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanmasında elde edilen en yüksek kayma dayanım değeri 27.4 N mm^2 'dr. Bu değere 10 J/mm lik lineer enerli değeri nde ulaşmışır.



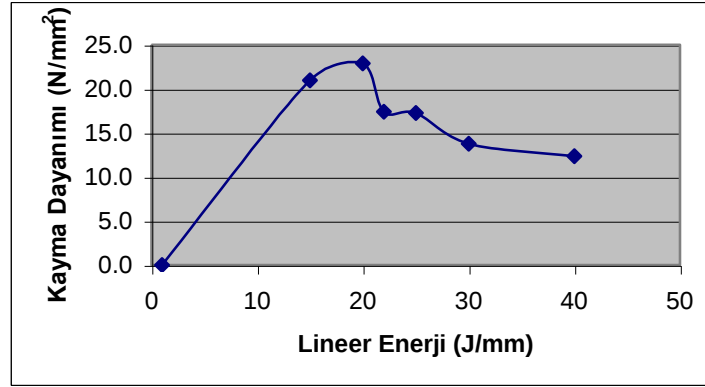
Şekil 4. 17 Kat k ı s ı z H P Si l e N R A3 y ı t u c u k ı t k ı l ı H P Si n k a y n a k l ı a n m ı s ı n d a l i n e e r e n e r j i y e b a ğ ı d ı r a k k a y m a d a y a n ı m ı n ı n d e ğ i ş i n i.

Ti₂ O k ı t k ı l ı H P Si l e N R A1 y ı t u c u k ı t k ı l ı H P Si n k a y n a k l ı a n m ı s ı n d a d e d i l e n e n y ı k s e k k a y m a d a y a n ı m d e ğ e r i 26.7 N m m²' d r. B u d e ğ e r e 22 J / m m l i k l i n e e r e n e r l i d e ğ e r i n d e u a ş ı l m ı ş t ı r.



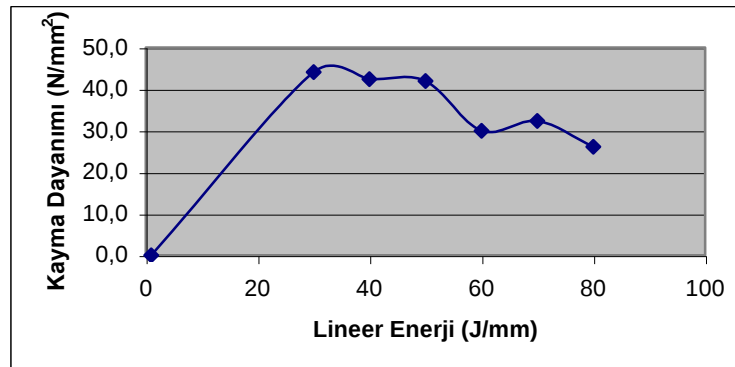
Şekil 4. 18 Ti₂ O k ı t k ı l ı H P Si l e N R A1 y ı t u c u k ı t k ı l ı H P Si n k a y n a k l ı a n m ı s ı n d a l i n e e r e n e r j i y e b a ğ ı d ı r a k k a y m a d a y a n ı m ı n ı n d e ğ i ş i n i.

Ti₂ O k ı t k ı l ı H P Si l e N R A3 y ı t u c u k ı t k ı l ı H P Si n k a y n a k l ı a n m ı s ı n d a d e d i l e n e n y ı k s e k k a y m a d a y a n ı m d e ğ e r i 22.9 N m m²' d r. B u d e ğ e r e 20 J / m m l i k l i n e e r e n e r l i d e ğ e r i n d e u a ş ı l m ı ş t ı r.



Şekil 4.19 Ti_2O katkılı HPS ile NR-A3 yutucu katkılı HPS'in kaynaklanması da lineer enerjiye bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

GPPSleri n Qear wê d kull anı larak bî r bî r ne kaynaklanması nda d de dî l en en yüksek kayma dayanımı değeri 44.1 J/ mm'dir. Bu değere 30 J/ mm'li kli neer enerli değeri nde ul aşı l mış tır. 30-50 J/ mm ar dı ğ nda d de dî l en kayma dayanımı 40 N mm² dı varındadır. Dayanım 50 J/ mm'den itı baren aşırı derecede düş mekt edı r.



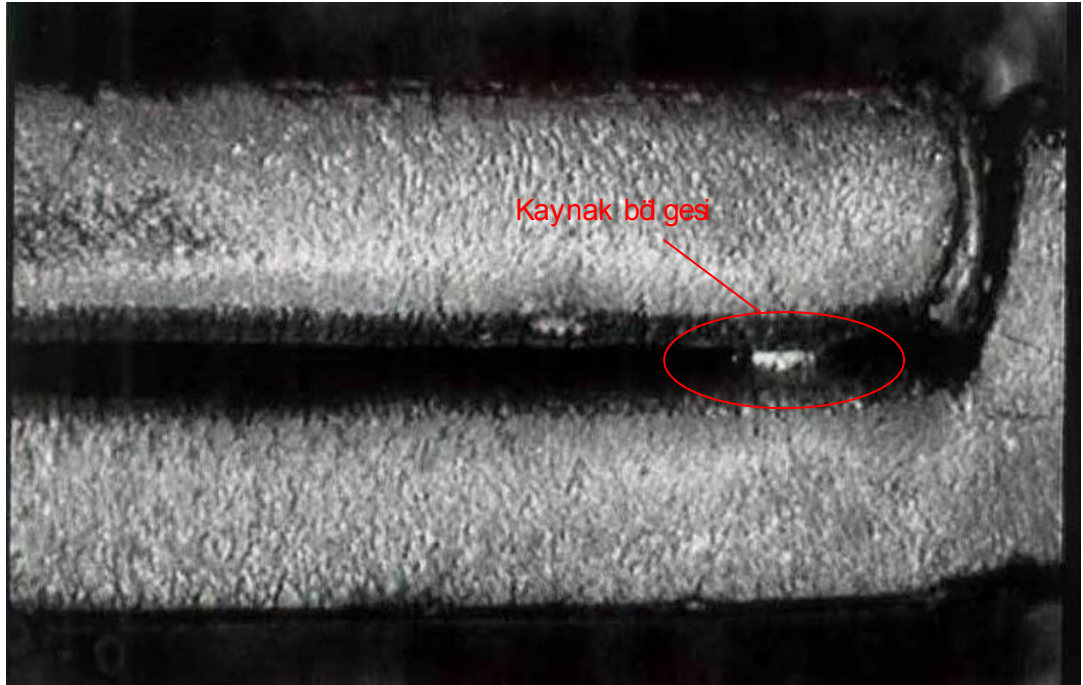
Şekil 4.20 GPPSleri n Qear wê d kull anı larak bî r bî r ne kaynaklanması nda li neer enerjiye ba ğ lı dı rak kayma dayanım değ iş i mî.

Farklı karbon siyahı konsantrasyonuna sahip numunelerle yapılan kaynaklamaların sonucu erişen kayma dayanımları Tablo 4.8 de li neer enerji nî n fonksiyonu dı rak veril miş tır. En düşük kayma dayanımı %0.01 karbon siyahı içeren numunelerle d de dî l miş tır. En yüksek kayma dayanımı değeri ne i se %0.1 oranında karbon siyahı içeren numunelerle d de dî l miş tır. %0.01 karbon siyahı içeren numunelerin yutma oranı çok düşük olduğundan bu numuneler ancak yüksek li neer enerji değeri nde kaynak ana bilı nme kt edı r. Karbon siyahı oranı art tı kça kaynaklama i ğ i n gere kli d an li neer enerji değeri de düş me kt edı r.

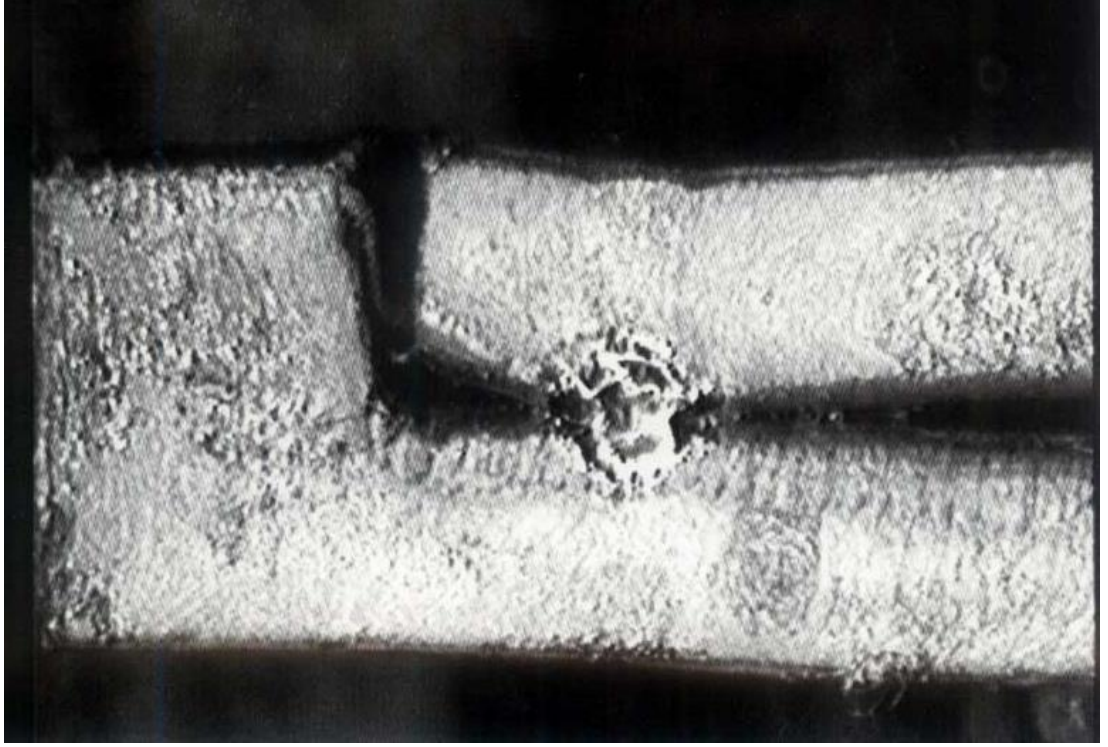
Tablo 4.8 Karbon siyahı konsantrasyonu ve lineer enerjinin fonksiyonu olarak eriştirilen kayma dayanımı.

Karbon siyahı konsantrasyonu (%)	Kayma dayanımı (N mm ²)	Lineer Enerji (J mm)
0,01	19,2	20
0,1	27	10
0,25	26,4	10
0,5	25,5	9
1	25,2	9

Lineer enerji düşük olduğunda ısı etki bölgesi küçüktür. Şekil 4.21’de %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPSi n 4 J/ mm büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklanmasıyla elde edilen kaynak dikişi gösterilmektedir. Bu lineer enerji büyüklüğü kaynaklama için yeterli değildir. Lineer enerji arttıkça ısı etki bölgesi belirgin bir şekilde büyür ve kayma dayanımı artar. Şekil 4.22’de gösterildiği üzere 10 J/ mm büyüklüğünde bir lineer enerjiyle elde edilen kaynak dikişi gösterilmektedir. Bu lineer enerji düzeyinde en yüksek kayma dayanımına ulaşılmaktadır.

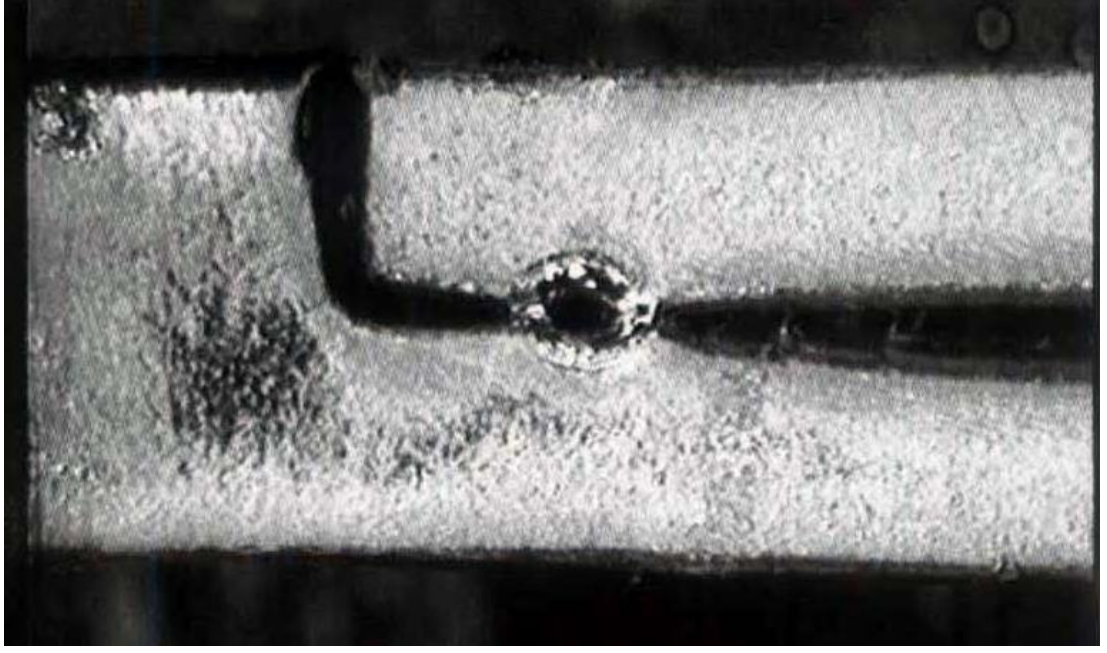


Şekil 4.21 %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPSi n 4 J/ mm büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklanmasıyla elde edilen kaynak dikişinin elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı.

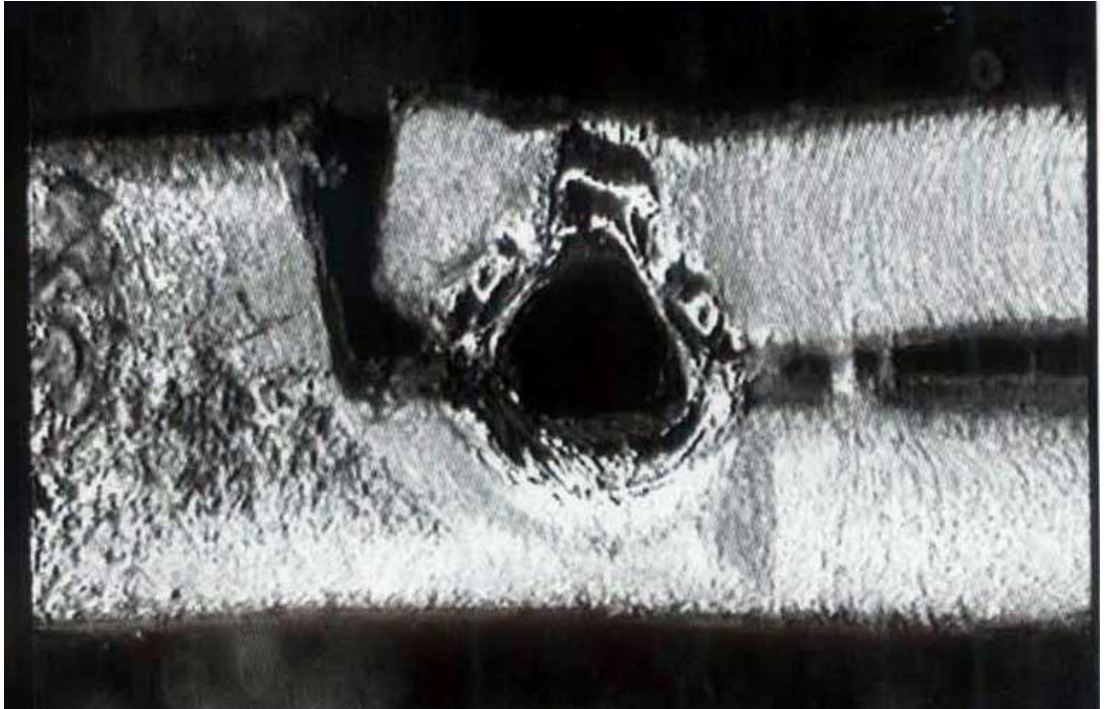


Şekil 4.22 %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPSi'nin 10 J/mm büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklanmasıyla elde edilen kaynak dikişinin elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı.

Lineer enerji artırıldığında birleşimde belirgin bir değişiklik gözlenmektedir. Şekil 4.23'te 15 J/mm lineer enerji büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklamada kaynak dikişinde delik oluşumu başlangıcı gösterilmektedir. Lineer enerji daha da artırılacak olursa ısı etki bölgesinde oluşan delik nedeniyle kayma dayanımı düşmeye devam eder. Şekil 4.24'te 20 J/mm lineer enerji büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklamada kaynak dikişinde delik oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 4.23 %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPSi'nin 15 J/mm büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklanmasıyla elde edilen kaynak dikişinin elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı.



Şekil 4.24 %0.1 oranında karbon siyahı içeren HPSi'nin 20 J/mm büyüklüğünde bir lineer enerji ile kaynaklanmasıyla elde edilen kaynak dikişinin elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı.

Tablo 4.9 de katkı malzemesi türü ve lineer enerjinin fonksiyonu olarak erişilen kayma dayanımları verilmiştir. Yutucu malzeme olarak mor renklendirici ve Ti_2O katkılı HPS kullanıldığı durumlarda ancak yüksek lineer enerji değerlerinde kaynaklama yapılabilir. Bu malzemelerin yutma oranları düşüktür ve sınırlı olarak lazer kaynağında kullanılabilir.

Katkısız ve Ti_2O katkılı HPSin NR A1ve NR A3 katkılı HPS ile kaynaklanmasında, yutucu malzeme olarak NR A1yerine NR A3 kullanıldığı durumda kaynaklama için daha düşük lineer enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Buradan NR A1'in yutma katsayısının NR A3'ün yutma katsayısına göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca katkısız ve Ti_2O katkılı HPSin NR A1ve NR A3 katkılı HPS ile kaynaklanmasında geçirgen malzeme olarak katkısız HPS yerine kullanıldığında Ti_2O katkılı HPS kullanıldığında kaynaklamayı gerçekleştirmek için daha fazla lineer enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Buradan katkısız HPSin Ti_2O katkılı HPS'e göre geçirgenlik oranının daha yüksek ve yansıtma oranının daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.9 Katkı malzemesi türü ve lineer enerjinin fonksiyonu olarak erişilen kayma dayanımı.

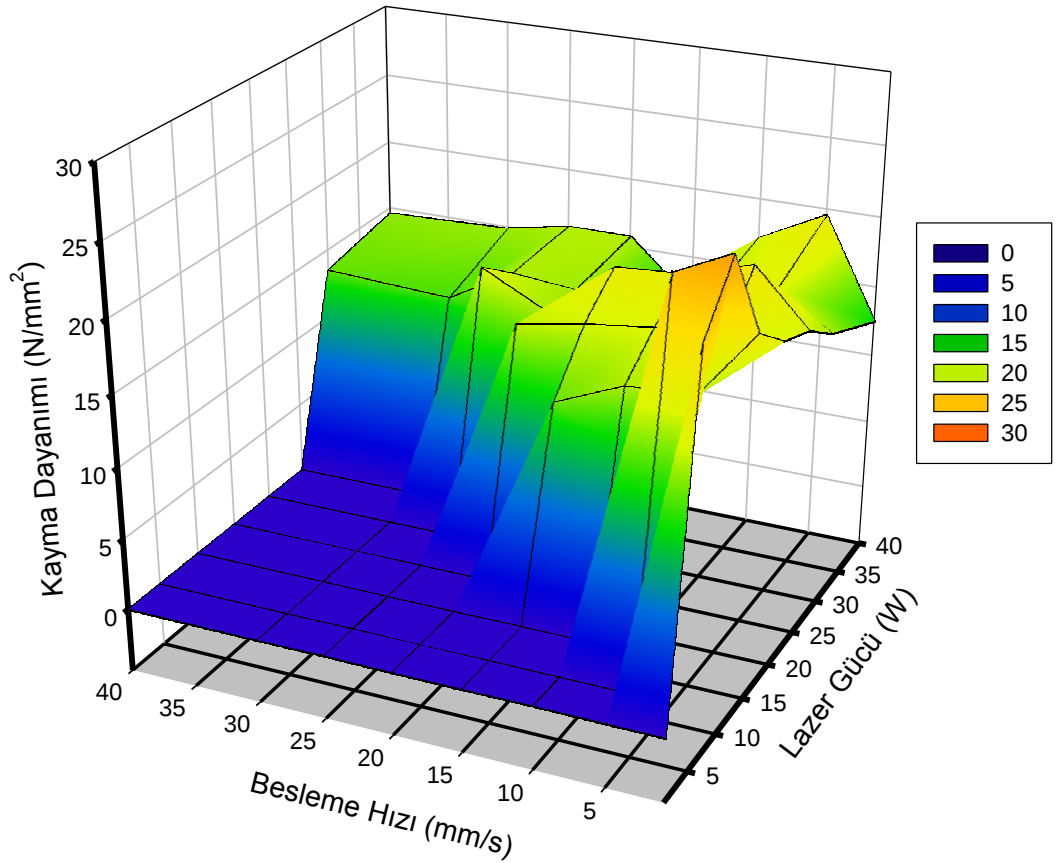
Geçirgen malzeme	Yutucu malzeme	Kayma dayanımı (N/mm ²)	Lineer enerji (J/mm)
Katkısız HPS	%4 mor renklendirici katkılı HPS	24,3	30
Katkısız HPS	%4 Ti_2O katkılı HPS	38,3	44
Katkısız HPS	NR A1 katkılı HPS	28,7	13
Katkısız HPS	NR A3 katkılı HPS	27,4	10
Ti_2O katkılı HPS	NR A1 katkılı HPS	26,7	22
Ti_2O katkılı HPS	NR A3 katkılı HPS	22,9	20

4.2.2 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

4.2.2.1 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımları Ek B'de, öngörülen kaynak alanının gerçek kaynak alanına bölünmesi ile elde edilen normalizasyon faktörleri Ek C'de ve çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımlarının normalizasyon faktörleri ile çarpılması ile elde edilen gerçek kayma dayanımları Ek D'de verilmiştir.

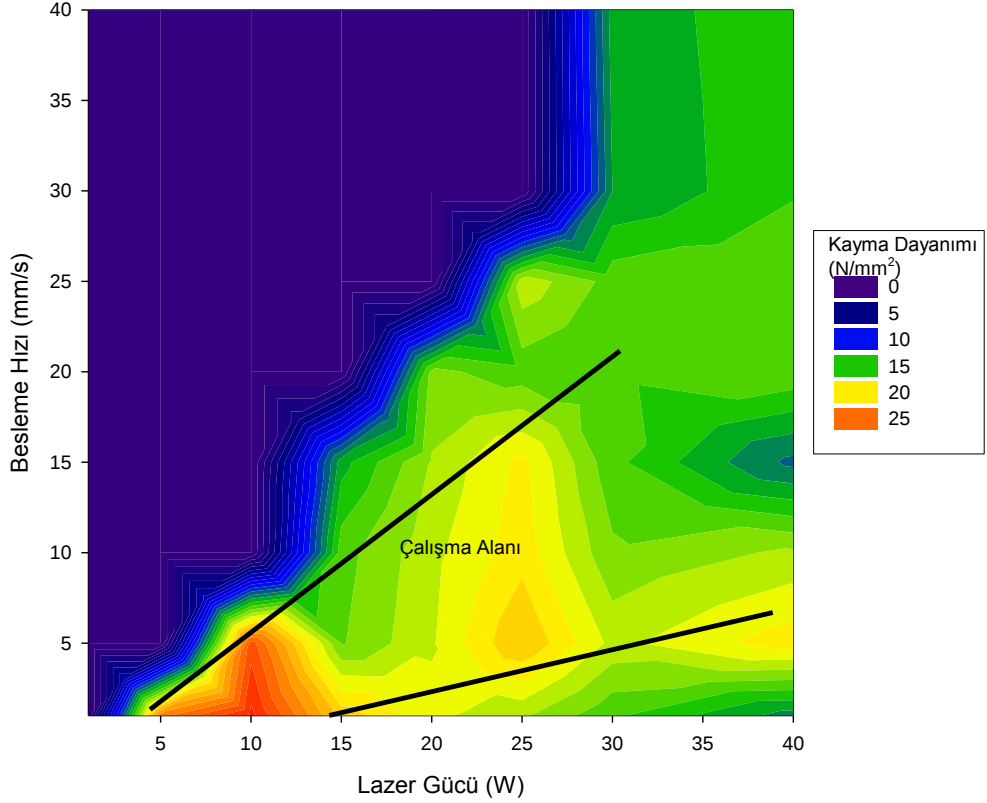
Şekil 4.25'de %0.1 Ci çeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynak alanı dikkate alınarak kaynaklanması için çekme testi sonuçları lazer gücü ve besleme hızının fonksiyonu olarak verilmiştir.



Şekil 4.25 %0.1 Ci çeren numuneler ile katkısız numunelerin kaynak alanı dikkate alınarak kaynaklanması için çekme testi sonuçları.

4.2.2.2 Lazer Gücü Besleme Hızı Parametreleri Kullanılarak Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar

%0.1 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı Şekil 4.26'daki çizgi arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.26 %0.1 karbon siyahı oranı için yüksek kayma dayanımı boyunca çalışma alanı.

Besleme hızının 1 mm/s ve lazer gücünün 10 W olduğu, besleme hızının 1-2 mm/s ve lazer gücünün 15 W olduğu, besleme hızının 2-3 mm/s ve lazer gücünün 25 W olduğu değerlerde yüksek kayma dayanımları elde edilmiştir. Elde edilen en yüksek kayma dayanımı değeri 25 N/mm²'dir. Lazer gücü ve besleme hızı parametreleri kullanılarak elde edilen bu değer lineer enerji kavramı ile elde edilen maksimum değer ile aynıdır. Ayrıca bu yüksek dayanımın elde edildiği lazer gücü ve besleme hızı kombinasyonlarının 10 W lazer gücünün besleme hızına oranı 10 J/mm'dir.

4.2.3 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları

4.2.3.1 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Çekme Testi Sonuçları

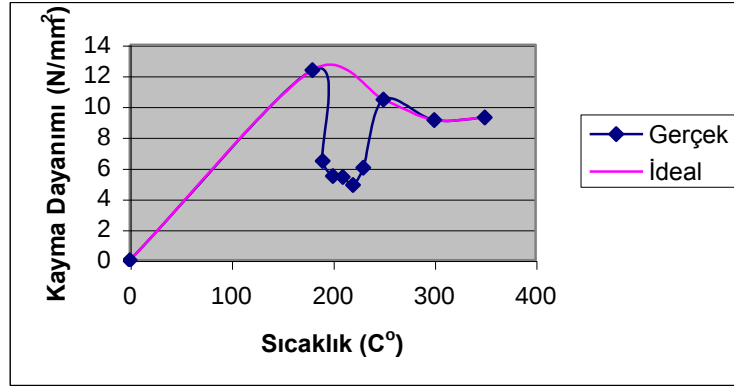
Çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımları Ek B'de, öngörülen kaynak alanının gerçek kaynak alanına bölünmesi ile elde edilen normalizasyon faktörleri Ek C'de ve çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımının normalizasyon faktörleri ile çarpılması ile elde edilen gerçek kayma dayanımları Ek D'de verilmiştir.

Çekme testi sonucu elde edilen kayma dayanımları ve bu değerlerin normalizasyon faktörleri ile çarpılması ile elde edilen gerçek kayma dayanımları Ek- X'de verilmiştir.

4.2.3.2 Sıcaklık Kontrolü Yapılan Kaynaklama Çalışmaları için Sonuçlar

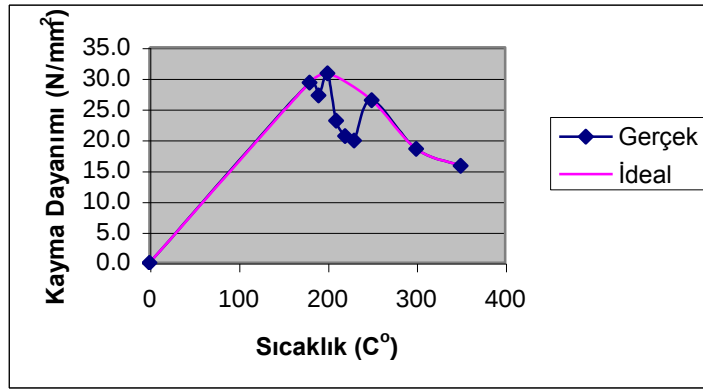
Aşağıdaki Şekil 4.27-Şekil 4.31 boyunca katkısız HPS ile karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişim gösterilmiştir. Her bir karbon siyahı oranı için kaynaklamaya ancak $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den itibaren başlanmakta ve $T=180\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında kayma dayanımı fazla değişim göstermemektedir.

%0.01 karbon siyahı oranı için $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek kayma dayanımı elde edilmiştir fakat $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den sonra kayma dayanımının oldukça düştüğü görülmektedir. Ayrıca elde edilen maksimum dayanımın diğer oranlardakilerle elde edilen kayma dayanımlarına göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin %0.01 oranında karbon siyahı katkısının kaynaklamayı gerçekleştirmek yeterli olmadığı ve dd ayısı ile elazer kaynak aldatının maksimum güçte çalışması durumunda bile kaynak ara yüzeyinde malzemeyi istenilen sıcaklığa çıkartamaması olduğu düşünülmektedir. Aletin kontrol ünitesi sıcaklığı kendisinden istenilen seviyeye çıkartmadığı için $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den itibaren elde edilen kayma dayanımlarında düzensizlikler görülmektedir.



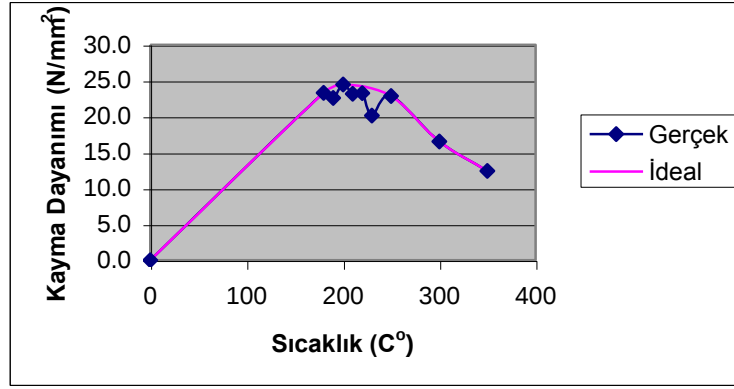
Şekil 4.27 Katkısız HPS ile %0.01 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

%0.1 karbon siyahı oranı için $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek kayma dayanımı değeri olan 30.8 J/mm^2 de edilmiştir fakat $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den sonra kayma dayanımının oldukça düştüğü görülmektedir



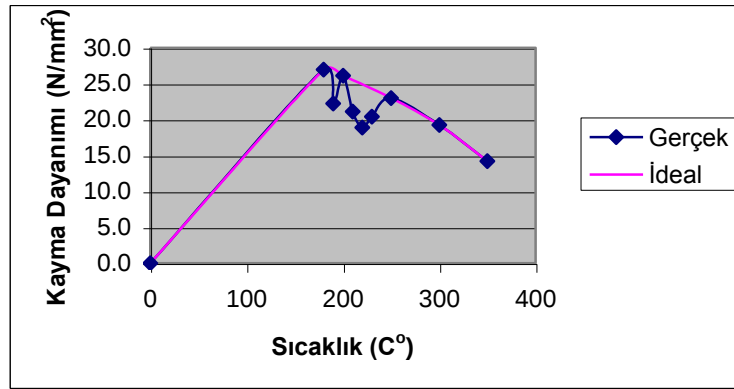
Şekil 4.28 Katkısız HPS ile %0.1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanmasında sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

%0.25 karbon siyahı oranı için $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek kayma dayanımı değeri olan 24.5 J/mm^2 de edilmiştir.



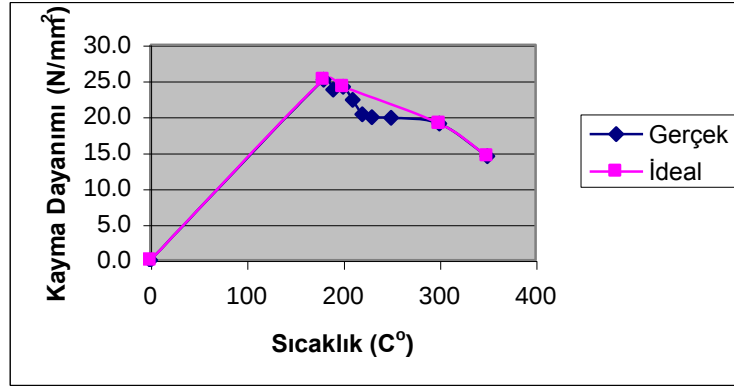
Şekil 4. 29 Katkısız HPS ile %0.25 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanması da sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

%0.5 karbon siyahı oranı için $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek kayma dayanımı değeri olan 24.5 J/mm^2 de edilmiştir.



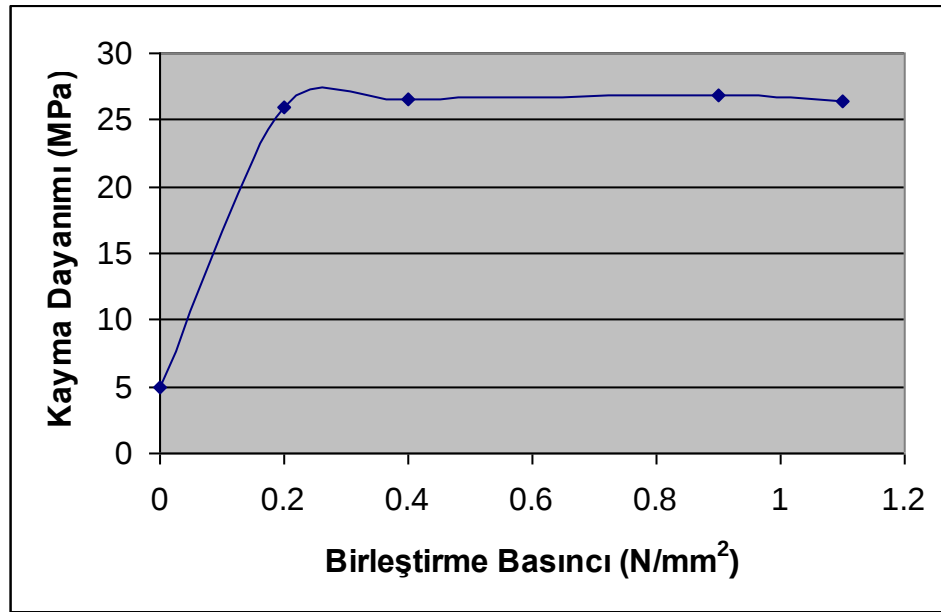
Şekil 4. 30 Katkısız HPS ile %0.5 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanması da sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

%1 karbon siyahı oranı için $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek kayma dayanımı değeri olan 25.6 J/mm^2 de edilmiştir.



Şekil 4.31 Katkısız HPS ile %1 karbon siyahı katkılı HPS'in kaynaklanması da sıcaklığa bağlı olarak kayma dayanımının değişimi.

4.3 Birleştirme Basıncının Kaynak Dayanımına Olan Etkisini İncelenmesi İçin Sonuçlar



Şekil 4.32 Birleştirme basıncının kayma dayanımına olan etkisi.

Şekil 4.32 de 0.2 N/mm²lik birleştirme basıncına kadar kayma dayanımının çok düşük olduğu ve bu birleştirme basıncından daha büyük birleştirme basıncında kayma dayanımının değişmediği görülmüştür.

4.4 Çekme Hızı Belirleme Çalışmaları İçin Sonuçlar

Tablo 4.10'da çekme hızına göre elde edilen kayma dayanımları ve parçaların kopma yerleri belirtilmiştir.

Tablo 4.10 Çekme hızına göre kayma dayanımı ve kopma yeri.

Çekme Hızı (mm/dak)	Ortalama Kayma Dayanımı (N/mm ²)	Kopma Yeri
1.27	53.6	Parça
5	57.3	Parça
10	54.3	Parça
20	53.7	Parça
50	64.5	Kaynak
100	66.4	Kaynak
150	63.9	Kaynak
200	66.5	Kaynak
300	65.8	Kaynak

50 mm/dak çekme hızının altındaki hızlarda kopmalar malzemelerin kaynak bölgesindeki eninde kısımla olmaktadır, 50 mm/daklık çekme hızında itibaren kopmalar kaynaktan gerçekleşmektedir ve çekme hızı artırıldıkça elde edilen kayma dayanımını fazla değişmemektedir. Bu çalışmadan önce yapılan ultrason ve vibrasyon kaynak çalışmalarında çekme testleri 50 mm/daklık çekme hızı ile gerçekleştirildiğinden bu çalışmada elde edilen kaynak dayanımının diğer çalışmalarda elde edilen değerlerle karşılaştırmak amacıyla çekme hızı 50 mm/dak seçilmiştir.

4.5 Sonuçlar ve Öneriler

Lazer gücü ve besleme hızının belli kombinasyonlarında yüksek kayma dayanımını elde edilmiştir. Bu yüksek kayma dayanımının elde edildiği bu bölgeler çalışmada anıdraktarılmıştır. Çalışma alanı içinde kalma şartıyla steril en lazer gücü ve besleme hızı kombinasyonu plastiklerin kaynaklanmasında kullanılabilir.

Plastikleri lazer ile kaynaklanmasında kullandığımız işlemler parametreleri d anlazer gücü ve besleme hızı yerine, lazer gücünün besleme hızına oranı d anlineer enerji kavramı kullanılabilir. Böylelikle sadece en uygun lineer enerji değerini belirleyerek plastiklerin kaynaklanması gerçekleştirilir.

Kaynak dayanımı lineer enerjinin belli bir değerine kadar artan lineer enerji ile artmaktadır fakat lineer enerji daha da artırılabilecek dursa pidi merin bozunması nederiyle kaynak ara yüzeyi nde ddik d uşu meydana gel emesi nden dd ayı kaynak dayanımı düşmektedir.

Farklı karbon siyahı konsantrasyonuna sahip numunelerle yapılan kaynaklamaların sonucu erişen en yüksek kayma dayanımı %0.1 oranında karbon siyahı içeren numunelerle elde edilmiştir. En düşük kayma dayanımı %0.01 karbon siyahı içeren numunelerle elde edilmiştir. %0.01 karbon siyahı içeren numunelerin yutma oranı çok düşük olduğundan bu numuneler ancak yüksek lineer enerji değerlerinde kaynaklanabilmektedir. %0.01 oranında karbon siyahı katkısı HPS malzemenin kaynaklanması için yeterli yutma oranını verememektedir. Karbon siyahı oranı arttıkça kaynaklama için gerekli olan lineer enerji değeri de düşmektedir ve elde edilebilen en yüksek kayma dayanımı değeri azalmaktadır. Bu sebeple HPS malzemeni nlazer ile kaynaklanması nda en uygun karbon siyahı oranı %0.1 dir.

Yutucu malzeme olarak mor renklendirildi ve Ti_2O katkılı HPS kullanıldığı durumlarda ancak yüksek lineer enerji değerlerinde kaynaklama yapılabilmiştir. Bu katkı malzemelerinin yutma oranları düşüktür ve sınırlı olarak lazer kaynağında kullanılabilir.

N R A1ve N R A3 katkı malzemeleri lazer kaynağı gerekli yutma oranını sağlayabilmektedirler. Ayrıca N R A1'in yutma katsayısının N R A3ün yutma katsayısına göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

GPPSlerin Clearwel® kullanılarak birbirine kaynaklanması nda kaynaklanacak parçalar arası na uygulanan yutucu malzeme ara bölgede eriyik d uşması için gerekli olan ısıyı ancak 30 J/mmlik lineer enerjiden itibaren verebilmekte ve $E=50$ J/mm'den itibaren yutucu malzeme bozunmaktadır.

Sıcaklık kontrolü yapılan kaynaklama çalışmaları nda her bir karbon siyahı oranı için en yüksek kayma dayanımına $T=200$ C°'de ulaşılmıştır.

Birleştirme basıncının etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda 0.2 N/mm²'lik birleştirme basıncına kadar kayma dayanımının çok düşük olduğu ve bu birleştirme basıncından daha büyük birleştirme basıncında kayma dayanımını değişmediği görülmüştür.

Plastiklerin lazer ile kaynaklanması konusunda çalışacak kişilere polimer malzemelerin yansıtma, yutma ve geçirgenlik oranlarının tesbiti, ART diyaframlarının çıkartılması, kaynağın çekme dayanımının belirlenmesi, kaynak penetrasyon derinliğinin artırılmasına çalışılması, mercekleme ve kaynak geometrisinin kaynak dayanımına olan etkilerinin belirlenmesi konularında çalışma yapmalarını tavsiye ederim

KAYNAKLAR

- [1] **Jackson, Hand Smith D**, 1990. Annual Report, Synthetic Material Production Industry Association, USA
- [2] **Hansch, D**, 2001. Laser welding of plastics, Shaker Verlag, Aachen.
- [3] **Güleç, Ş, Çapa, M**, 1995. Özel i malat yöntemleri, p.14-17, İTÜ Makina Fakültesi Baskı Matbaası, İstanbul.
- [4] **Hilton, P**, 2000. Carbon dioxide laser, www.twi.co.uk
- [5] **Hilton, P**, 2001. Nd:YAG laser welding laser, www.twi.co.uk
- [6] **Taylor, D**, 2001. Use of excimer lasers for materials processing, www.twi.co.uk
- [7] **Hilton, P**, 2000. Diode lasers, www.twi.co.uk
- [8] **Hilton, P**, 2001. Diode lasers, www.twi.co.uk
- [9] **Hansch, D**, 1998. Welding of Plastics with Diode Laser, *PhD Thesis*, Fraunhofer Institut für Lasertechnologie, Aachen, Germany.
- [10] **DIN Nr. 7732**, 1963. Teil 1, DIN Standards.
- [11] **Michaeli, K**, 1995. Plastic Processing - An introduction, Hanser-Verlag, Munich
- [12] **Nelson, S**, 1995. CD Chemistry encyclopedia Version 1.0, George Thieme Publishing House, Stuttgart.
- [13] **Kenrich, Y**, 2002. How it works, www.dearweld.com
- [14] **Voyutskii, S and Margolina, Y.L**, 1957. Rubber Chemistry, Technol, New York
- [15] **Vasenin, R M**, 1970. Adhesion: Fundamentals and Practice, Elsevier, New York
- [16] **Krevelan van, D.W**, 1990. Properties of polymers, Elsevier Science, Amsterdam
- [17] **Gabler, K**, 1981. Evaluation of the weldability of different thermoplastics regarding the butt welding of heat elements, Adhesion, number 2
- [18] **Anand, J N, Karan, H J and Balwinsky, R Z**, 1969. Interfacial contact and bonding in Autoadhesion, Adhesion, Vol. 1, p.16,

- [19] **Potente, H**, 1977. Theory of the butt welding of heat elements, plastics 67, NR 2, P. 98
- [20] **Feschel, D**, 1975. CO₂ laser welding, *PhD Thesis*, RWT Aachen.
- [21] **Bonten, C**, 1998. Welded joints from partially crystalline thermoplastics, *PhD Thesis*, Gesamthochschule University, Essen
- [22] **Watson, G**, 1999. Internal report, ILT
- [23] **Schonhorn, H**, 1970. Adhesion: Fundamentals and Practice, Part 1, chapter 3, Ministry of Technology, U.K., Elsevier, New York
- [24] **Kryszewski, M**, 1995. Plastics and Rubber, Nr. 10
- [25] **Bias, H G**, 1990. Macromolecule, 5. Edition, Hüthig und Wepf, Basel.
- [26] **Zel'dovich, Y. B and Raizer, Y. P.**, 1996. Physics of shock waves and high temperature hydrodynamic phenomena, Academic Press, New York
- [27] **Menges, G**, 1990. Industrial Plastics, Carl Hanser Verlag, Munich
- [28] **Dobbert, P**, 1990. Crystallisation in Polymers, pp. 9, Acta Polymerica
- [29] **Keith, R M**, 1964. Applied Physics, pp. 1270, Plinseton, New J

EKLER

EK A Kaynak Alan Değişim Dikkate Alınmadan Yapılan Çalışmalar için Çekme Testi Sonuçları

%0.01 C

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1								
5	62.648							
	64.408							
	64.352							
	56.92							
10	63.8726	İptal 28.53						
	65.128	52.864						
	64.544	50.848						
	67.008	51.88						
	68.024	50.936						
15*	63.584	55.4	35.032	14.672				
	70.264	58.992	30.664	21.744				
	65.576	56.992	27.784					
		58.848	33.888					

		58.456	28.16					
20	24.2	60.224	44.784					
	47.856	63.168	57.448					
		54.888	53.224					
		57.224	48.792					
		59.544	*40.28					
25	36.536	61.24	50.72	46.48	21.064	14.416		
		63.84	52.768	48.208	33.528	21.888		
		57.4	*53.696	46.144	38.136	17.224		
		63.376	*54.464	50.824	36.016			
		56.032	*56.808	ip d 22 12 8				
30		63.384	46.096	49.92	37.96	27.72		
		62.84	*54.16	33.456	47.048	32.184		
		59.144	50.672	50.344	40.776	31.152		
		61.872	*54.376	36.616	37.84	27.568		
		58.856	49.92	46.728	30.936	ip d 10 38 4		
40		56.648	*62.496	ip d 62 36	43.936	37.848	26.424	16.16
		61.28	58.792	55.776	47.464	41.752	27.624	10.184
		62.664	*61.936	*49.624	*49.336	38.984	46.48	37.504
		66.936	*61.976	*55.976	45.376	37.24	29.288	ip d 3 898
		66.808	*62.36	56.392	46.936	43.592	33.688	

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ
5	62.082	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ
10	65.715	51.632	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ
15	66.924	57.738	31.106	18.208	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ
20	36.028	59.010	51.062	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ	#D VQ
25	36.536	60.378	51.744	47.914	32.186	17.843	#D VQ	#D VQ
30	#D VQ	61.219	48.896	43.413	38.912	29.656	#D VQ	#D VQ
40	#D VQ	62.867	58.792	56.084	45.928	39.883	32.701	21.283

%0.1 C

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	17.168							
	7.659							
	2.115							
5	63.84	44.224	33.376	18.952	12.656			
	64.352	51.296	31.064	20.576	13.296			
	64.632	54.776	29.936	13.872				
		40.04	31.832	16.4				
		46.216	28.296					
10	63.056	57.992	57.216	47.624	42.72	36.184	30.832	24.904
	63.76	54.104	51.896	42.84	41.152	32.128	33.056	28.488
	67.776	57.44	50.96	49.792	38.84	37.224	34.216	24.232
		60.592	49.304	49.216	41.52	34.128	33.088	16.536
		59.392	49.024	43.216	36.704	30.832	32.248	20.904
15	25.976	57.48	63.832	54.732	46.728	54.704	46.696	35.784
	41.912	64.072	61.392	50.976	58.216	49.592	43.384	39.968
	43.024	61.832	52.584	51.84	53.008	48.576	49.472	38.832
		60.952	57	50.368	62.592	51.632	50.512	39.216
		58.136	56.2	49.128	54.384	50.536	36.992	
20	64.744		65.368	52.536	56.12	52.576	52.288	43.712
	65.568		56.28	55.92	54.28	56.592	48.968	46.608
	63.616		63.176	58.448	54.32	57.16	50.76	46.24
			62.344	62.36	54.794	52.88	53.224	49.784
			63.048	66.672	57.352	47.112	55.224	45.824
		66.416	63.448	58.68	55.288	48.888	50.76	47.184

25		p65. 672	53. 952	56. 12	65. 168	49. 896	48. 896	42. 056
		p67. 216	58. 792	57. 304	55. 264	53. 256	47. 888	46. 824
			61. 136	51. 664	57. 104	60. 232	51. 136	52. 912
			53. 384	54. 704	56. 104	58. 336	54. 12	54. 712
30		64. 304	66. 888	65. 288	58. 936	55. 208	52. 76	49. 88
			66. 032	68. 984	57. 256	55. 456	51. 424	49. 368
			66. 816	67. 136	66. 496	53. 072	59. 04	47. 8
			67. 592	68. 28	53. 6	58. 728	62. 744	55. 096
			67. 408	66. 232	56. 584	62. 768	61. 8	40. 856
40		65. 136	56. 896	60. 592	65. 08	57. 136	61. 88	43. 496
						61. 688	60. 232	53. 296
						60. 016	63. 12	53. 472
						60. 656	63. 184	52. 72
						63. 496	60. 584	56. 632

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	8. 981	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q
5	64. 275	47. 310	30. 901	17. 450	12. 976	#D V Q	#D V Q	#D V Q
10	64. 864	57. 904	51. 680	46. 538	40. 187	34. 099	32. 688	23. 013
15	36. 971	60. 494	58. 202	51. 409	54. 986	51. 008	45. 411	38. 450
20	64. 643	#D V Q	62. 043	59. 187	55. 373	53. 264	52. 093	46. 434
25	#D V Q	66. 416	58. 142	55. 694	57. 786	54. 122	50. 560	48. 738
30	#D V Q	64. 304	66. 947	67. 184	58. 574	57. 046	57. 554	48. 600
40	#D V Q	65. 136	56. 896	60. 592	65. 080	60. 598	61. 800	51. 923

%0.25 C

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	28.4							
	29.9							
	30.3							
5	68	56.2	44.8	39.9	34.5	23.6	26.2	16
	67.2	57.8	40.7	36.6	34.6	26.7	22.8	19.8
	67.8	58.4	40.9	34.9	29.2	29.7	26.5	
	66.8*62		44.1	39.7	28.7	25.9	16.8	
	66.8	61.8	43.3					
10	68.5*65.2		55.4	46.1	47	47.6	42.5	40.9
		*62.8	55.9	48.6	51.2	47.5	38.4	36.8
		*59.4	58.8	54.2	52.5	48.1	45.6	38.4
		*63.2	59.3	47.9	54.5	51.3	39.8	43.6
		60.7	59	46.7	50.8	45.6	40.9	40.6
15	53.6	66.3	57.4	59.15	54.9	52.8	53	52.5
		67.6*60		60.2	58.9	53.6	50.8	54.4
		66.8*63.9		55.3	58.8	54.2	52.4	49.7
		68.3	61.8	57.3	54.9	53.7	52.6	54.8
		68.3	61.4	57	58.2	53.3	55	52.2
20	34.6	66.5	62.1*64.9		62.3	56	51	51.9
		65.7	62.4*62.3		55.2	59.6	58.8	52.5
			65.8	57.7	60.3	57.7	57.3	53.5
			65*61.8		58.9	60.6	58.7	55.3
			65*67.4		62.2	55.2	56.7	49.8
	68.4		66.9	64.9	61.4	59.2	53.3	54.1

25			68.5	68.1	59.8	61.4	54.8	50.2
			67.3	66.7	*65.7	55.5	51.9	58.9
			68	67			58.2	57.5
			66.3	65.2			54.2	49.9
30			*67	*65.2	61.6	60.6	58	60.9
			*65.9	*66.1	*63.22	*60.2	61.2	55.8
			*67.2	*64.2	*61.7	60.7	59.2	56.7
			*66.7		*64.9	52.9	51.5	61.2
					*62.7		58.3	56
40		65.9	67.8	64.8	67	65.9	63.7	61.5
		68.1	67.3	66.1	67	65.9	67.5	*65.8
		67.7	67.1	67.5	67	62.4	65.8	59.6
							67	*63.6
							66	58.2

P \ v	1.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0
1.0	29.5	#DIV0	#DIV0	#DIV0	#DIV0	#DIV0	#DIV0	#DIV0
5.0	67.3	58.6	42.8	37.8	31.8	26.5	23.1	17.9
10.0	68.5	60.7	57.7	48.7	51.2	48.0	41.4	40.1
15.0	53.6	67.5	60.2	57.8	57.1	53.5	52.8	52.7
20.0	34.6	66.1	64.1	57.7	59.8	57.8	56.5	52.6
25.0	68.4	67.4	66.4	60.6	58.7	58.7	54.5	54.1
30.0	#DIV0	#DIV0	#DIV0	61.6	58.1	57.6	57.6	58.1
40.0	#DIV0	67.2	67.4	66.1	67.0	64.7	66.0	59.8

%0.5 C

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	32.272							
	32.96							
	45.736							
	31.312							
	24.176							
5		54.416	46.568	41.424	45.208	29.784	27.864	23.984
		66.568	50.248	41.528	39.376	38.008	28.35	18.36
		57.584	48.384	47.352	38.288	33.512	26.8	22.232
		62.372	47.632	41.952	31.136	34.4	29.08	27.528
		58.112	48.992	43.696	35.976	36.344	24.2	25.536
10	68.088	p70.16	65.208	54.296	44.84	43.56	50.2	37.552
		*70.752	55.264	53.24	53.016	49.808	47.216	44.912
		p68.024	51.168	42.392	46.536	47.472	53.752	36.936
		64.216	55.272	47.904	46.728	41.944	44.952	43.104
		*67.704	53.6	54.456	45.2	46.264	50.976	38.8
15	43.328	59.384	55.8	54.344	51.368	49.608	51.416	50.216
		59.96	66.648	57.408	49.608	60.224	53.168	51.896
		62.592	65.048	56.368	50.944	56.984	52.784	52.248
			57.616	56.568	50.384	50.96	50.328	47.76
				*62.544	59.904	56.312	57.528	49.904
20		68.808	67.024	64.6	60.936	56.968	58.184	51.512
		69.144	68.016	67.648	*62.952	58.016	59.736	49.096
		67.248	66.648	68.392	60.264	57.112	61	56.96
			66.264	67.592	*63.912	62.296	59.488	54.184
			65.576	63.68	60.008	58.464	61.344	55.824
		72.192	60.328	59.984	*63.456	56.368	*62.112	51.565

25		71.328	67	67.824	*69.24	*62.304	53.408	52.648
		67.648	63.048	69.48	65.112	53.84	50.32	49.72
				66.128	62.816	55.072	56.272	52.112
				68.584	*64.072	54.304	49.936	50.464
30		61.592	68.216	70.128	63.016	62.048	*64.008	59.056
		67.856	67.224	64.184	67.44	*69.224	62.808	51.856
		66.136	70.864	66.992	64.384	57.72	*63.104	62.816
		67.496	66.432	66.624	67.304	*64.328	53.856	58.352
			68.944	64.768	65.704	*63.952	61.256	52.824
40		57.856	64.048	63.104	62.808	59.064	*62.52	p46.384
		66.376	62.688	65.408	64.36	58.032	*63.152	59.144
				67.704	56.488	65.264	63.72	63.6
				67.536		59.128	*66.992	55.264
						63.832		58.608

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	33.291	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q
5	#D V Q	59.810	48.365	43.190	37.997	34.410	27.259	23.528
10	68.088	64.216	56.102	50.458	47.264	45.810	49.419	40.261
15	43.328	60.645	61.278	56.172	52.442	54.818	53.045	50.405
20	#D V Q	68.400	66.706	66.382	60.403	58.571	59.950	53.515
25	#D V Q	70.389	63.459	66.400	63.964	54.896	52.484	51.302
30	#D V Q	65.770	68.336	66.539	65.570	59.884	59.307	56.981
40	#D V Q	62.116	63.368	65.938	61.219	61.064	63.720	59.154

EK B Kaynak Alan Değişimi Dikkate Alınarak Yapılan Çalışmalar için Çekme Testi Sonuçları

%0.1G Lazer gücü ve besleme hızı parametreleri ile

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1								
5								
	30.2							
	27.4							
10	82.3	30.1						
	77.7	30.9						
	87.9	31						
15	114.7	58*7.2		14.2				
	137.6	45.3	40.7					
	137.6	52.2						
20	142.1	83.2	56.7	36.7*3.15				
	142.1	87.5	50.9	33.2	21.76			
	164.3	57.7	42.1*7.19					
	162.4							

25	167.7	88.7	59.6	53.2	24.9	43.7		
	*190.9	*34.9	53.1	55.1	29.3	35.4		
	157.5	93.8	54.4	48.3	29.6			
30	151.9	84.4	67.4	47.9	51.6	31.6	*18	25.5
	169	93.4	77.8	59.4	35.2	33.4		25.6
	167.8	78.6	64.7	*39.4	*23.1			
40	167.8	99.4	78.9	*42.2	*61.6	44.5	35.4	38.2
	*194.4	96.2	80.2	*42.2	*62.3	54.4	39.9	39.5
	156.1	89.6	*64.5	*39	52.8	38.6	39.9	*51.3
				74.3				

P \ v	1	5	10	15	20	25	30	40
1	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q
	28.8	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q
	82.6	30.7	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q
	130.0	51.8	40.7	14.2	#D V Q	#D V Q	#D V Q	#D V Q
	152.7	76.1	49.9	35.0	21.8	#D V Q	#D V Q	#D V Q
25	162.6	91.3	55.7	52.2	27.9	39.6	#D V Q	#D V Q
30	162.9	85.5	70.0	53.7	43.4	32.5	#D V Q	25.6
40	162.0	95.1	79.6	74.3	52.8	45.8	38.4	38.9

% 0.01
G Li neer
Enerji

P(W)	15	17	19	20	30	40	50
v=1 mm/s	*46.5	43.3	33.1	48.1	61.7	48.4	126.5
	36	37.8	31.2	47.1	61.7	75.2	115
		33.9	46	63	44.6	72.3	90.2
		26.7	40.5	*423	55.9	38.9	123.2
		33.1	45.3	95.7	*25.2	193	
Ortalam a	36.0	35.0	39.2	63.5	56.0	85.6	113.7

% 0.1G
Li neer
Enerji

P(W)	5	7	9	10	12	15	20	30	40	50
v=1 mm/s	34	48.4	79.3	*64.9	90.6	102.9	93.4	144.5	150.9	175.6
	49.2	62.9	94.5	89.8	118.5	106.6	99.7	134.5	134.5	163.7
	29.5	67.2	87.7	92.3	117.1	114.7	106.3	148	153.9	189.7
	43.7	53.7	79.3	*77.9	99.1	117	121.8	145		
	47.9	62.3		*82.9	98.2	104	128.6	149.5		
Ortalam a	40.9	58.9	85.2	91.1	104.7	109.0	110.0	144.3	146.4	176.3

% 0.25
G Li neer
Enerji

P(W)	5	7	10	15	20	30	40	50
v=1 mm/s	48.2	65.2	93	102.5	112.8	146.5	157.3	174.2
	54.9	89.7	59	111	125	146.7	172.2	188.1
	53.7	81	89.5	114.2	126.9	143.6	169.4	187.9
	44.9	42.6	79.3	111.9	130.1	148.		
		78.2	86.5	89.2	138	151.9		
Ortalam a	50.4	71.3	81.5	105.8	126.6	147.3	166.3	183.4

% 0.5 G
Li neer
Enerji

P(W)	5	7	9	10	15	20	30	40	50
v=1 mm/s	53.8	86.4*63.3		74	106.2	112.6	153.2	182	158.4
	44.7	53.2	85.5	76.2	100.3	100.7	132.7	180.8	182.6
	54.3	77.7	100.1	70.8	104.7	145.6	168.1	157.1	222.7
	53.3	84.1*51.8		87.2	90.7	126.7			
	51.4	70.8	85	82.8	100.5				
Ortalam a	51.5	74.4	90.2	78.2	100.5	121.4	151.3	173.3	187.9

%1 C-
Li neer
Enerji

P(W)	5	7	9	10	15	20	30	40	50
v=1 mm/s	46.2*48		92.3	112.1	120.4	133.1	127.9	139.1	170.6
	34.7	76.1	82.2	111	105.4	117.5	102.9	172.4	219.9
	51.7*32.4		79.2*154.8		101.5	147.2	141.8	348.7	
	35.7*60.9		86.4	111	119.5	101.5			
		65.4		66.6	94.5	153.3			
Ortalam a	42.1	70.8	85.0	100.2	108.3	130.5	124.2	220.1	195.3

Mor

P(W)	25	30	35	40	50	60	70	80	83
v=1 mm/s	23.6	51.4	61.5	97.5*170.4		112.2	137.8	116.5	130.5
	71.9	75.2	67.4	90.7	105	110.6	95.6	87.3	134.8
	53.8	59.9*92.9		101.1	78.2	137.7	145.7	82.2*161.6	
		65.4		79.2	139.2*224.7		127	94.4	110.5
				77.2	122.6			84.1	
Ortalam a	49.8	63.0	64.5	89.1	111.3	120.2	126.5	92.9	125.3

Clear width

P (W)	30	40	50	60	70	80	
v=1 mm/s	64	89.9	77.6	72	88.1	102.2	
	37.9	72.7	117.8	79.2	102.9	84.2	
		35.1	77.7	79.9	74.2	102	
Ortalam	51.0	65.9	91.0	77.0	88.4	96.1	#DIV/0!

HPS+
A1

P (W)	10	13	15	20	30	40	50
v=1 mm/s	33	*76.4	61.5	56.7	48.5	123.9	89.7
	*63.8	60.8	45.4	54.7	76.7	81.4	103.9
	45.9	*94.7	46.8	55.3	69.3	77.3	106.2
	52.9	64	52.7	63.4		80	118.5
	41.3	*75.7	48.9				107.7
Ortalam	43.3	62.4	51.1	57.5	64.8	90.7	105.2

H PS+
A3

P(Wy	7	10	13	15	20	30	40	50
v=1 mm /s	*63.2	58.6	74.1	59	79.8	95.7	93.7	128.6
	61.3	55.7	80.6	74.5	89.4	99.1	96.5	87.7
	*96.8	65.7	90.9	60.1	75.4	90.1	107.3	104.8
	*83.7	56.6	88.7	88.3	80.9	81.7	107.1	
	52.2	*47.6	74	68.2		97.6	105.3	
Ort d am a	56.8	59.2	81.7	70.0	81.4	92.8	102.0	107.0

Tr ans. +
A1

P(Wy	17	20	22	25	30	40
v=1 mm /s	51.5	61.4	88.7	80.7	72.4	99.4
	*16.3	64.7	68.3	73	62.8	89.9
	47.6	51.7	83.9	141.9	65.6	94.8
	60.3	47	74.7	102.9	71.2	
	39.1		71.7	91.5	78.5	
Ort d am a	49.6	56.2	77.5	98.0	70.1	94.7

Trans. +
A3

P(W)	15	20	22	25	30	40
v=1 mm/s	82.4	87.7	100.3	80.9	107.5	129.5
	61.4	101.3	75.9	85.6	99	97.2
	70.9	89.7	98.1	99	96.7	107.3
	60.8	95.7	56.8	111.1	92.6	
	62.4	114.5	66.9	80.2	83.7	
Ort d a m a	67.6	97.8	79.6	91.4	95.9	111.3

H PS+T
i O

P(W)	40	44	50	55	60
v=1 mm/s	27.7	54.6	81.3	55.4	77.5
	43.8	54.8	85.7	72.4	90.3
	31.9	59.1	44.6	167.3	83
	38.9		69.7	73.4	
			79.5	66.2	
Ort d a m a	35.6	56.2	72.2	70.7	83.6

% 0.01
G
Sıcaklık

T(°C)	180	190	200	210	220	230	250	300	350
	32.4	19.8	29.6	41.6	34.9	51.4	43.2	113	95.1
	*5.1	13.6	38	29.9	42.7	39.9	66.2	91.8	111.7
	27.7	41.9	46.8	48.1	27.8	37.1	75.8	77.7	87.8
	21.9	*6.6	*184.3	17.8	18.53	41.1	84.3	97.9	
			1	14.6		41.6		76.7	
Ortalama	27.3	25.1	28.9	30.4	31.0	42.2	67.4	91.4	98.2

S

% 0.1 G
Sıcaklık

T(°C)	180	190	200	210	220	230	250	300	350
	47.7	65	76.6	80	72.6	75.1	90.7	196.9	214.5
	*17.1	80.4	69.2	81.4	79.6	87.6	97.7	131.8	*214.5
	42.9	57.9	70.4	80	83	87.2	109.9	150.1	210.9
	56	67.4	76	81	84.1	90.5	96.7	105.8	214.7
	48.4		66.8	79.7	71.3		74.6	119.6	
Ortalama	48.8	67.7	71.8	80.4	78.1	85.1	93.9	140.8	213.4

% 0.25
G
Sıcaklık

T(°C)	180	190	200	210	220	230	250	300	350
	52.5	75.2	65.4	82.9	94.7	105.8	86	93	160.5
	55.8	63.7	69.8	99.4	86.8	92	74.5	115.4	130.1
	71.7	62.9	50.4	67.7	90.9	116.4	74.8	130.9	148.2
	59.8	49.2	43.3	87.5	92.9	91.5	78.3	110.3	
	65.7		55.5	66.6		89	91.5	107.7	
Ortalama	61.1	62.8	56.9	80.8	91.3	98.9	81.0	111.5	146.3

% 0.5 G
Sıcaklık

T(°C)	180	190	200	210	220	230	250	300	350
	72.5	72.6	62.2	87.3	101.6	105.9	78.5	92.6	174
	77.5	79	59.8	92.6	87.7	112.5	64.1	76.8	173.8
	82.8	78.2	57.8	88.6	*88.6	103.6	58.4	80.6	199.4
	68.4	75.9	64.8		*76.9		81.7	84.6	
	69.7		57				79.4	115	
Ortalama	74.2	76.4	60.3	89.5	94.7	107.3	72.4	89.9	182.4

% 1 C
Sıcaklık

T(C)	180	190	200	210	220	230	250	300	350
	61	69.4*	46.3	81.7	88.8	96.3	74.7	90.3	180
	56.6	75.7	60	85.5	71.2	78.8	54.2	80.4	164.7
	61.8	65*	55	99.8	94.7	78	52.8	82.9	182.6
			57.4				52	110.8	
			59.9					68	
Ortalama	59.8	70.0	59.1	89.0	84.9	84.4	58.4	86.5	175.8

EK C Normalizasyon Faktörleri

%0.1 G Lazer gücü ve besleme hız parametreleri ile

P5v1

a1= 3.0 b1= 1.4

a2= 2.9 b2= 1.3 a= 3.0 b= 1.4 A= 3.1 NF= 0.96

a3= b3=

P10v1

a1= 4.2 b1= 3.9

a2= 4.3 b2= 3.8 a= 4.3 b= 3.9 A= 13.2 NF= 0.23

a3= 4.5 b3= 3.9

P10v5

a1= 3.0 b1= 1.4

a2= 2.9 b2= 1.3 a= 3.0 b= 1.4 A= 3.2 NF= 0.93

a3= 3.1 b3= 1.4

P15v1

a1= 5.0 b1= 6.2

a2= 4.9 b2= 5.6 a= 5.0 b= 6.0 A= 23.3 NF= 0.13

a3= 5.0 b3= 6.1

P15v5

a1= 3.5 b1= 2.6

a2= 3.2 b2= 2.4 a= 3.4 b= 2.5 A= 6.7 NF= 0.45

a3= 3.6 b3= 2.5

P15v10

a1= kırıldı b1=

a2= 2.9 b2= 1.0 a= 3.0 b= 1.1 A= 2.5 NF= 1.18

a3= 3.0 b3= 1.2

P15v15

a1= 2.5 b1= 1.0

a2= b2= a= 2.5 b= 1.0 A= 2.0 NF= 1.53

a3= b3=

P20v1

a1= 4.7 b1= 6.2

a2= 4.9 b2= 6.5 a= 4.8 b= 6.5 A= 24.8 NF= 0.12

a3= 4.9 b3= 6.9

P20v5

a1= 3.6 b1= 3.8

a2= 3.7 b2= 3.6 a= 3.7 b= 3.7 A= 10.7 NF= 0.28

a3= 3.8 b3= 3.7

P20v10

a1= 3.0 b1= 2.5

a2= 3.0 b2= 2.5 a= 3.1 b= 2.4 A= 5.8 NF= 0.52

a3= 3.2 b3= 2.2

P20v15

a1= 2.8 b1= 1.8

a2= 3.0 b2= 2.0 a= 2.9 b= 1.9 A= 4.4 NF= 0.69

a3= 2.8 b3= 2.0

P20v20

a1= k r i l d b1=

a2= 1.8 b2= 1.9 a= 1.8 b= 1.9 A= 2.7 NF= 1.12

a3= 1.8 b3= 1.9

P25v1

a1= 5.2 b1= 7.2

a2= 5.2 b2= 7.5 a= 5.2 b= 7.2 A= 29.1 NF= 0.1

a3= 5.1 b3= 6.8

P25v5

a1= 3.6 b1= 4.5

a2= 3.8 b2= 4.4 a= 3.7 b= 4.5 A= 13.0 NF= 0.23

a3= 3.6 b3= 4.6

P25v10

a1= 3.3 b1= 3.0
a2= 3.3 b2= 3.3 a= 3.2 b= 3.3 A= 8.2 NF= 0.37
a3= 3.0 b3= 3.5

P25v15

a1= 3.0 b1= 2.5
a2= 2.8 b2= 2.8 a= 2.9 b= 2.6 A= 5.9 NF= 0.51
a3= 3.0 b3= 2.4

P25v20

a1= 2.9 b1= 2.3
a2= 2.7 b2= 2.8 a= 2.7 b= 2.3 A= 4.9 NF= 0.62
a3= 2.6 b3= 1.7

P25v25

a1= k r i l d b1=
a2= 2.2 b2= 2.1 a= 2.2 b= 2.0 A= 3.5 NF= 0.87
a3= 2.2 b3= 1.9

P30v1

a1= 5.0 b1= 8.0
a2= 4.9 b2= 8.0 a= 4.9 b= 8.1 A= 31.0 NF= 0.1
a3= 4.8 b3= 8.2

P30v5

a1= 4.3 b1= 5.0
a2= 4.0 b2= 5.2 a= 4.0 b= 5.0 A= 15.7 NF= 0.19
a3= 3.7 b3= 4.8

P30v10

a1= 3.5 b1= 3.2
a2= 3.5 b2= 3.1 a= 3.5 b= 3.2 A= 8.6 NF= 0.35
a3= 3.4 b3= 3.2

P30v15

a1= 3.1 b1= 3.2
 a2= 3.0 b2= 3.1 a= 3.0 b= 3.2 A= 7.5 NF= 0.4
 a3= 2.9 b3= 3.3

P30v20

a1= 3.0 b1= 2.0
 a2= *2.5 b2=*2 a= 3.0 b= 2.1 A= 4.8 NF= 0.62
 a3= 3.0 b3= 2.1

P30v25

a1= 2.6 b1= 2.4
 a2= 2.0 b2= 2.3 a= 2.3 b= 2.4 A= 4.2 NF= 0.71
 a3= b3=

P30v30

a1= 2.2 b1= 2.0
 a2= kırıl d b2= a= 2.2 b= 2.0 A= 3.5 NF= 0.87
 a3= kırıl d b3=

P30v40

a1= 2.5 b1= 0.9
 a2= 2.2 b2= 1.7 a= 2.4 b= 1.3 A= 2.4 NF= 1.25
 a3= kırıl d b3=

P40v1

a1= 5.3 b1= 9.0
 a2= 5.3 b2= 9.0 a= 5.3 b= 9.0 A= 37.3 NF= 0.08
 a3= 5.2 b3= 9.1

P40v5

a1= 4.1 b1= 5.9
 a2= 4.0 b2= 5.9 a= 4.1 b= 5.9 A= 18.9 NF= 0.16
 a3= 4.2 b3= 5.8

P40v10

a1= 3.4 b1= 4.4

a2= 3.6 b2= 4.6 a= 3.6 b= 4.5 A= 12.7 NF= 0.24
a3= 3.7 b3= 4.6

P40v15

a1= 4.0 b1= 3.2
a2= *3.2 b2=*2.9 a= 4.0 b= 3.2 A= 9.9 NF= 0.3
a3= 3.9 b3= 3.2

P40v20

a1= 3.2 b1= 3.6
a2= 3.1 b2= 3.6 a= 3.1 b= 3.6 A= 8.7 NF= 0.34
a3= 2.9 b3= 3.7

P40v25

a1= 2.8 b1= 3.4
a2= 2.8 b2= 3.4 a= 2.8 b= 3.4 A= 7.3 NF= 0.41
a3= 2.7 b3= 3.3

P40v30

a1= 2.9 b1= 3.1
a2= 2.9 b2= 3.1 a= 2.9 b= 3.0 A= 6.8 NF= 0.44
a3= 2.8 b3= 2.8

P40v40

a1= 2.8 b1= 2.6
a2= 2.6 b2= 3.1 a= 2.7 b= 2.9 A= 6.0 NF= 0.5
a3= 2.6 b3= 2.9

%0.01- Li neer Enerji

E=15

a1= 3.9 b1= 3.5
a2= 4.2 b2= 3.3
a3= b3= a= 4.1 b= 3.4 A= 10.8 NF= 0.278
a4= b4=
a5= b5=

E=17

a1= 3.9 b1= 4.9
a2= 4.3 b2= 3.3
a3= 3.8 b3= 4.1 a= 3.9 b= 3.8 A= 11.6 NF= 0.26
a4= 3.7 b4= 2.7
a5= b5=

E=19

a1= 4.3 b1= 3.8
a2= 4.1 b2= 3.7
a3= 4.5 b3= 4.3 a= 4.3 b= 3.9 A= 13.1 NF= 0.229
a4= 4.2 b4= 3.8
a5= b5=

E=20

a1= 4.0 b1= 3.0
a2= 3.3 b2= 2.7
a3= 3.9 b3= 3.8 a= 3.8 b= 3.3 A= 9.9 NF= 0.303
a4= 3.8 b4= 3.8
a5= 4.0 b5= 3.3

E=30

a1= 4.8 b1= 6.3

a2= 4.8 b2= 5.8

a3= 4.8 b3= 4.9 a= 4.7 b= 5.4 A= 20.0 NF= 0.15

a4= 4.5 b4= 5.9

a5= 4.5 b5= 4.3

E=40

a1= 5.2 b1= 6.0

a2= 5.2 b2= 7.6

a3= 5.4 b3= 6.8 a= 5.3 b= 7.1 A= 29.5 NF= 0.102

a4= 5.4 b4= 7.0

a5= 5.3 b5= 8.0

E=50

a1= 4.9 b1= 7.1

a2= 5.5 b2= 8.5

a3= 5.5 b3= 8.9 a= 5.4 b= 8.3 A= 35.5 NF= 0.085

a4= 5.8 b4= 8.8

a5= b5=

%0.1 G Lineer Enerji

E=5

a1= 2.5 b1= 2.0

a2= 2.9 b2= 1.9

a3= *2.2 b3=*1.8 a= 2.7 b= 2.0 A= 4.1 NF= 0.740

a4= 2.5 b4= 1.9

a5= 2.7 b5= 2.0

E=7

a1= 4.0 b1= 1.7

a2= 4.1 b2= 2.1

a3= 4.4 b3= 2.1 a= 4.2 b= 2.1 A= 6.8 NF= 0.440

a4= 4.5 b4= 2.0

a5= 4.1 b5= 2.4

E=9

a1= 4.3 b1= 3.4

a2= 4.4 b2= 3.5

a3= 4.4 b3= 3.5 a= 4.1 b= 3.1 A= 10.1 NF= 0.298

a4= 4.6 b4= 3.3

a5= 2.7 b5= 2.0

E=10

a1= 2.9 b1= 4.2

a2= 3.0 b2=*4.6

a3= *3.2 b3= 4.5 a= 3.0 b= 4.4 A= 10.3 NF= 0.292

a4= *3.2 b4=*4.6

a5= 3.1 b5= 4.4

E=12

a1= 4.5 b1= 3.9
a2= 4.6 b2= 4.3
a3= 4.6 b3= 4.8 a= 4.6 b= 4.3 A= 15.6 NF= 0.192
a4= 4.9 b4= 4.0
a5= 4.6 b5= 4.4

E=15

a1= 3.3 b1= 5.8
a2= 3.6 b2= 5.7
a3= 3.8 b3= 5.9 a= 3.6 b= 5.8 A= 16.4 NF= 0.183
a4= 3.7 b4= 5.9
a5= 3.5 b5= 5.8

E=20

a1= 3.4 b1= 6.6
a2= 3.4 b2= 6.4
a3= 3.6 b3=*5.9 a= 3.5 b= 6.6 A= 18.0 NF= 0.167
a4= 3.5 b4= 6.7
a5= 3.5 b5= 6.6

E=30

a1= 3.9 b1= 7.3
a2= 4.1 b2= 7.6
a3= 4.1 b3= 7.6 a= 4.1 b= 7.7 A= 24.5 NF= 0.123
a4= 4.1 b4= 8.0
a5= 4.1 b5= 7.9

E=40

a1= 4.4 b1= 8.3
a2= 4.0 b2= 8.0
a3= 4.4 b3= 8.0 a= 4.3 b= 8.1 A= 27.1 NF= 0.111
a4= b4=
a5= b5=

E=50

a1= 4.5 b1= 8.6
a2= 4.5 b2= 8.8
a3= 4.6 b3= 9.3 a= 4.5 b= 8.9 A= 31.7 NF= 0.095
a4= b4=
a5= b5=
a3= b3=

%0.25 G Li neer Enerji

E=5

a1= 2.3 b1= 2.2

a2= 2.3 b2= 2.4

a3= 2.3 b3= 2.3 a= 2.3 b= 2.3 A= 4.2 NF= 0.722

a4= 2.3 b4= 2.3

a5= 2.2 b5= 2.4

E=7

a1= 4.2 b1= 2.4

a2= 4.1 b2= 3.0

a3= 4.2 b3= 2.5 a= 4.2 b= 2.6 A= 8.5 NF= 0.354

a4= 4.2 b4= 2.0

a5= 4.2 b5= 3.0

E=10

a1= 2.9 b1= 4.8

a2= 2.6 b2= 4.0

a3= 2.9 b3= 4.4 a= 2.8 b= 4.2 A= 9.3 NF= 0.323

a4= 2.9 b4= 3.6

a5= 2.7 b5= 4.3

E=15

a1= 3.2 b1= 5.8

a2= 3.4 b2= 5.4

a3= 3.5 b3= 5.8 a= 3.3 b= 5.7 A= 14.8 NF= 0.202

a4= 3.3 b4= 5.8

a5= 3.1 b5= 5.8

E=20

a1= 3.6 b1= 6.5

a2= 3.5 b2= 6.5

a3= 3.6 b3= 6.8 a= 3.6 b= 6.8 A= 19.0 NF= 0.158

a4= 3.5 b4= 7.0

a5= 3.6 b5= 7.2

E=30

a1= 4.0 b1= 7.6

a2= 4.0 b2= 7.6

a3= 4.0 b3= 7.6 a= 4.0 b= 7.6 A= 23.9 NF= 0.125

a4= 3.9 b4= 7.7

a5= 4.1 b5= 7.6

E=40

a1= 4.2 b1= 8.5

a2= 4.3 b2= 8.7

a3= 4.2 b3= 8.7 a= 4.2 b= 8.6 A= 28.7 NF= 0.105

a4= b4=

a5= b5=

E=50

a1= 4.5 b1= 9.4

a2= 4.6 b2= 9.4

a3= 4.6 b3= 9.4 a= 4.6 b= 9.4 A= 33.7 NF= 0.089

%0.5 G Lineer Enerji

E=5

a1= 2.5 b1= 2.2

a2= 2.2 b2= 2.2

a3= 2.5 b3= 2.5 a= 2.4 b= 2.3 A= 4.4 NF= 0.68

a4= 2.5 b4= 2.5

a5= 2.3 b5= 2.3

E=7

a1= 3.5 b1= 3.5

a2= 3.5 b2= 3.5

a3= 3.3 b3= 3.4 a= 3.5 b= 3.5 A= 9.4 NF= 0.319

a4= 3.5 b4= 3.4

a5= 3.5 b5= 3.5

E=9

a1= *3.6 b1= 4.3

a2= *3.3 b2= 4.3

a3= 3.1 b3= 4.4 a= 3.1 b= 4.4 A= 10.6 NF= 0.283

a4= *3.6 b4= 4.4

a5= kırıld b5=

E=10

a1= 3.0 b1= 4.2

a2= 2.7 b2= 4.3

a3= 2.7 b3= 4.1 a= 2.8 b= 4.3 A= 9.4 NF= 0.318

a4= 2.9 b4= 4.4

a5= 2.8 b5= 4.3

E=15

a1= 3.3 b1= 5.8

a2= 3.3 b2= 5.5
 a3= 3.3 b3= 5.6 a= 3.4 b= 5.7 A= 15.2 NF= 0.197
 a4= 3.5 b4= 5.9
 a5= 3.6 b5= 5.7

E=20

a1= 3.6 b1= 6.7
 a2= 3.5 b2= 6.0
 a3= 4.7 b3= 6.3 a= 3.9 b= 6.4 A= 19.4 NF= 0.154
 a4= 3.6 b4= 6.7
 a5= k r i l d b5=

E=30

a1= 5.6 b1= 7.5
 a2= *6.1 b2=*8.8
 a3= 5.6 b3= 7.9 a= 5.6 b= 7.7 A= 33.8 NF= 0.089
 a4= b4=
 a5= b5=
 a3= b3=

E=40

a1= 6.2 b1=*9.9
 a2= 5.5 b2= 8.7
 a3= 5.9 b3= 8.7 a= 5.9 b= 8.7 A= 40.1 NF= 0.075
 a4= b4=
 a5= b5=
 a3= b3=

E=50

a1= 7.8 b1= 11
 a2= *6.7 b2= 11

a3= 7.9 b3= 10 a= 7.9 b= 11 A= 65.9 NF= 0.045

a4= b4=

a5= b5=

%1 G Lineer Enerji

E=5 a1= 3.5 b1= 1.2
 a2= 3.5 b2= 1.1
 a3= 3.4 b3= 1.3 a= 3.5 b= 1.2 A= 3.3 NF= 0.91
 a4= 3.6 b4= 1.2
 a5= kırıl d b5=

E=7

a1= 3.5 b1= 3.5
 a2= 3.5 b2= 3.5
 a3= 3.3 b3= 3.4 a= 3.5 b= 3.5 A= 9.4 NF= 0.319
 a4= 3.5 b4= 3.4
 a5= 3.5 b5= 3.5

E=9

a1= 3.6 b1= 3.7
 a2= 3.3 b2= 3.9
 a3= 3.1 b3= 4.0 a= 3.4 b= 3.8 A= 10.1 NF= 0.296
 a4= 3.6 b4= 3.6
 a5= kırıl d b5=

E=10 a1= 4.4 b1= 4.0
 a2= 4.3 b2= 4.2
 a3= 4.6 b3= 3.9 a= 4.4 b= 3.9 A= 13.3 NF= 0.225
 a4= 4.2 b4= 3.7
 a5= 4.4 b5= 3.6

E=15 a1= 4.6 b1= 5.6
 a2= 4.6 b2= 5.6

a3= 4.6 b3= 5.6 a= 4.6 b= 5.5 A= 19.7 NF= 0.152
a4= 4.4 b4= 5.3
a5= 4.7 b5= 5.3

E=20 a1= 5.4 b1= 6.5
a2= 5.6 b2= 6.7
a3= 5.4 b3= 6.9 a= 5.4 b= 6.7 A= 28.5 NF= 0.105
a4= 5.2 b4= 6.5
a5= 5.5 b5= 6.9

E=30 a1= 5.2 b1= 7.3
a2= 5.7 b2= 7.7
a3= 5.3 b3= 8.1 a= 5.4 b= 7.7 A= 32.6 NF= 0.092
a4= b4=
a5= b5=

E=40 a1= 6.5 b1= 10.9
a2= 6.3 b2= 11.3
a3= kırıld b3= a= 6.4 b= 11.1 A= 55.8 NF= 0.054
a4= b4=
a5= b5=

E=50 a1= 6.6 b1= 12.2
a2= 7.1 b2= 12.4
a3= b3= a= 6.9 b= 12.3 A= 66.1 NF= 0.045

a4= b4=

a5= b5=

Mor-Li neer Enerji

E=25

a1= 3.2 b1= 4.1

a2= 3.2 b2= 4.7

a3= 3.0 b3= 3.5 a= 3.1 b= 4.1 A= 10.1 NF= 0.297

a4= b4=

a5= b5=

E=30

a1= 2.7 b1= 3.5

a2= 2.8 b2= 4.7

a3= 2.6 b3= 3.1 a= 2.7 b= 3.7 A= 7.8 NF= 0.386

a4= 2.6 b4= 3.5

a5= kırıld b5=

E=35

a1= 3.1 b1= 4.4

a2= 3.4 b2= 4.6

a3= 4.0 b3= 6.0 a= 3.5 b= 5.0 A= 13.7 NF= 0.218

a4= b4=

a5= b5=

E=40

a1= 3.2 b1= 4.7

a2= 3.4 b2= 4.8

a3= 3.9 b3= 6.0 a= 3.4 b= 4.9 A= 13.0 NF= 0.23

a4= 3.0 b4= 4.2

a5= 3.6 b5= 4.6

E=50

a1= *4.5 b1=*7.9
a2= 3.9 b2= 5.6
a3= 3.4 b3= 5.8 a= 3.8 b= 6.0 A= 18.2 NF= 0.165
a4= *4.6 b4=*7.2
a5= 4.2 b5= 6.7

E=60

a1= 4.0 b1= 6.0
a2= 3.9 b2= 6.1
a3= 4.4 b3= 6.6 a= 4.0 b= 6.4 A= 20.2 NF= 0.148
a4= 4.1 b4= 6.6
a5= 3.8 b5= 6.6

E=70

a1= 4.6 b1= 8.0
a2= 3.9 b2= 7.0
a3= 4.6 b3=*9.2 a= 4.4 b= 7.2 A= 24.7 NF= 0.121
a4= 4.3 b4= 6.7
a5= kırıl d b5=

E=80

a1= 4.2 b1= 6.7
a2= 4.3 b2= 7.3
a3= 3.8 b3= 5.7 a= 4.2 b= 6.8 A= 22.7 NF= 0.132
a4= 4.4 b4= 7.3
a5= 4.5 b5= 7.1

E=83

a1= 4.7 b1= 7.9

a2= 4.7 b2= 8.1

a3= 4.6 b3= 7.8 a= 4.6 b= 7.8 A= 28.5 NF= 0.105

a4= 4.6 b4= 7.9

a5= 4.6 b5= 7.4

Clear wel d-Linear Energi

E=30

a1= 3.0 b1= 1.1
a2= 3.4 b2= 1.5
a3= 3.3 b3= 1.5 a= 3.2 b= 1.4 A= 3.5 NF= 0.865
a4= b4=
a5= b5=

E=40

a1= 3.3 b1= 1.9
a2= 3.3 b2= 1.7
a3= b3= a= 3.3 b= 1.8 A= 4.7 NF= 0.643
a4= b4=
a5= b5=

E=50

a1= 4.0 b1= 2.1
a2= 3.9 b2= 2.1
a3= b3= a= 4.0 b= 2.1 A= 6.5 NF= 0.461
a4= b4=
a5= b5=

E=60

a1= 4.0 b1= 2.2
a2= 3.1 b2= 3.5
a3= 3.3 b3= 2.8 a= 3.5 b= 2.8 A= 7.7 NF= 0.389
a4= b4=
a5= b5=

E=70

a1= 3.9 b1= 2.4

a2= 4.4 b2= 2.6

a3= 4.4 b3= 2.4 a= 4.2 b= 2.5 A= 8.2 NF= 0.366

a4= b4=

a5= b5=

E=80

a1= 4.1 b1= 3.5

a2= 4.3 b2= 3.0

a3= 4.4 b3= 3.4 a= 4.3 b= 3.3 A= 11.1 NF= 0.271

a4= b4=

a5= b5=

E=83

a1= 4.7 b1= 7.9

a2= 4.7 b2= 8.1

a3= 4.6 b3= 7.8 a= 4.6 b= 7.8 A= 28.5 NF= 0.105

a4= 4.6 b4= 7.9

a5= 4.6 b5= 7.4

H PS+A1- Li neer Enerji

E=10

a1= 3.3 b1= 2.1

a2= 3.7 b2= 2.2

a3= 3.5 b3= 2.3 a= 3.5 b= 2.2 A= 6.1 NF= 0.495

a4= 3.5 b4= 2.1

a5= 3.4 b5= 2.4

E=13

a1= 3.2 b1= 2.0

a2= 3.3 b2= 2.3

a3= 3.2 b3= 2.4 a= 3.3 b= 2.3 A= 5.8 NF= 0.519

a4= 3.3 b4= 2.3

a5= 3.3 b5= 2.3

E=15

a1= 3.6 b1= 2.6

a2= 3.6 b2= 2.5

a3= 3.5 b3= 2.6 a= 3.5 b= 2.6 A= 7.2 NF= 0.418

a4= 3.5 b4= 2.7

a5= 3.5 b5= 2.5

E=20

a1= 3.8 b1= 2.9

a2= 3.9 b2= 3.0

a3= 3.9 b3= 3.3 a= 3.9 b= 3.1 A= 9.4 NF= 0.318

a4= 3.9 b4= 3.2

a5= kırıl d b5=

E=30

a1= 4.6 b1= 4.9

a2= 4.6 b2= 4.9

a3= 4.5 b3= 4.5 a= 4.6 b= 4.8 A= 17.1 NF= 0.176

a4= kırıl d b4=

a5= kırıl d b5=

E=40

a1= 4.9 b1= 5.7

a2= 4.9 b2= 5.6

a3= 4.8 b3= 5.9 a= 4.9 b= 5.8 A= 22.1 NF= 0.136

a4= 5.0 b4= 5.8

a5= kırıl d b5=

E=50

a1= 5.1 b1= 6.8

a2= 5.1 b2= 6.8

a3= kırıl d b3= a= 5.0 b= 6.5 A= 25.5 NF= 0.118

a4= 5.1 b4= 6.5

a5= 4.6 b5= 6.0

H PS+A3- Li neer Enerji

E=7

a1= 3.6 b1= 2.2
a2= 3.5 b2= 2.2
a3= 3.4 b3= 2.3 a= 3.6 b= 2.2 A= 6.3 NF= 0.473
a4= 3.9 b4=*1.4
a5= 3.7 b5=*1.3

E=10

a1= 3.8 b1= 2.3
a2= 3.6 b2= 2.3
a3= 3.6 b3= 2.3 a= 3.6 b= 2.3 A= 6.5 NF= 0.463
a4= 3.6 b4= 2.2
a5= 3.5 b5= 2.3

E=13

a1= 3.7 b1= 3.0
a2= 3.7 b2= 3.5
a3= 3.6 b3= 3.0 a= 3.6 b= 3.3 A= 9.2 NF= 0.326
a4= 3.5 b4= 3.4
a5= 3.5 b5= 3.4

E=15

a1= 3.9 b1= 3.1
a2= 3.9 b2= 3.2
a3= 3.9 b3= 3.3 a= 3.9 b= 3.3 A= 9.9 NF= 0.302
a4= 3.8 b4= 3.5
a5= 3.8 b5= 3.3

E=20

a1= 4.1 b1= 4.5

a2= 4.3 b2= 4.3

a3= 4.1 b3= 3.3 a= 4.2 b= 4.2 A= 13.5 NF= 0.222

a4= 4.1 b4= 4.5

a5= kırıd b5=

E=30

a1= 4.1 b1= 4.9

a2= 4.4 b2= 5.5

a3= 4.5 b3= 5.5 a= 4.4 b= 5.4 A= 18.5 NF= 0.162

a4= 4.4 b4= 5.5

a5= 4.6 b5= 5.4

E=40

a1= 4.7 b1= 6.2

a2= 4.8 b2= 6.3

a3= 4.8 b3= 6.5 a= 4.9 b= 6.4 A= 24.5 NF= 0.123

a4= 5.1 b4= 6.7

a5= kırıd b5=

E=50

a1= kırıd b1=

a2= 5.1 b2= 7.0

a3= 5.2 b3= 7.2 a= 5.2 b= 7.1 A= 28.7 NF= 0.105

Transparan (T₂Q) +A1- Lineer Enerji

E=17

a1= 3.3 b1= 2.5
a2= 3.0 b2= 2.5
a3= 3.2 b3= 2.8 a= 3.2 b= 2.7 A= 6.8 NF= 0.442
a4= 3.3 b4= 3.0
a5= b5=

E=20

a1= 3.1 b1= 3.2
a2= 3.7 b2= 3.0
a3= 3.0 b3= 3.3 a= 3.3 b= 3.2 A= 8.4 NF= 0.359
a4= 3.5 b4= 3.3
a5= b5=

E=22

a1= 3.5 b1= 2.9
a2= 3.3 b2= 2.9
a3= 3.5 b3= 3.5 a= 3.5 b= 3.2 A= 8.7 NF= 0.345
a4= 3.7 b4= 3.3
a5= 3.4 b5= 3.3

E=25

a1= 3.9 b1= 4.3
a2= 3.7 b2= 3.7
a3= 3.9 b3= 3.9 a= 3.9 b= 3.9 A= 11.9 NF= 0.253
a4= 3.9 b4= 3.8
a5= b5=

E=30

a1= 3.9 b1= 4.4

a2= 3.9 b2= 4.6

a3= 4.5 b3= 4.6 a= 4.2 b= 4.7 A= 15.4 NF= 0.194

a4= 4.3 b4= 4.9

a5= 4.5 b5= 4.8

E=40

a1= 4.7 b1= 5.2

a2= 4.8 b2= 5.6

a3= 4.5 b3= 5.8 a= 4.7 b= 5.5 A= 20.3 NF= 0.148

Transparan (T₂Q)+A3- Lineer Enerji

E=15

a1= 3.8 b1= 3.2

a2= 3.8 b2= 3.2

a3= 3.7 b3= 3.3 a= 3.8 b= 3.2 A= 9.7 NF= 0.31

a4= 3.9 b4= 3.2

a5= 3.8 b5= 3.3

.

E=20

a1= 4.0 b1= 4.3

a2= 4.0 b2= 4.3

a3= 4.1 b3= 4.2 a= 4.0 b= 4.1 A= 12.8 NF= 0.234

a4= 3.7 b4= 3.7

a5= 4.0 b5= 4.1

E=22

a1= 4.0 b1= 3.8

a2= 4.4 b2= 4.6

a3= 4.3 b3= 4.5 a= 4.1 b= 4.2 A= 13.7 NF= 0.219

a4= 4.1 b4= 4.1

a5= 3.8 b5= 4.2

E=25

a1= 4.2 b1= 4.8

a2= 4.5 b2= 4.4

a3= 4.2 b3= 4.6 a= 4.4 b= 4.6 A= 15.9 NF= 0.189

a4= 4.4 b4= 4.8

a5= 4.5 b5= 4.6

E=30

a1= 4.7 b1= 5.8

a2= 4.7 b2= 5.7

a3= 4.8 b3= 5.8 a= 4.7 b= 5.6 A= 20.9 NF= 0.143

a4= 4.7 b4= 5.4

a5= 4.8 b5= 5.4

E=40

a1= 5.2 b1= 6.5

a2= 5.4 b2= 6.8

a3= 5.2 b3= 6.3 a= 5.3 b= 6.5 A= 27.0 NF= 0.111

H PS+Ti₂O Lineer Enerji

E=40

a1= 2.7 b1= 1.2

a2= 3.0 b2= 1.8

a3= 2.8 b3= 1.7 a= 2.8 b= 1.5 A= 3.4 NF= 0.887

a4= 2.8 b4= 1.4

a5= b5=

E=44

a1= 2.9 b1= 2.3

a2= 3.0 b2= 1.5

a3= b3= a= 3.0 b= 1.9 A= 4.4 NF= 0.682

a4= b4=

a5= b5=

E=50

a1= 3.0 b1= 2.5

a2= 3.5 b2= 3.1

a3= 3.0 b3= 2.5 a= 3.2 b= 2.7 A= 6.7 NF= 0.448

a4= 3.4 b4= 2.5

a5= 2.9 b5= 2.9

E=55

a1= 3.6 b1= 2.6

a2= 3.5 b2= 2.6

a3= 3.7 b3= 2.5 a= 3.5 b= 2.6 A= 7.1 NF= 0.422

a4= 3.3 b4= 2.9

a5= 3.2 b5= 2.5

E=60

a1= 3.7 b1= 3.2

a2= 3.3 b2= 3.7

a3= 3.7 b3= 3.7 a= 3.6 b= 3.5 A= 9.9 NF= 0.303

a4= b4=

a5= b5=

%0.01 G S caklık

T=180 C

a1= 3.0 b1= 2.5

a2= 3.0 b2= 2.6

a3= 3.3 b3= 3.1 a= 3.1 b= 2.7 A= 6.6 NF= 0.452

a4= 3.1 b4= 2.7

a5= b5=

T=190 C

a1= 3.6 b1= 3.5

a2= 3.5 b2= 4.1

a3= 3.8 b3= 4.7 a= 3.6 b= 4.1 A= 11.7 NF= 0.257

a4= b4=

a5= b5=

T=200 C

a1= 3.0 b1= 3.3

a2= 2.9 b2= 3.9

a3= 2.9 b3= 3.8 a= 3.8 b= 5.3 A= 15.8 NF= 0.189

a4= 2.6 b4= 4.0

a5= 2.8 b5= 4.3

T=210 C

a1= 3.7 b1= 5.1

a2= 3.8 b2= 5.8

a3= 4.1 b3= 5.8 a= 4.0 b= 5.4 A= 16.8 NF= 0.178

a4= 4.1 b4= 5.1

a5= 4.1 b5= 5.3

T=220 C

a1= 4.2 b1= 5.9

a2= 4.3 b2= 5.6

a3= 4.3 b3= 5.6 a= 4.3 b= 5.7 A= 19.0 NF= 0.158

a4= 4.3 b4= 5.6

a5= b5=

T=230 C

a1= 4.4 b1= 6.7

a2= 4.5 b2= 6.2

a3= 4.2 b3= 6.2 a= 4.3 b= 6.2 A= 21.1 NF= 0.142

a4= 4.3 b4= 6.0

a5= 4.2 b5= 6.0

T=250 C

a1= 4.0 b1= 6.0

a2= 4.2 b2= 6.4

a3= 3.6 b3= 6.5 a= 3.9 b= 6.3 A= 19.4 NF= 0.155

a4= 3.8 b4= 6.4

a5= b5=

T=300 C

a1= 4.8 b1= 8.0

a2= 4.4 b2= 8.1

a3= 4.8 b3= 8.1 a= 4.7 b= 8.1 A= 30.1 NF= 0.1

a4= 4.8 b4= 7.9

a5= 4.8 b5= 8.5

%0.1 G S caklık

T=180 C

a1= 3.2 b1= 2.1

a2= 2.7 b2= 1.6

a3= 3.1 b3= 2.5 a= 3.0 b= 2.1 A= 5.0 NF= 0.605

a4= 2.8 b4= 2.3

a5= 3.1 b5= 2.1

T=190 C

a1= 3.4 b1= 3.4

a2= 2.9 b2= 3.0

a3= 3.2 b3= 2.7 a= 3.2 b= 3.0 A= 7.5 NF= 0.401

a4= 3.3 b4= 2.8

a5= b5=

T=200 C

a1= 2.7 b1= 3.4

a2= 2.7 b2= 3.3

a3= 2.8 b3= 3.0 a= 2.8 b= 3.2 A= 7.0 NF= 0.429

a4= 3.0 b4= 3.2

a5= 2.9 b5= 2.9

T=210 C

a1= 3.3 b1= 3.6

a2= 3.6 b2= 3.5

a3= 3.8 b3= 3.6 a= 3.5 b= 3.8 A= 10.4 NF= 0.287

a4= 3.5 b4= 3.9

a5= 3.5 b5= 4.2

T=220 C

a1= 3.7 b1= 4.0

a2= 3.6 b2= 4.1

a3= 3.7 b3= 3.8 a= 3.7 b= 3.9 A= 11.4 NF= 0.263

a4= 3.8 b4= 3.8

a5= 3.8 b5= 3.8

T=230 C

a1= 3.9 b1= 4.1

a2= 3.6 b2= 4.4

a3= 4.0 b3= 4.3 a= 3.8 b= 4.3 A= 12.8 NF= 0.234

a4= 3.9 b4= 4.5

a5= 3.8 b5= 4.0

T=250 C

a1= 3.2 b1= 4.2

a2= 3.2 b2= 4.4

a3= *3.6 b3=*5.1 a= 3.2 b= 4.3 A= 10.7 NF= 0.282

a4= 3.2 b4= 4.4

a5= 3.1 b5= 4.1

T=300 C

a1= 3.9 b1= 7.8

a2= 4.1 b2= 7.0

a3= 4.4 b3= 7.5 a= 4.1 b= 7.2 A= 22.8 NF= 0.131

a4= 3.9 b4= 6.6

a5= 4.0 b5= 6.9

T=350 C

a1= 5.1 b1= 10.2

a2= 5.1 b2= 10.2

a3= 5.1 b3= 10.0 a= 5.1 b= 10.1 A= 40.6 NF= 0.074

a4= b4=

a5= b5=

%0.25 G Li neer Enerji

T=180 C

a1= 3.3 b1= 3.3
a2= 3.4 b2= 3.1
a3= 3.2 b3= 3.1 a= 3.3 b= 3.0 A= 7.9 NF= 0.381
a4= 3.3 b4= 2.5
a5= 3.5 b5= 3.0

T=190 C

a1= 3.5 b1= 3.4
a2= 3.4 b2= 3.2
a3= 3.5 b3= 3.2 a= 3.4 b= 3.1 A= 8.3 NF= 0.36
a4= 3.3 b4= 2.6
a5= b5=

T=200 C

a1= b1=
a2= b2=
a3= b3= a= #### b= #### A= ##### NF= #####
a4= b4=
a5= b5=

T=210 C

a1= 3.3 b1= 3.5
a2= 3.9 b2= 4.3
a3= 3.6 b3= 3.6 a= 3.6 b= 3.7 A= 10.5 NF= 0.287
a4= 3.8 b4= 3.9

a5= 3.5 b5= 3.1

T=220 C

a1= 4.2 b1= 4.0

a2= 3.8 b2= 3.5

a3= 4.1 b3= 3.3 a= 4.0 b= 3.8 A= 11.8 NF= 0.255

a4= 3.8 b4= 4.3

a5= kırıl d b5=

T=230 C

a1= 4.2 b1= 4.2

a2= 4.3 b2= 3.9

a3= 4.1 b3= 5.3 a= 4.2 b= 4.4 A= 14.7 NF= 0.204

a4= 4.2 b4= 4.0

a5= 4.4 b5= 4.7

%0.5 G S caklık

T=180 C

a1= 4.2 b1= 2.6

a2= 4.1 b2= 2.5

a3= 3.8 b3= 2.8 a= 4.0 b= 2.6 A= 8.2 NF= 0.364

a4= 4.0 b4= 2.6

a5= 3.8 b5= 2.7

T=190 C

a1= 4.2 b1= 3.1

a2= 4.3 b2= 3.0

a3= 4.1 b3= 3.2 a= 4.2 b= 3.1 A= 10.3 NF= 0.291

a4= 4.2 b4= 3.2

a5= b5=

T=200 C

a1= 3.0 b1=*2.6

a2=*2.6 b2= 3.0

a3= 2.9 b3=*2.5 a= 3.0 b= 3.0 A= 6.9 NF= 0.433

a4= 3.0 b4= 3.0

a5= 3.0 b5= 2.9

T=210 C

a1= 4.4 b1= 3.9

a2= 4.4 b2= 3.9

a3= 4.2 b3= 3.4 a= 4.3 b= 3.7 A= 12.7 NF= 0.236

a4= b4=

a5= b5=

T=220 C

a1= 4.4 b1= 4.3

a2= 4.5 b2= 4.3

a3= b3= a= 4.5 b= 4.3 A= 15.0 NF= 0.2

a4= b4=

a5= b5=

T=230 C

a1= 4.5 b1= 4.1

a2= 4.9 b2= 4.2

a3= 4.6 b3= 4.6 a= 4.7 b= 4.3 A= 15.8 NF= 0.19

a4= b4=

a5= b5=

T=250 C

a1= 3.0 b1= 3.9

a2= 3.0 b2= 3.8

a3= 3.2 b3= 3.6 a= 3.1 b= 3.9 A= 9.4 NF= 0.318

a4= 3.1 b4= 4.0

a5= 3.2 b5= 4.1

T=300 C

a1= 3.3 b1= 5.4

a2= 3.2 b2= 5.2

a3= 3.6 b3= 4.6 a= 3.5 b= 5.2 A= 14.0 NF= 0.214

a4= 3.3 b4= 4.3

a5= 3.9 b5= 6.3

T=350 C

a1= 5.0 b1= 9.6

a2= 5.0 b2= 9.6

a3= 5.1 b3= 10.0 a= 5.0 b= 9.7 A= 38.5 NF= 0.078

a4= b4=

a5= b5=

%1 G Sıcaklık

T=180 C

a1= 4.2 b1= 2.0

a2= 4.2 b2= 2.3

a3= 4.0 b3= 2.3 a= 4.1 b= 2.2 A= 7.1 NF= 0.42

a4= b4=

a5= b5=

T=190 C

a1= 4.3 b1= 2.5

a2= 4.3 b2= 2.9

a3= 3.9 b3= 2.7 a= 4.2 b= 2.7 A= 8.8 NF= 0.34

a4= b4=

a5= b5=

T=200 C

a1= 3.0 b1= 3.0

a2= 3.0 b2= 3.0

a3= 3.0 b3= 3.0 a= 3.0 b= 3.0 A= 6.9 NF= 0.433

a4= 3.0 b4= 2.6

a5= 2.9 b5= 3.2

T=210 C

a1= 4.3 b1= 3.6

a2= 4.4 b2= 3.1

a3= 4.6 b3= 3.6 a= 4.4 b= 3.4 A= 11.9 NF= 0.251

a4= b4=

a5= b5=

T=220 C

a1= 4.8 b1= 3.8

a2= 4.3 b2= 3.4

a3= 4.7 b3= 3.2 a= 4.6 b= 3.5 A= 12.5 NF= 0.24

a4= b4=

a5= b5=

T=230 C

a1= 4.5 b1= 4.3

a2= 4.5 b2= 3.5

a3= 4.5 b3= 3.0 a= 4.5 b= 3.6 A= 12.7 NF= 0.236

a4= b4=

a5= b5=

T=250 C

a1= 3.0 b1= 3.9

a2= 3.0 b2= 3.7

a3= 2.9 b3= 3.8 a= 3.0 b= 3.8 A= 8.8 NF= 0.34

a4= 3.1 b4= 3.6

a5= kırıl d b5=

T=300 C

a1= 3.6 b1= 4.8

a2= 3.5 b2= 4.9

a3= 3.6 b3=*6.1 a= 3.5 b= 4.9 A= 13.6 NF= 0.22

a4= 3.5 b4= 4.9

a5= 3.5 b5= 5.0

T=350 C

a1= 5.0 b1= 9.2

a2= 4.6 b2= 9.1

a3= 5.1 b3= 10.1 a= 4.9 b= 9.5 A= 36.4 NF= 0.082

a4= b4=

a5= b5=

EK D Nor mal i ze Ed i l m i Ŗ Kay ma Dayan ı n ı l a r ı

%0. 1 G Lazer g ü c ü ve besl eme h ı z ı paramet r e l e r i k u l a n ı l a r a k

P	v	Kay ma Dayan ı m ı	N F.	Nor mal i ze ed i l m i Ŗ kay ma dayan ı m ı
	1	1		0. 0
	1	5		0. 0
	1	10		0. 0
	1	15		0. 0
	1	20		0. 0
	1	25		0. 0
	1	30		0. 0
	1	40		0. 0
5	1	27. 4	0. 86	23. 6
5	5			0. 0
5	10			0. 0
5	15			0. 0
5	20			0. 0
5	25			0. 0
5	30			0. 0
5	40			0. 0
10	1	82. 6	0. 33	27. 3
10	5	30. 7	0. 83	25. 5
10	10			0. 0
10	15			0. 0
10	20			0. 0
10	25			0. 0
10	30			0. 0
10	40			0. 0

15	1	137.6	0.15	20.6
15	5	45.3	0.35	15.9
15	10	24.0	0.65	15.6
15	15	14.2	0.96	13.6
15	20			0.0
15	25			0.0
15	30			0.0
15	40			0.0
20	1	152.7	0.12	18.3
20	5	57.7	0.31	17.9
20	10	42.1	0.42	17.7
20	15	35.0	0.49	17.1
20	20	21.8	0.75	16.3
20	25			0.0
20	30			0.0
20	40			0.0
25	1	172.0	0.1	17.2
25	5	91.3	0.23	21.0
25	10	53.1	0.37	19.6
25	15	48.3	0.4	19.3
25	20	24.9	0.62	15.4
25	25	26.4	0.67	17.7
25	30			0.0
25	40			0.0
30	1	151.9	0.1	15.2
30	5	93.4	0.19	17.7
30	10	64.7	0.25	16.2
30	15	43.7	0.35	15.3
30	20	29.2	0.52	15.2

30	25	28.4	0.55	15.6
30	30	#D VQ		#D VQ
30	40	18.3	0.74	13.5
40	1	156.1	0.08	12.5
40	5	97.8	0.2	19.6
40	10	71.7	0.24	17.2
40	15	39.0	0.3	11.7
40	20	52.8	0.3	15.8
40	25	38.6	0.41	15.8
40	30	35.4	0.42	14.9
40	40	34.7	0.42	14.6

%0.01G Lineer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ŝ	Kay ma Geril mesi
0				0.0
5				
10				
15	36	0.278		10.0
17	35	0.26		9.1
19	39.2	0.229219		9.0
20	63.5	0.303		19.2
30	56	0.150		8.4
40	85.6	0.102		8.7
50	113.7	0.085		9.6

%0.1G Lineer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ŝ	Kay ma Geril mesi
0				0.0
5	40.9	0.740		30.2
7	58.9	0.440		25.9
9	85.2	0.298		25.4
10	92.3	0.292		27.0
12	104.7	0.192		20.1
15	109	0.183		20.0
20	110	0.167		18.4
30	144.3	0.123		17.7
40	146.4	0.111		16.2
50	176.3	0.09472		16.7

%0. 25G Li neer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ş	Kay ma Geril mesi
0				0.0
5	50.4	0.722485		36.4
7	71.3	0.354369		25.3
10	81.5	0.323431		26.4
15	105.8	0.202461		21.4
20	126.6	0.157867		20.0
30	147.3	0.125382		18.5
40	166.3	0.104566		17.4
50	183.4	0.089028		16.3

%0. 5G Li neer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ş	Kay ma Geril mesi
0				0.0
5	51.5	0.680		35.0
7	74.4	0.319		23.7
9	90.2	0.283		25.5
10	78.2	0.318		24.9
15	100.5	0.197		19.8
20	121.4	0.154		18.8
30	151.3	0.089		13.4
40	173.3	0.075		13.0
50	187.9	0.045		8.5

%1 G- Li neer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ŝ	Kay ma Geril mesi
0				0.0
5	42.1	0.910		38.3
7	56.6	0.319227		18.1
9	85	0.296		25.2
10	100.2	0.225		22.5
15	108.3	0.152		16.5
20	130.5	0.105		13.7
30	124.2	0.092		11.4
40	220.1	0.054		11.8
50	195.3	0.045		8.9

Mor- Li neer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ŝ	Kay ma Geril mesi
1				0.0
25	49.8	0.297482		14.8
30	63	0.386123		24.3
35	64.5	0.21838		14.1
40	89.1	0.229927		20.5
50	111.3	0.165241		18.4
60	120.2	0.148269		17.8
70	126.5	0.121457		15.4
80	92.9	0.13216		12.3
83	125	0.105324		13.2

Clearwell-Li neer Enerji

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ŝ	Kay ma Geril mesi
1				0.0
30	51	0.864845		44.1
40	65.9	0.643376		42.4
50	91	0.460718		41.9
60	77	0.389083		30.0
70	88.4	0.365981		32.4
80	96.1	0.271424		26.1
83				0.0

H PS+A1

E	Kay ma Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l n i ŝ	Kay ma Geril mesi
1				0.0
10	43.3	0.495		21.4
13	62.4	0.46		28.7
15	51.5	0.418436		21.5
20	57.5	0.31814		18.3
30	64.8	0.175565		11.4
40	90.7	0.13564		12.3
50	105.2	0.117728		12.4
83				0.0

H PS+A3

E	Kay ma	Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l r n i ŝ	Kay ma	Geril mesi
1						0.0
7		56.8	0.473			26.9
10		59.2	0.463029			27.4
13		81.7	0.325635			26.6
15		70	0.301849			21.1
20		81.4	0.221899			18.1
30		92.8	0.162044			15.0
40		102	0.122641			12.5
50		107	0.104517			11.2
83						0.0

Tr ans. +A1

E	Kay ma	Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l r n i ŝ	Kay ma	Geril mesi
1						0.0
17		49.6	0.442321			22.0
20		56.2	0.359178			20.2
22		77.5	0.345339			26.7
25		98.0	0.252901			24.8
30		70.1	0.194336			13.6
40		94.7	0.147999			14.0
60						0.0
70						0.0
80						0.0
83						0.0

Trans+A3

E	Kay ma	Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l ri ũ ş	Kay ma	Geril mesi
1						0.0
15		67.6	0.310401			21.0
20		97.8	0.234239			22.9
22		79.6	0.21877			17.4
25		91.4	0.188907			17.3
30		95.9	0.143462			13.8
40		111.3	0.111066			12.4
70						0.0
80						0.0
83						0.0

H PS+Tİ O

E	Kay ma	Geril mesi	N F.	Nor mal i ze ed l ri ũ ş	Kay ma	Geril mesi
1						0.0
40		35.6	0.887081			31.6
44		56.2	0.68183			38.3
50		72.2	0.448			32.3
55		70.7	0.422			29.8
60		83.6	0.303253			25.4

%0.01G S caklık

T	Kay ma Dayanı m N F.	Nor m l i z e e d l n i ŝ kay ma dayanı m
0		0
180	27.3 0.452401	12.4
190	25.1 0.256544	6.4
200	28.9 0.18939	5.5
210	30.4 0.178056	5.4
220	31.0 0.157525	4.9
230	42.2 0.142225	6.0
250	67.4 0.155	10.4
300	91.4 0.100	9.1
350	98.2 0.094	9.3

%0.1G S caklık

T	Kay ma Dayanı m N F.	Nor m l i z e e d l n i ŝ kay ma dayanı m
0	0 0.000	0.0
180	48.4 0.604922	29.3
190	67.7 0.401434	27.2
200	71.8 0.42886	30.8
210	80.4 0.287118	23.1
220	78.1 0.263417	20.6
230	85.1 0.23362	19.9
250	93.9 0.282	26.4
300	140.8 0.131	18.5
350	213.4 0.074	15.8

%0.25G Sıcaklık

T	Kayma Dayanımı N.F.	Nor málize edilmiş kayma dayanımı
0		0.0
180	61.1 0.381403	23.3
190	62.8 0.359939	22.6
200	56.9 0.43	24.5
210	80.8 0.286877	23.2
220	91.3 0.254682	23.3
230	98.9 0.203922	20.2
250	81.0 0.282	22.9
300	111.5 0.148	16.5
350	146.3 0.085	12.4

%0.5G Sıcaklık

T	Kayma Dayanımı N.F.	Nor málize edilmiş kayma dayanımı
0		0.0
180	74.2 0.363718	27.0
190	76.4 0.291174	22.2
200	60.3 0.433	26.1
210	89.5 0.236229	21.1
220	94.7 0.199721	18.9
230	107.3 0.190448	20.4
250	72.4 0.318	23.0
300	89.9 0.214	19.2
350	182.4 0.078	14.2

%1 G- S caklık

T	Kay ma	Dayanı m	N. F.	Nor mæ li ze edil miş	kay ma	dayanı m
0					0.0	
180	59.8	0.42027			25.1	
190	70	0.339703			23.8	
200	59.1	0.433255			25.6	
210	89.0	0.251076			22.3	
220	84.9	0.239652			20.3	
230	84.4	0.235905			19.9	
250	58.4	0.340			19.8	
300	86.5	0.220			19.1	

EK E GPPS

	MATERIAL SPECIFICATION		MALBİS CODE :	
	INJECTION MOLDABLE		Page	Rev.
	GPPS MATERIAL FOR REFRIGERATOR		1 / 1	0

	TEST CONDITIONS	ARÇELİK ACCEPTANCE LIMITS	STANDARDS
1. PHYSICAL PROPERTIES			
DENSITY, g / cm ³	-	1.04-1.08	ISO 1183
MELT FLOW INDEX, g / 10'	200 C / 5 kg	2.0-5.0	ISO 1133
BALL INDENTATION HARDNESS, H358 / 30	-	145-155	ISO 2039-1
ROCKWELL HARDNESS, R	-	100-110	ISO 2039-1
WATER ABSORPTION, %	24 h	max.0.1	ISO 62
2. MECHANICAL PROPERTIES			
TENSILE STRENGTH, N / mm ²	5 mm / dak.	min.40	ISO 527
ELONGATION AT BREAK, %	5 mm / dak.	min.1	ISO 527

FLEXURAL MODULUS, N/mm ²	1 mm/dak.	min.2500	ISO 178
IZOD IMPACT STRENGTH, kJ/m ²	Notched, +23 C	min.1	ISO 180/1A
3. THERMAL PROPERTIES			
VICAT SOFTENING TEMPERATURE, /A	10 N	min.95	ISO 306
VICAT SOFTENING TEMPERATURE, /B	50 N	min.85	ISO 306
HEAT DEFLECTION TEMPERATURE, /A	1.8 N/mm ²	min.80	ISO 75
HEAT DEFLECTION TEMPERATURE, /B	0.45 N/mm ²	min.90	ISO 75
4. FLAMMABILITY PROPERTIES			
FLAMMABILITY	Thickness, 1.6 mm	HB	UL 94 STANDARD

REFERENCE

: DOW/STYRON 634
BASF/POLYSTYROL
158K

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Demir, 1979 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmit'te tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2000 yılında bitirdi. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme ve İmalat yüksek lisans programına başladı. 1 yıl Beko Elektronik A.Ş. de çalışmıştır ve son 1 yıldır Arçelik A.Ş. Ar-Ge bölümünde çalışmaktadır.