

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HIZLI PROTOTİPLEME İLE ÜRETİLMİŞ SABİT DİKDÖRTGEN KESİTLİ
ANKASTRE DESTEKLİ ESNEYEREK KİLİTLENEBİLEN BAZI PLASTİK
BAĞLANTILARIN BİRLEŞTİRME VE SÖKME KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mak. Müh. Murat ÇABUK

Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN

2011 – EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

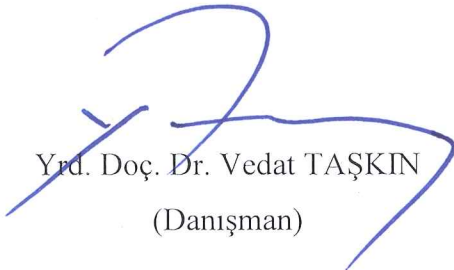
**HIZLI PROTOTİPLEME İLE ÜRETİLMİŞ SABİT DİK DÖRTGEN KESİTLİ
ANKASTRE DESTEKLİ ESNEYEREK KİLİTLENEBİLEN BAZI PLASTİK
BAĞLANTILARIN BİRLEŞTİRME VE SÖKME KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Murat ÇABUK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 11/05/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN
(Danışman)


Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN


Yrd. Doç. Dr. Figen ÖKE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HIZLI PROTOTİPLEME İLE ÜRETİLMİŞ SABİT DİKDÖRTGEN KESİTLİ ANKASTRE
DESTEKLİ ESNEYEREK KİLİTLENEBİLEN BAZI PLASTİK BAĞLANTILARIN
BİRLEŞTİRME VE SÖKME KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mak. Müh. Murat ÇABUK

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN

2011 – EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HIZLI PROTOTİPLEME İLE ÜRETİLMİŞ SABİT DİKDÖRTGEN KESİTLİ ANKASTRE
DESTEKLİ ESNEYEREK KİLİTLENEBİLEN BAZI PLASTİK BAĞLANTILARIN
BİRLEŞTİRME VE SÖKME KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mak. Müh. Murat ÇABUK

Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN

Bu tez tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN
(Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

Yrd. Doç. Dr. Figen ÖKE

ÖZET

Bu çalışmada, katmanları arasında boşluklar bulunacak şekilde hızlı prototipleme yöntemi ile üretilmiş, esneyerek kilitlenebilen plastik bağlantıların birleştirme ve sökme kuvvetleri incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan deney numuneleri, sabit kesitli ankastre destekli kiriş biçimli olarak tasarlanmıştır. Boşluklu yapıya sahip kiriş şeklindeki parçanın atalet momenti deneysel yöntem ile belirlenmiş ve instron deney cihazı kullanılarak montaj ve ayrılma kuvvetleri ölçülmüştür.

Deneysel sonuçlarda elde edilen değerler teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmış ve elde edilen değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Esneyerek kilitlenebilen bağlantılar, Plastik malzemeler, Hızlı prototipleme yöntemi

ABSTRACT

In this study, the assembly and disassembly forces of lockable plastic connections that are produced by the method of rapid prototyping with gaps between the layers are investigated. For this purpose, specimens are prepared in the form of clamped beams with uniform cross section. The moment of inertia of the beam-shaped specimen with porous structure is determined by the experimental method and assembly and the separation forces were measured using the Instron testing device.

Theoretical and experimental results are compared and good agreement is obtained between two results.

Keywords: Snap fit connections, plastic materials, rapid prototyping method

ÖNSÖZ

Eğitimim boyunca bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini hoşgörüyü sunan, çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan, değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Vedat TAŞKIN'a bana inandığı ve hep yanımda olduğu için;

Değerli hocam Yrd.Doç Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN'a tecrübe ve görüşleriyle beni yönlendirdiği için,

Çalışma arkadaşım İsmail MUTLU ve Pınar AYDAN'a çalışmalarım boyunca her konuda beni desteklediği ve yardımlarını esirgemediği için,

Tüm çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle yanımda oldukları için,

Aileme, tüm eğitimim boyunca desteklerini hissettirdikleri için,

Hayat arkadaşım Çiğdem ÇABUK'a sonsuz sabrı ve desteği ile beni bugünlere ulaştırdığı için,

Sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Murat ÇABUK

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
SİMGE LİSTESİ	xii
1.GİRİŞ	1
2. PLASTİK MALZEMELER	3
2.1.Plastiklerin Tarihçesi	3
2.2.Mekanik Özellikler	5
2.3.Elektriksel Özellikler	6
2.4.Kimyasal Özellikler	7
2.5.Çözünürlükler	7
2.6.Isıl Özellikler	8
2.7.Plastiklere Katılan Dolgu Maddeleri	9
2.8.Plastiklerin Biçimlendirilmesi	9
2.8.1.Oto inşa Teknolojileri	10
2.8.1.1.Harç Yığılma Yöntemi	11
2.8.1.2.Sıvama Yöntemi	12
2.8.1.3.Uygulama Alanları	13
3. ESNEYEREK KİLİTLENEBİLEN PLASTİK BAĞLANTILAR	15
3.1.Mekanik Özellikler	16
3.1.1.Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri	16
3.1.2.Sekant Modülü ve İzin Verilebilir Maksimum Şekil Değiştirme	19
3.1.2.1.Akma Noktası Belirli Olan Malzemeler	19
3.1.2.2.Akma Noktası Belirsiz Malzemeler	19
3.1.3.Sürtünme Katsayısı	22
3.1.4.Diğer Etkiler	24
3.2. Sabit Kesitli Kiriş Biçimli Esneyerek Bağlantı Yapabilen Parçalar	26
3.2.1. Temel Kiriş Kalınlığı	30
3.2.2. Kiriş Uzunluğu	30
3.2.3. Montaj Yüzey Açısı	31

3.2.4. Tutma Yüzey Derinliği	32
3.2.5. Tutma Yüzey Açısı	33
3.2.6. Kiriş Kalınlığı ve Tutma Özellikleri	33
3.2.7. Kiriş Genişliği	34
3.2.8. Başlangıç Şekil Değiştirmelerinin Değerlendirilmesi	36
3.2.9. Gerilme Yığılmaları İçin Düzenlemeler	36
3.2.10. Efektif Aı İçin Yapılan Kabuller	39
3.2.11. Tasarımda Analiz İçin Varsayımlar	42
3.2.12. Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde Kiriş Ucunun Analizi	43
3.2.13. Maksimum Şekil Değiştirmenin Değerlendirilmesi	44
3.2.14. Sapma Kuvvetinin Hesaplanması	44
3.2.15. Montaj Kuvvetinin Belirlenmesi	45
3.2.16. Ayırma Kuvvetinin Hesaplanması	46
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
4.1. Malzeme Seçimi ve Deney Numunelerinin Hazırlanması	47
4.2. Kesit Atalet Momentinin Deneysel Olarak Bulunması	49
4.3. Montaj ve Ayrılma Kuvvetlerinin Bulunması	50
5. DENEY SONUÇLARI VE DEğERLENDİRME	52
6. SONUÇLAR	56
EKLER	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Otoınşa teknolojilerinin sınıflandırılması	11
Şekil 2.2. Eriyik Yığarak Modelleme	12
Şekil 3.1. Basit gerilme-şekil değiştirme eğrisi	16
Şekil 3.2. Plastiklerde bazı tipik gerilme-şekil değiştirme eğrileri	17
Şekil 3.3. (a) Sünek malzemeler (b) Gevrek malzemeler	18
Şekil 3.4. Belirli akma noktasına sahip malzemelerde tasarım ve akma noktaları	19
Şekil 3.5. Belirsiz akma noktasına sahip malzemelerde tasarım ve akma noktaları	20
Şekil 3.6. Sekant modülü	20
Şekil 3.7. Esneyerek bağlantı yapılabilen bağlantı örnekleri	26
Şekil 3.8. Esneyerek bağlantı yapılabilen kirişlerde oluşan kuvvetler	27
Şekil 3.9. Kiriş biçimli esnek bağlantı tasarımı	28
Şekil 3.10 Kiriş uzunluğu ile genişliği arasındaki ilişki	30
Şekil 3.11. Kiriş uzunlukları	31
Şekil 3.12 Optimum montaj yüzey açısı	31
Şekil 3.13. Tutma yüzey açısının optimum değeri	32
Şekil 3.14 Konikliğin tasarıma etkisi	34
Şekil 3.15. Kalınlık ve genişlikte konikliğin değişimi	35
Şekil 3.16. Gerilme yığılma faktörü, k grafiği	37
Şekil 3.17. Duvarda oluşan sapma	37
Şekil 3.18. Montaj yüzeyi için etkin açının belirlenmesi	40
Şekil 3.19. Kalıcı sapma ile tutma yüzey açısı arasındaki ilişki	41
Şekil 3.20. $(\mu + \tan\alpha) / (1 - \mu \tan\alpha)$ değerinin belirlenmesi	45
Şekil 4.1. Numune geometrisi ve boyutları	48
Şekil 4.2 Hızlı prototipleme cihazına ait ABS P 430 (NAT) malzeme tamburu	48
Şekil 4.3. Sıvama yöntemi kullanan hızlı prototipleme cihazı	49
Şekil 4.4 Hızlı prototipleme cihazında sıvama yöntemi ile üretilmiş numune çifti	49
Şekil 4.5. Kiriş kesit görünüşü	50
Şekil 4.6. Deneysel atalet momentinin bulunması için kurulan deney düzeneği	50
Şekil 4.7. Montaj – ayrılma kuvvetlerinin tespitinde kullanılan Instron test cihazı	51
Şekil 4.8. Instron test cihazında yapılan deneyin bazı safhaları	51
Şekil 5.1. Kiriş kuvvet-yer değiştirme grafiği	52
Şekil 5.2 Ansys programı analizleri ile elde edilen çökme grafiği	53
Şekil 5.3 Ansys analizleri ile elde edilen çökme değerlerinin kiriş boyunca değişimi	53

Şekil 5.4. Instron deney cihazı ile yapılan deneyden elde edilen montaj kuvveti-yer değiştirme grafiği	54
Şekil 5.5 Instron deney cihazı ile yapılan deneyden elde edilen ayırma kuvveti-yer değiştirme grafiği	54
Şekil 5.6 Mathcad programı yardımıyla montaj ve ayrılma kuvvetlerinin hesaplanması	55

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1. Plastikler için bazı Türk Standartları (T.S.E)	4
Çizelge 1.2. Plastikler için bazı ASTM Standartları (A.S.T.M)	5
Çizelge 3.1. Bağlantı hesaplamalarında kullanılabilir ϵ_{\max} değerleri	19
Çizelge 3.2. Bazı plastikler için izin verilebilir şekil değiştirme değerleri	21
Çizelge 3.3. Kullanımı yaygın bazı plastiklerin sürtünme katsayıları	23
Çizelge 3.4. Değişik kesitler için f ve Q formülleri	29
Çizelge 3.5. Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde Q Sapma Faktörü	38
Çizelge 3.6. Dikdörtgen Konik Kesitli Kirişlerde Q Değerleri (Uzunluk/Kalınlığı Koniklik Oranı 2:1)	39

SİMGE LİSTESİ

C	Tarafsız eksen den dış yüzeye olan mesafe
E	Elastisite modülü
E_s	Sekant modülü
$F_{ayırma}$	Ayırma kuvveti
F_p	Montaj kuvveti
I	Kesite ait atalet momenti
L_b	Kiriş ucundan duvara olan uzunluk
L_e	Etkin kiriş uzunluğu
L_r	Kiriş uç uzunluğu
L_t	Toplam kiriş uzunluğu
Q	Sapma büyüklük faktörü
R_w	Kiriş ve duvar kesişim radyüsü
T_b	Duvar da kiriş kalınlığı
T_r	Kiriş ucundaki kiriş kalınlığı
T_w	Kiriş duvarı kalınlığı
W_b	Duvar yüzeyindeki kiriş genişliği
W_r	Kiriş ucunda kiriş genişliği
Y	Tutma yüzey derinliği
Z	Kesit Modülü
ε	Birim şekil değiştirme
ε_{ak}	Akma gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirme
ε_{kop}	Kopma gerilmesine karşılık gelen birim şekil değiştirme
α	Montaj yüzey açısı
β	Tutma yüzey açısı
δ	Montaj sapması
μ	Sürtünme katsayısı
σ	Gerilme
σ_{ak}	Akma gerilmesi
σ_{kop}	Kopma gerilmesi

1.GİRİŞ

Plastikler, günümüzde oldukça yaygın kullanılan, endüstrinin her alanında esas veya yardımcı eleman olarak üretilen petrol türevi organik malzemelerdir.

Plastikler üretim kolaylığı, erişilebilir malzeme yaygınlığı, ekonomik parça imalatı ve özellikle gelişen teknoloji ile birlikte iyileştirilmiş mekanik özellikleri ve hafiflikleri nedeniyle endüstrinin birçok alanında kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde metal-plastik, plastik-plastik, seramik-plastik gibi ürün çiftlerine sıkça rastlamakta ve bu ürün çeşitliliğinde değişik montaj veya bağlantı tipleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Plastik malzemeden esneyerek kilitlenebilen bağlantılara, montaj uygulamalarında oldukça sık rastlanmaktadır. Bu montaj tipi sökülebilir veya sabit bağlantıya izin verebilmektedir. Kısa sürede montaj ve demontajı istenen plastik parçaların bağlantı tipleri bu yöntemle kolaylıkla sağlanabilmektedir.

Plastiklerin esneyerek bağlantı yöntemleri için yapılabilecek hesaplamalar geleneksel hesap metotlarıyla basitce yapılabildiği gibi bilgisayar destekli programların yardımıyla da desteklenebilir. Bu çalışmalardan bazıları önemle bahsedilecek olan Paul. R. Bonenberger'in 2000 yılında yazımını tamamlamış olduğu "The First Snap Fit Handbook, Creating and Managing Attachments for Plastics Parts" yayınıdır. Bonenberger yayınladığı bu kaynakta sabit kesitli kiriş biçimli esneyerek bağlantı yapabilen parçaların mekanik özellikleri, parça tasarımını etkileyen ve üretilecek parça malzemesine bağlı sürtünme katsayıları, montaj ve ayırma açılarının tasarıma etkileri, boyutsal sınırlamalar gibi birçok temel konuda çalışmalar yapmış ve önemli bilgilere kaynak olmuştur. Bu bilgiler ışığında konu hakkında Bayer, Basf gibi büyük firmalar birçok deneysel ve laboratuvar çalışması yaparak ürün geliştirme ve arge anlamında ürün ile tasarımı geliştirebilmişlerdir. Yine "Snap Joints and springs in Plastics" vb. yayınlar yukarıda adı geçen bu firmalardan alınabilecek kaynak yayınlardır. Yapılan uzun süreli çalışmalar sonucunda gelişen teknoloji ile malzemelerde iyileştirmeler olmuş ve bu geleneksel hesap metotları yeni değerlerle güncellenmiştir. Suri Gaurav bu metotla ilgili çalışmalarını derleyerek "Fundamental Investigation of Retention Phenomena in Snap-fit Features" adlı yayınında detaylı bilgiler ve örneklemeli çözümlere yer vermiş konunun

anlaşılabilirliğini ve ürün çeşitliliği ile bağlantı çeşitliliğini ön plana çıkarmıştır. Araştırmacı yayınında tasarımı etkileyecek esas etkenlerden olan bağlantıya ait açısal değişikliklerin sebep olacağı montaj ve demontaj durumlarına ilişkin çok sayıda hesap ve bilgisayar destekli tasarımla bunun ispatını karşılıklı grafiksel mukayese ile göstererek açıklamalarda bulunmuştur. Elde edilen bu grafikler bir çok kullanıcının yararına yayınlarda sunulmuştur. A. Maszewski. “Snap Joints and springs in Plastics” adlı yayınında önemli bilgileri Bayer Plastik Geliştirme Birimi adına çalışarak yayınlamış ve günümüze kadar bu bilgileri taşımıştır.

Bu çalışmada, bir hızlı prototipleme yöntemi olan sıvama ile üretilmiş, katmanları arasında boşluklar bulunan, sabit kesitli kiriş biçimli esneyerek bağlanabilen (snap-fit) plastik parçalar kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin montaj ve ayrılma kuvvetlerinin analizi amacı ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kiriş şeklindeki parçanın atalet momenti deneysel yöntem ile belirlenmiş ve instron deney cihazı kullanılarak montaj ve ayrılma kuvvetleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen değerler teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

2. PLASTİK MALZEMELER

2.1. Plastiklerin Tarihi

20. Yüzyılın başlarından itibaren ‘Organik Kimya’ konusunda hızlı gelişmeler olurken sayısız kimyasal madde yanında, plastik hammadde veya ürünlerine yönelik de birçok sentezler yapılmıştır. Ancak, zamanın koşullarında ve gereksinimler doğrultusunda plastikler, birçok gelişim aşamalarından da geçerek toplumun yararına sunulmuştur. Bütün bu gelişmeler sırasında plastik dünyasına açılan ilk önemli pencere, Amerikalı bir iş adamının iyi bir bilardo topu yaptırmak istemesi ve buna büyük bir maddi ödül koyması üzerine ‘Baekeland’ tarafından sentezi yapılan nol-formaldehit reçinesi iledir. Bundan günümüze kadar hızlı bir süreçte araştırmalar ve yatırımlar yapılarak üstün nicelikli plastikler kütle üretimiyle dünya pazarlarına verilmişlerdir. Böylece sanayi devrimi içinde plastikler de layık oldukları yeri almışlardır (Yaşar, 2001).

Bir plastikte polimeri oluşturan ana gruplar plastik türüne göre değişik sayılarda olurlar. Ayrıca bu gruplar doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı bir yapı oluştururlar. Grupların bir moleküldeki sayısına ‘Polimerizasyon Derecesi’ denir. Grupların molekül kütlesi ile polimerizasyon derecesinin çarpımı da plastiğin molekül kütlesini verir. Bu kavramlar Polivinil klorid örneği ile açıklanabilir. Her plastik polimerinin bir başlangıç monomeri vardır. Belirli sayıda monomer bir tepkime ile polimer zincirini oluştururlar. Polimerleşme sonunda ele geçen ürünler doğal renkli olmakla beraber özel olarak renklendirilmiş, kullanım kolaylığı ve amacı bakımından da tablet, toz, plastisol, film, levha, blok, profil ya da değişik biçimlendirilmiş halde piyasaya sürülürler. Plastiklerle ilgili uluslar arası standartlar vardır (Petrucci, 2002). Türk Standartları Enstitüsünün plastiklerle ilgili bazı standartları aşağıda Çizelge 1.1’de verilmiştir. Serbest piyasada kullanılan plastiklerde aranılan ASTM standartları da Çizelge 1.2’de yer almaktadır. Üretimde yerel ve uluslar arası kullanılan plastiklerin büyük çoğunluğu verilen bu standartlara göre şekillenmiştir.

Çizelge 1.1. Plastikler için bazı Türk Standartları (T.S.E)

Standart	Konusu (malzemeler)
TS 201	Sert PVC plastik borular
TS 418	Polietilen borular
TS 624	PVC yer döşemeleri
TS 1404	Polipropilen
TS 1801	PVC reçinelerinin tanımlanması
TS 2193	Isı yalıtma malzemeleri, sert köpük plastik
TS 2294	Üre formaldehit kalıplama karışımları
TS 2380	Plastikler, terimler ve tanımlanmaları
TS 2412	Melamin formaldehit kalıplama karışımları
TS 2538	Polietilen ağır hizmet torbaları
TS 2772	Poliamid enjeksiyon ve ekstrüzyon maddeleri
TS 2992	Fenolik kalıplama karışımları
TS 3423	Darbeye dayanıklı polistirenlerin tanımlanması
TS 3435	PS kalıplama ve ekstrüzyon maddeleri
TS 3782	Polietilen filmler
TS 3971	Plastik şırıngalar
TS 5015	Plastik çanta bidonlar
TS 5341	PS Kalıplama karışımları
TS 5358	Sert PVC profiller
Deneyler	
TS 90	Gerileme özellikleri
TS 710	Plastiklerin kimyasal maddelere karşı direnç tayini
TS 785	Saydam plastiklerde kırılma indisi tayini
TS 1066	Alevlenme özelliklerinin tayini
TS 1148	Termoplast deney parçalarının basınç kalıplama ile hazırlanması
TS 1149	Termoplast deney parçalarının enjeksiyon kalıplama ile hazırlanması
TS 1393	Çekme özelliklerinin tayini

Çizelge 1.2. Plastikler için bazı ASTM Standartları (A.S.T.M)

Standart	Konusu (Malzemeler)
ASTMD 700	Fenol farmoldehit kalıplama bileşimleri
ASTM 701	Selüloz nitrat plastikleri
ASTM 702	Döküm metakrilat bileşimi
ASTM 703	Polistiren kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 705	Üre formaldehit kalıplama bileşimleri
ASTM 706	Selüloz asetat kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 788	Metakrilat kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 789	Poliamid kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 1201	Poliester kalıplama bileşimleri
ASTM 1248	Polietilen kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 1431	SAN kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 1541	Akrilik ekstrüzyon levhalar
ASTM 1564	Poliüretan köpük malzeme, esnek
ASTM 2125	Polistiren köpük malzeme, rijit
ASTM 2146	Polipropilen kalıplama ve ekstrüzyon bileşimleri
ASTM 2473	Polikarbonat kalıplama bileşimleri

2.2.Mekanik Özellikler

Türlerine göre plastiklerin mekanik özellikleri çok büyük değişiklikler gösterir. Yüksek özelliklere sahip olanların bazı mekanik özellikleri demir dışı metallere yakındır. Bununla beraber bazı plastikler için aşınma dayanımı, uzama değerleri metallerekinden yüksek olabilir. Sertlik, basma ve çekme dayanımları ise genelde metallerekinden daha düşük değerlerdedir. Sürünme dayanımı plastikler için çok önemli bir mekanik özelliktir. Yapılan statik ölçüm sonuçları gerçek gereksinimleri her zaman doğru bir şekilde karşılayamamaktadır. Biçimlendirilmiş bir plastik parça basınç, sıcaklık, kimyasal ortam vb. gibi faktörlerle belirli

bir süre zorlanırsa yapılan ilk ölçümlerinde ki mekanik değerlerinde azalmalar görülür. Plastiklerin mekanik özellikleriyle ilgili önemli Türk standartlar aşağıda gösterilmiştir.

Çekme özellikleri (ve uzama)	: TS 1398
Basınç dayanımı	: TS 1096
Darbe dayanımı (izod)	: TS 1005
Sertlik	: TS 1326

2.3.Elektriksel Özellikler

Özel bir amaçla üretilmedikçe plastiklerin hemen hemen hepsi yalıtkan olup iyi bir dielektrik özelliğine sahiptir. Dielektrik sabiti, herhangi bir maddeden yapılmış kondansatörün kapasitesi ile aynı kondansatörde dielektrik madde olarak hava (veya boşluk) bulunduğu zaman göstereceği kapasite arasındaki orandır.

Yıllar önce, plastikler sanayideki yerini almamışken elektrik kablosu üretiminde yalıtkan madde olarak kauçuk kullanılırdı. Üretim güçlüğü ve zaman kaybı yanında kullanıldıkça görülen yapısal bozulmalar tehlikeli akım kaçaklarına neden olurdu. Plastikler sayesinde dayanıklı ve istenilen kalitede yalıtıma sahip elektrik malzemelerini ekonomik olarak yapmak mümkün olabildiği. Biraz ısının açığa çıktığı bazı elektrik devre elemanları yapımında sıradan termoplast plastiklerin kullanımı sakıncalı ise de yumuşama sıcaklığı yüksek, hatta bazı dolgularla ısısal özellikleri daha da iyileştirilen termoplastlar ve termoset ürünler bu tür üretilere iyi bir çözüm getirirler. Fenolformaldehit, melaminformaldehit ve halojenli plastikler tipik bir örnek olarak gösterilebilirler. Dielektrik dayanımını arttıran, ısısal özelliklerini iyileştiren başlıca dolgu maddeleri mika, asbest ev antimon trioksittir. Alışıla gelenin dışında, bazen, özel amaçlar için plastiğin belirli derecede iletken olması istenir. Sıradan plastikler için bu amaca, bileşimine metal tozları, grafit, karbon siyahı gibi maddeler katılarak ulaşılabilir. Son zamanlarda üzerinde çalışılan 'Poliasetilen' ve benzeri plastiklerin dolgu maddesine gerek kalmadan iletken özelliklere sahip olduğu bilinmekte olup kablo

yapımı ve diğer metalden yapılan elektrik malzemeleri için bakıra alternatif olabileceğine ümitlenmektedir. Plastik maddelerin dielektrik dayanımları TS 1397, dielektrik sabitleri de TS 1224 de ki deneylerle ölçülmektedir. (Yaşar, 2001)

2.4.Kimyasal Özellikler

Genelde çoğu plastik maddeler belirli derişimlerde asitlere ve bazlara karşı direnç gösterirler. Bu direnç plastik türlerine göre az çok değişmektedir. PE-PTFE, PP, Epoksi, Poliester, Sülfon, Vinil plastikleri kuvvetli asitlere ve bazlara karşı direnç göstermeyen ürünlerdir. Keza açık hava koşullarında da her plastik değişik şekillerde etkilenir. (Yaşar, 2001)

2.5.Çözünürlükler

Fenol formaldehit, melamin formaldehit, poliester gibi termoset plastiklerden kalıplanmış parçalarla PE, PP, PVC, PA, PTFE gibi yüksek mol ağırlıklı polimerler çözücülere karşı çok dirençli maddelerdir. Selüloz plastikleri (selüloz asetat, selüloz nitrat gibi) akrilik, vinil asetat, polistiren gibi maddeler de üniversal çözücülere direnç gösteremeyip çözünürler. Çözünürlük dereceleri de plastik ve çözücü türlerine göre değişim gösterir. Plastiklerin çözünürlük özelliğinden yararlanılarak onların dispersiyon haline getirilmeleri ve yapıştırılmaları sağlanır. Dispersiyon haline getirilmeleri lak ve boya yapımı için çok önemlidir. Kimya sanayi ile kimyasal maddelerle çalışılan iş yerlerindeki donanımın plastikten yapılması halinde kimyasal ve çözünürlük özellikleri de dikkatle incelenmelidir. Belirli plastiklerle kaplanmış bir metal parça veya yüzeyin yeniden temiz hale getirilmesi söz konusu olduğunda bazı kimyasal maddeler kullanılarak tahriple bu amaca ulaşılır. Plastiklerin değişik derişimlerdeki asit ve alkalilerle çözücülere dirençleri TS 710'daki deneylerle saptanmaktadır. (Yaşar, 2001)

2.6. Isıl Özellikler

Plastiklerin en önemli ısıl özellikleri ısıl iletkenlik, ısıl genleşme, ısıl dayanıklılık, eğilme sıcaklığı, erime sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı, yanma oranı ve yanma ürünlerinin incelenmesidir. Plastikler çok küçük ısıl genleşme katsayısı ve ısıl iletkenlik katsayısına sahiptirler. Özellikle köpük plastik haline getirildikten sonra yalıtım değeri daha da yükselir. (Yaşar, 2001)

Eğilme, yumuşama ve erime sıcaklıkları daha çok termoplast ürünler için söz konusudur. Termoset ürünler ise genelde daha yüksek ısıl özelliklere sahiptir. Termoplastlar genelde 50-125°C sıcaklıktaki ortamlarda kullanılabilirdiği halde termosetler 110-300°C ye dayanıklıdır. Keza yanma özellikleri de plastiklerde çok değişiktir. Küçük bir alevle hemen tutuşabilen selüloz nitrata karşılık bek alevine dayanan silikon plastiği ve termoset polyamid bu konuda tipik örneklerdir. Plastiklerin bazı ısıl özellikleri aşağıda standartlarla tayin edilmektedir. (Petrucci, 2002)

Isı iletkenliği	: TS 388
Isı genleşmesi	: TS 1065
Eğilme sıcaklığı	: TS 1400 ve 1402
Vicat yumuşama noktası	: TS 1825
Erime akış indisi	: TS 1323

Termoplast plastikler ısı etkisi altında yumuşama özelliklerinden yararlanılarak çeşitli yöntemlerle biçimlendirilirler. Termosetler de nispeten ısıya dayanıklı olduklarından elektrik malzemeleri yapımında fazla miktarda kullanılırlar.

2.7. Plastiklere Katılan Dolgu Maddeleri

Birçok plastik kendilerine çeşitli özellikler kazandıran dolgu maddeleriyle işlenmeden veya işlendikten sonra piyasaya sürülürler. Belirli amaçlara yönelik dolgu maddelerinin en önemlileri aşağıda çıkarılmıştır.

Pekiştirici ve dayanım arttırıcılar

Renklendiriciler (boyar maddeler veya pigmentler)

Plastikleştiriciler

Kaydırıcı ve işlemeyi kolaylaştırıcılar

Antistatikler (statik elektriklenmeyi önleyiciler)

Ultraviyole ışınım dengeleyiciler (UV stabilizatörler)

Oksitlenme önleyiciler

Köpük yapıcılar (genleştiriciler)

Diğer dolgu maddeleri: Yataklarda kaymayı arttırıcılar, yanmayı güçleştiriciler ve ısı dengeleyiciler (Yaşar, 2001).

2.8. Plastiklerin Biçimlendirilmesi

Sanayide üretilen plastikler ancak iyi bir biçimlendirme ile değer kazanırlar. Plastikler türlerine ve kullanım amaçlarına göre değişik yöntemler kullanılarak biçimlendirilebilirler. Bu yöntemlerin başlıcaları aşağıda listelenmiştir.

Kalıplama Yöntemleri:

Basınçlı kalıplama

Döner kalıplama
 Döner döküm kalıplama
 Enjeksiyon kalıplama
 Enjeksiyon ile şişirme kalıplama
 Santrifüj döküm kalıplama
 Döküm

Diğer biçimlendirme yöntemleri:

Ekstrüzyon
 Şişirme ile film çekme
 Kalıpsız ekstrüzyon
 Basınçta ısı ile biçimlendirme
 Lif sarma
 Köpük
 Otoinşa teknolojileri

2.8.1.Oto inşa Teknolojileri

Otoinşa teknolojileri 1986'da ABD'de ticari olduğu ilk yıllarda sadece hızlı model ve prototip imalatı amacıyla geliştirilip kullanıldığından, bu teknolojiler, kapsamı ve anlamı bakımından çok uygun olan “Autofabrication” (otoinşa) veya “Automated Fabrication, AF” yerine çoğunlukla “Rapid Prototyping, RP” (hızlı prototipleme) adıyla anılmıştır. Sonraları, gelişen teknoloji ve açılan yeni uygulama sahaları ile birlikte artık bu ismin yetersiz ve dar kapsamlı kaldığı ilgili çevrelerce de kabul edilmesine rağmen ilk yıllarda verilen bu isme piyasa alışmış olduğu için değiştirmek mümkün olmamıştır. Otoinşa teknolojileri için daha birçok farklı isimlendirme ve kısaltmalar kullanılabilir; Bunlardan bazıları, “Additive Fabrication, AF”, “Additive Manufacturing, AM”, “Solid Freeform Fabrication, SFF”, (katı,

serbest şekilli inşa), “Free Form Fabrication, FFF”, “Layered Manufacturing” (katmanlı imalat), “3D Printing” (3 Boyutlu Yazıcı) şeklindedir.

Ticari olarak üretilmiş bütün otoinşa cihazlarının çalışma prensibindeki ortak yön, parçanın katmanlar halinde inşa edilmesidir. Fakat katmanların oluşturulma tekniği ve inşa hammaddesi olarak kullanılan malzemenin özelliği çok farklı olabilmektedir. Buna bağlı olarak otoinşa cihazları, kullandığı teknolojiye göre, Işıklı Kür, Toz Bağlama, Harç Yığıma ve Tabaka Yığıma olarak dört ana kategori altında toplanabilir (Şekil 2.1). Aşağıdaki şemada görüleceği üzere her ana kategori ise kendi içinde iki alt sınıfa ayrılmıştır (Neğiş,2011):



Şekil 2.1. Otoinşa teknolojilerinin sınıflandırılması (Neğiş,2011)

2.8.1.1.Harç Yığıma Yöntemi

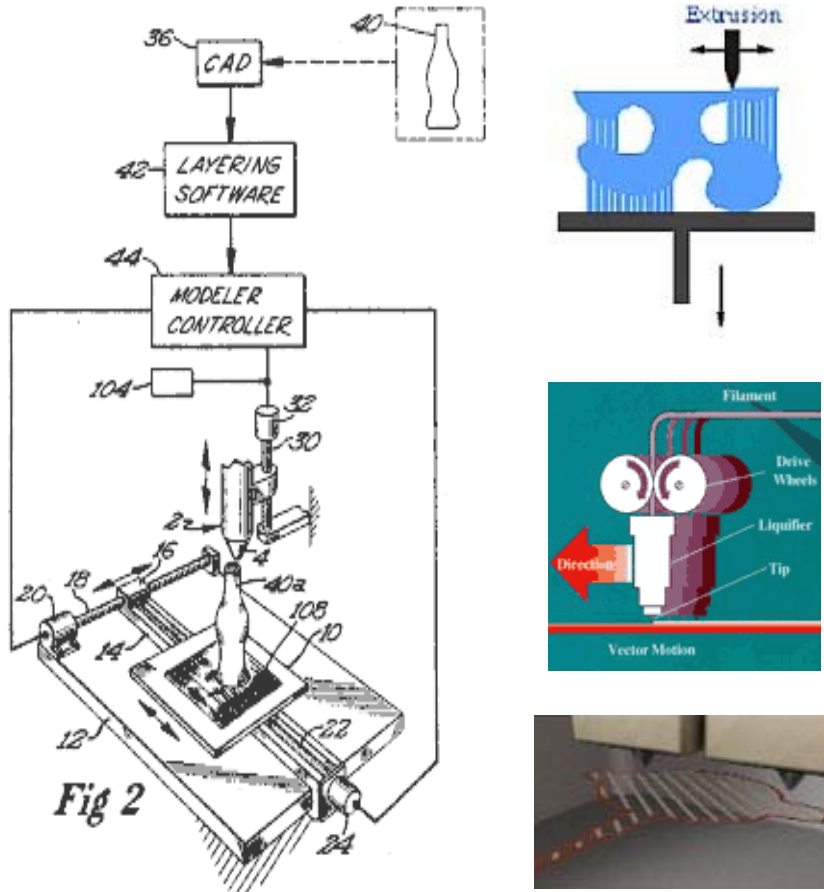
Bu teknolojiye katmanlar, sıvı veya macun kıvamındaki bir maddenin belli noktalara kontrollü olarak püskürtülerek veya sıvayarak yığılmasıyla inşa edilir. Sertleşme, soğuyarak sıvı halden katı hale geçme ile olabileceği gibi, kimyasal bir reaksiyonla da olabilir. Yığıma için bir veya birden fazla meme kullanılabileceği gibi, bazı memeler sadece destek malzemesi için de ayrılabilir. Harç yığıma teknolojisinin diğer üç ana teknolojiden önemli bir farkı, aynı katman içinde değişik bölgelere mekanik veya kimyasal özellikleri farklı malzemelerin yığılabilmeye kolaylığı sayesinde çok-malzemeli (multi-material) karmaşık parçaların veya mekanizmaların inşa edilebilme potansiyelidir (Neğiş, 2011).

2.8.1.2.Sıvama Yöntemi

Sıvı veya macun kıvamında olan yapı malzemesinin bir memeden sıkma yöntemiyle (extrusion) çıkarılıp gerekli noktalara sıvanması. Bu, kremanın bir tüpten sıkılarak pasta üzerine kabartma şekiller oluşturulmasına benzetilebilir.

FDM (Fused Deposition Modeling) Eriyik Yığarak Modelleme :

1988 yılında, küçük çocuğunun renkli macunlarla oynamasından aldığı ilhamla geliştirdiği FDM teknolojisini sanayide uygulamak için Scott Crump tarafından kurulan Stratasys firması, 1991 yılında ilk ticari cihazını üretmiştir.



Şekil 2.2. Eriyik Yığarak Modelleme (Neğiş,2011).

Stratasys/FDM (Fused Deposition Modeling - Eriyik Yığarak Modelleme) tekniğinde, ince uçlu bir memeden erimiş plastik malzeme sıkılıp (extrusion) yüzeye ince bir tabaka halinde sıvanarak katmanlar oluşturulur (Şekil 2.2.) Katman oluşturulduktan sonra tabla, katman kalınlığı kadar aşağı iner ve bir sonraki katmanın inşasına başlanır. İnşa hammadesi, makaraya sarılmış olarak ince plastik tel halinde cihaza beslenir. Bir dizi kontrollü tahrik düzeneği ile memeye beslenen tel, memeye ulaştığında sıcaklıkla eritilerek sıvılaştırılır. Bu yöntemde, hassas döküm mumu ve polyamidin yanısıra ABS gibi erime sıcaklığı yüksek mühendislik plastikleri de rahatlıkla inşa malzemesi olarak kullanılabilir (Neğiş, 2011).

2.8.1.3.Uygulama Alanları

Gerçekte kullanım alanı hayal gücümüzle sınırlı olabilecek ölçüde çok geniş olmasına karşın, günümüzde otoinşa teknolojisi en çok hızlı prototip imalatında otomobil, elektronik eşya, oyuncak endüstrisi vb. parçalarının çok kısa sürede tasarlanıp üretilmesinde kullanılmaktadır. Mesela kullandığımız birçok cep telefonu modelinin plastik aksamaları önceleri otoinşa teknolojisi ile üretilip test edilmişlerdir. Otoinşa teknolojilerinin önemli uygulama alanları aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

Mühendislik: Yeni ürün geliştirme çalışmalarında olabilecek tasarım hatalarını erken teşhis etme ve ürünü en kısa sürede hatasız olarak piyasaya çıkarabilme için; Kavramsal modelleme, Hızlı prototip imalatı, Hızlı kalıp imalatı.

Direkt İmalat: Belki de otoinşa teknolojisinin en cazip uygulama sahasıdır. Çünkü önceki teknolojilerle imalatı mümkün olmayan malzeme ve geometri özelliklerine sahip parçaların imalatı ve direkt olarak son uygulama sahasında kullanılması söz konusudur. Bu konudaki örnekler henüz az olmasına karşın gelecekte çok artacağı beklenmektedir.

Mimarlık: Yapı model - maket ve yeryüzü şekilleri inşası.

Medikal: Bilgisayarlı tomografi verisine bağlı olarak model ve protez, imalatı. Teşhise yardımcı olacak katı görüntüleme. Dişçilikteki implant ve protez çözümleri.

Matematik, Fizik, Kimya: Matematikte veya diğer sahalarda karmaşık yüzey ve geometrilerin modellenmesi (katı görüntüleme-solid imaging). Karmaşık matematik fonksiyonları sonucunda ortaya çıkan üç boyutlu yüzeyler artık katı modellenebileceği gibi, fizik ve kimyada, bilgisayarla tasarlanmış olan karmaşık molekül yapıları da eğitim ve araştırma amacıyla imal edilmesi.

Kuyumculuk: Yeni tasarlanan karmaşık geometrili yüzük, küpe, bilezik vb. takı ve mücevherlerin modellerinin zahmetli el işçiliği gerektirmeden imalatı.

Sanat: Bilgisayarla tasarlanan, normal heykeltıraşlık yöntemleri ile üretimi mümkün olmayan karmaşık sanat eserlerinin imalatı (Neğiş, 2011).

3. ESNEYEREK KİLİTLENEBİLEN PLASTİK BAĞLANTILAR

Çift çalışan parçaların montaj ve ayrılma yüzeyleri akılcı sınırlamalar içerisinde tasarlanmalıdır. Gerçeğe yakın tolerans değerlerinin tahmin edilebilmesi oluşacak kuvvetlerin önceden tahmin edilebilir olması anlamına gelmektedir. Analiz için, malzeme, kuvvet, tasarım sınırları, mukavemet kavramlarının iyi bilinmesi gereklidir. Analizin nihai hedefi yapısal olarak güçlülüğü ve işlevselliği garanti etmek olmalıdır. Tasarımcı ilk planda kilit genel özelliklerinin belirlenmesi, genel hatlarıyla boyutlandırılması, işlem kolaylığı, üretim elverişliliği ve nihai tasarıma yakınlığı gibi konuları işlemelidir.

Malzemeye ait özgün mekanik, fiziksel, kimyasal vb. özelliklerin bilinmesi tasarım için önemli etkenlerden biridir. Tasarımlarda ve hesaplama analizlerinde şu konular ön plana çıkmaktadır: Bunlar montaj kuvveti (F_p), montaj şekil değiştirme (ϵ), ayrılma kuvveti, ayrılma şekil değiştirme, elastisite modülü (E), malzeme özellikleri ve sürtünme katsayısıdır. Plastik malzemelerin üretim aşamasında yapılan deneylerle elde edilen malzemelere ait gerilme-şekil değiştirme diyagramları çeşitli formlarda olabilir. Malzeme verileri ve ürün broşürleri sadece genel ürünlerin karşılaştırılması, uygulama için üretilecek malzemenin başlangıç şartlarının belirlenmesinde kılavuz olarak kullanılabilir. Malzeme veri tabloları laboratuvar verilerinin tedarikçi yorumunu temsil eder. Bu veri oluşturma formlarında temel farklılıklar olabilir ve bu veri sayfaları tedarikçinin test koşullarına bağlı olarak benzerlik veya farklılık gösterebilir. Malzeme kitapçıkları, tedarikçi veri tabanları, evrensel veritabanları malzeme verileri ve bilgilerini içermektedir. Bazı yazılımlarda malzemelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları, termal, mekanik, elektriksel, yapısal özellikleri bulunmaktadır. Veriler ISO standartlarına ve prosedürlerine uygun olarak, düzgün testler yapılmak suretiyle ve sonuçlarda mümkün olabilir malzeme özellikleriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Bu veri sayfaları çok daha detaylı bilgiler içerir ve broşür bilgilerinden daha kullanışlıdır. Fakat uygulamaların genelinde, tasarımı planlanan malzemelerin özel laboratuvar test koşulları altında özellikleri belirlenerek analizlerinde kullanılmaktadır.

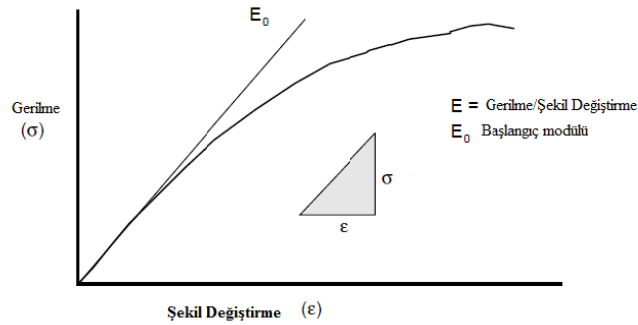
Esneyerek bağlantı yapabilen parçaların tasarım özellikleri ve analizlerini gösteren gerilme-şekil değiştirme eğrileri mevcuttur ve bu eğriler tasarımcıların malzemeler hakkında

yorum kabiliyetlerini geliştirmektedir. Tasarımcı yapacak olduğu tasarımı elde bulunan tüm veri tabloları ile doğrulamalıdır. Gerilme-şekil değiştirme eğrileri o malzemeye özgü basma-çekme deneyleri sonuçlarına dayanmaktadır ve bu eğriler değişik yükleme koşulları altında gerçek yükleme koşullarının bir örneğini oluşturur. Yine laboratuvar şartları altında yapılan eğilme ve kesme deneyleri sonuçlarının yorumu da çok önemlidir. Tasarımı yapılacak olan malzemenin kullanım yeri ve amacı bu deney sonuçları ve değerlendirilmelerine bağlıdır.

3.1.Mekanik Özellikler

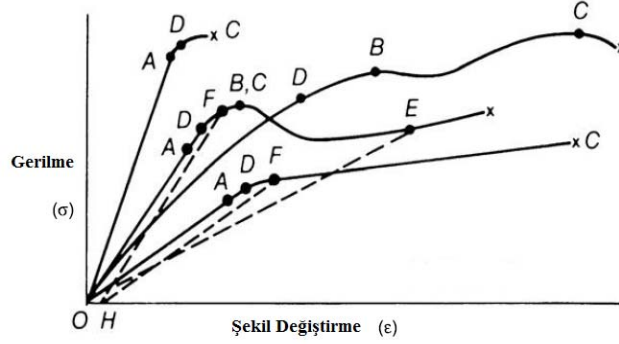
3.1.1.Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri

Yapılan çalışmaların bir hedefi olan gerilme-şekil değiştirme eğrileri eşleşen parça çiftlerinin çalıştığı şartlar altında gösterdiği davranışların yorumlanabilmesi için önemli bir veri kaynağıdır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisini göstermenin en iyi yolu laboratuvar koşulları altında grafikler oluşturularak eğriler çizilmesidir.



Şekil 3.1. Basit gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Tieming, 2005)

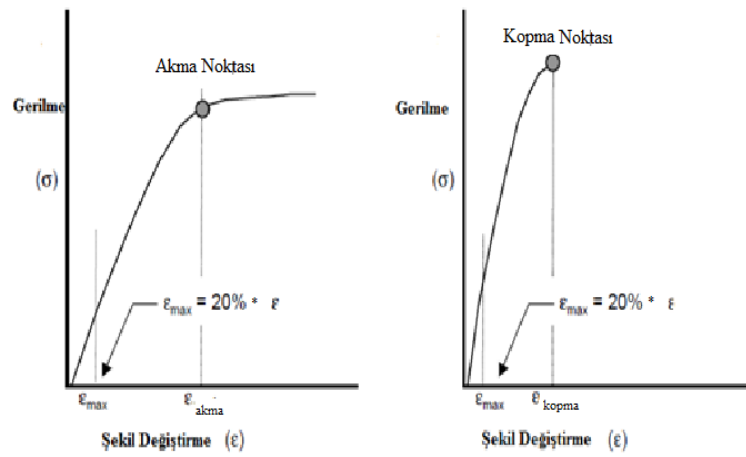
Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin lineer olduğu varsayımı ile eğrinin eğiminin tanjanti elastisite modülünü verir (Şekil 3.1). Çeliklerde birbirlerine benzer olarak görülen gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin tam aksine plastik malzemelerde gerilme-şekil değiştirme eğrileri malzemeye ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle analiz yapılırken malzemenin gerçek gerilme-şekil değiştirme verilerinin alınması çok önemlidir. Plastiklerde bazı tipik gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 3.2’de verilmiştir ve önemli özellikleri aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 3.2. Plastiklerde bazı tipik gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Bonenberg, 2005)

Şekil 3.2.’de görülen değişik süneklığe sahip plastiklerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde Hooke Kanunu geçerlidir ve buna uyan tüm malzemeler Hooke Malzemeleri olarak adlandırılır. A noktası ile gösterilen kısım malzemenin akma sınırı olarak bilinmekte olup belirli bir şekil değiştirmeye karşılık gelen gerilme değerinin bir göstergesidir. A noktasına kadar olan kısımda σ ile ϵ arasında doğrusal bir ilişki vardır. OA doğrultusunun yatayla yaptığı açının tanjantına malzemenin elastisite modülü denir ve ‘E’ ile gösterilir. Akma sınırına kadar olan gerilme değerlerinde şekil değiştirme elastiktir yani gerilmenin kalkması durumunda cisim eski halini alabilmektedir. AD ile gösterilen kısım esneklik sınırı olarak ifade edilmektedir. Lineer kısım kısmen devam etmektedir ve akma sınır şartları geçerli sayılabilir. Gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde AD doğrultusu altında kalan alan malzemenin elastik durumunu korumak şartıyla ne kadar enerji yutabileceğini gösteren ve ‘Rezilyans Modülü’ olarak isimlendirilen alandır. D noktasından sonra malzemeler çeşitlenmiş ve süneklilik kavramı ön plana çıkmıştır. Burada yüklemenin devam etmesiyle malzeme akma sınırını aşarak plastik deformasyonun başladığı akma noktasına ulaşmış demektir. Bu noktadan sonra kuvvetin kaldırılması ile parça eski halini alamaz. Bu noktadan sonra parça kesitinde bir daralma görülürken parça ilk boyunda bir uzama söz konusu olmaktadır ve bu yanıl şekil değiştirmenin aksel şekil değiştirmeye oranına ‘Poisson Oranı’

denilmektedir. Poisson oranı her malzeme için değişiklik göstermektedir. Görünür bir akma sınırına sahip olmayan malzemelerde birim şekil değiştirmenin kalıcı olarak % 0.2 değerine ulaştığı noktadan gerilme-şekil değiştirme eğrisinin doğrusal olduğu başlangıç noktasına paralel olarak çizilen doğrunun eğriyi kestiği noktanın ordinatı ‘Akma Mukavemeti’ olarak bilinmektedir. C noktasına gelindiğinde parça bir noktasından kopmuş ve tam plastik deformasyon oluşmuş demektir. Kopma sınırına kadar zorlanan bir malzemenin absorbe ettiği enerji tokluğun ölçüsüdür. Sünek ve yüksek uzama gösteren plastikler için maksimum şekil değiştirme gerçek şekil değiştirmenin %20 si olarak alınabilir. Bu durum Şekil 3.3’te gösterilmiştir. (Bonenberger, 2005)



Şekil 3.3. (a) Sünek malzemeler (b) Gevrek malzemeler (Bonenberger, 2005)

Eşleşmiş ürün çiftlerinin maruz kaldıkları yüklemenin tipi ve sürekliliği malzeme dayanımı ve kullanım ömrü açısından önemlidir. Burada eşleşmiş parçaların tutma gücü hesaplanırken aşağıda yer alan Çizelge 3.1’deki değerler kılavuz değerler olarak alınabilir.

Çizelge 3.1. Bağlantı hesaplamalarında kullanılacak ϵ_{max} değerleri (Bonenberger, 2005)

	Hata özellikleri kritik bir değerde değilse	Hata özellikleri kabul edilebilir kritik bir değerde ise
Tekrarlı olmayan yorulma yükleri	25–50%	10–25%
Sabit yüklemeler	10–25%	5–10%

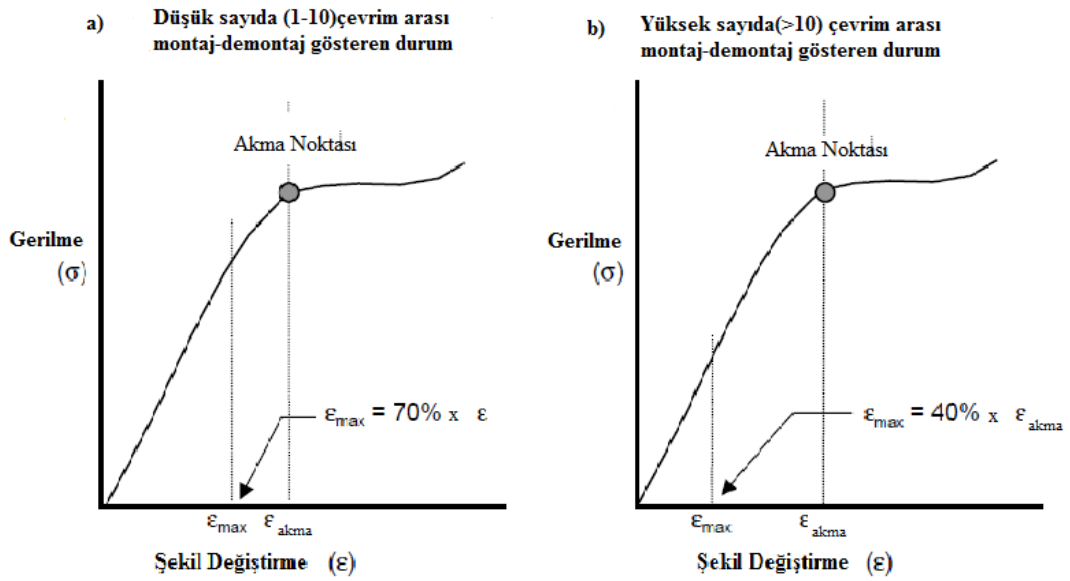
Esneyerek bağlantı yapabilen malzemeler montaj ve ayrılma sırasında değişken bir yüklemeye ve şekil değiştirme grafiğine sahiptir. Eğilmenin çabuk olduğu durumlarda değişken darbeli yüklemeye oluştuğu ve dinamik bir şekil değiştirme durumunun var olduğu

anlaşılmaktadır. Parça tasarımında sürekli ve değişken yükleme durumlarında o malzemeye ait maksimum yükleme ve şekil değiştirme miktarı alınmalıdır.

3.1.2.Sekant Modülü ve İzin Verilebilir Maksimum Şekil Değiştirme

3.1.2.1.Akma Noktası Belirli Olan Malzemeler

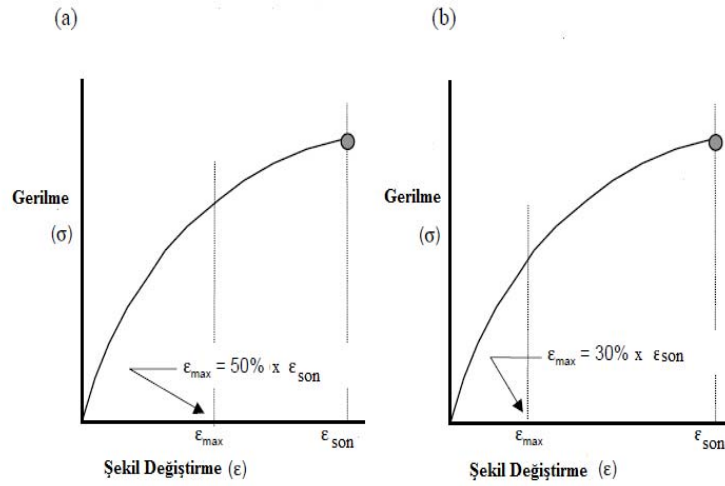
Düşük montaj-demontaj çevrim sayısı olan (1-10 çevrim) durumlarda izin verilebilir maksimum şekil değiştirme %70, Yüksek montaj-demontaj çevrim sayısı olan (>10 çevrim) durumlarda izin verilebilir maksimum şekil değiştirme %40 olarak alınabilir. (Şekil 3.4.) (Bonenberg, 2005)



Şekil 3.4. Belirli akma noktasına sahip malzemelerde tasarım ve akma noktaları (Bonenberg, 2005)

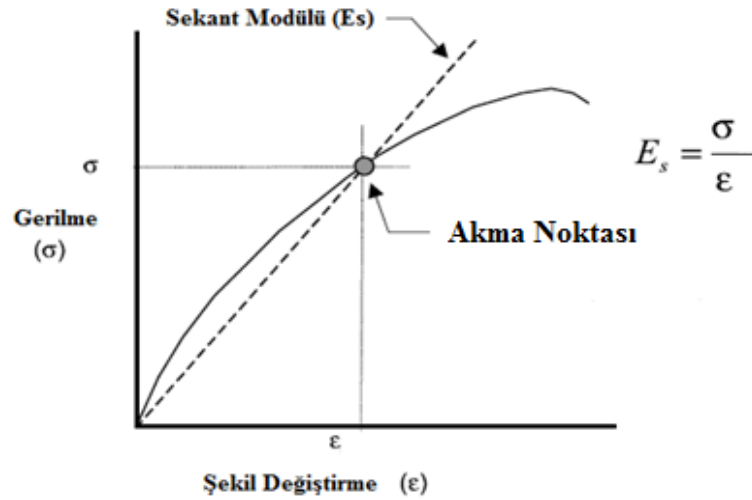
3.1.2.2.Akma Noktası Belirsiz Malzemeler

Düşük montaj-demontaj çevrim sayısı olan (1-10 çevrim) durumlarda izin verilebilir maksimum şekil değiştirme %50, Yüksek montaj-demontaj çevrim sayısı olan (>10 çevrim) durumlarda izin verilebilir maksimum şekil değiştirme %30 olarak alınabilir. (Şekil 3.5.) (Bonenberg, 2005)



Şekil 3.5. Belirsiz akma noktasına sahip malzemelerde tasarım ve akma noktaları (Bonenberg, 2005)

Tasarım noktalarının belirlenmesi için önemli olan kriterlerden biri de Sekant modülüdür (E_s). Bu modülü gerilme-şekil değişirme diyagramında orijin noktasından akma noktasına uzanan ve tasarım noktasından geçen eğrinin eğimi vermektedir ve Şekil 3.6' da gösterildiği üzere hesaplanır. Sekant modülü analiz hesaplamalarında kullanılır.



Şekil 3.6. Sekant modülü (Bonenberg, 2005)

Çizelge 3.2' de bazı malzeme gruplarının ve benzer malzeme türlerine ait maksimum izin verilebilir şekil değişirme değerleri, bu malzemelerin uluslar arası ticari isimleri ile birlikte verilmiştir. Bu çizelgede bulunan veriler parça tasarımında kılavuz değerlerdir ve

gerilme-şekil değiştirme verileri gerçek uygulama koşulları ile uyum içinde olmalıdır. Çizelge değerleri çok sık tekrarlanmayan kısa süreli yüklemeler için uygundur. Çok sayıda çevrimlerde bu değerlerin %60'ı kullanılır. Bu değerler oda sıcaklığındadır. Referans değerleri % 50 bağıl nem ve 20 °C sıcaklıkta alınmıştır. Malzemelerin kuru olması nem oranı düşük anlamındadır.

Çizelge 3.2. Bazı plastikler için izin verilebilir şekil değiştirme değerleri (Bonenberger, 2005)

Malzeme	Tipik ϵ_{max}	Kaynak
Most plastics fall within	1–10%	X
Glass filled plastics tend to fall within	1–2%	X
Polypropylene PP	8–10%	X
Polycarbonate 30% glass-fiber reinforced PC	1.8%	X
Polyphenylenesulfide (40% glass-fiber reinforced) PPS	1%	X
High heat polycarbonate PC	4%	B
Polycarbonate/ABS blend	2.5%	B
Acrylonitrile-styrene-acrylate ASA	1.9%	B
Polycarbonate blends	3.5%	B
Polycarbonate PC	4%	B
Polyamide (conditioned) PA	6%	B
Polyamide (dry) PA	4%	B
Polyamide/ABS	3.4%	B
Acrylonitrile-butadiene-styrene ABS	1.8%	B
Polycarbonate (10% glass reinforced)	2.2%	B
Polyamide/ABS (15% glass reinforced)	2.2%	B
Polycarbonate (20% glass reinforced)	2%	B
Polyamide conditioned (30% glass reinforced)	2%	B
Polyamide dry (30% glass reinforced)	1.5%	B
Polyetherimide PEI	9.8%	A
Polycarbonate PC	4–9.2%	A
Acetal	1.5%	A
Nylon 6 (dry)	8%	A
Nylon 6 (30% glass reinforced)	2.1%	A
Polybutylene terephthalate PBT	8.8%	A
Polycarbonate/Polyethylene terephthalate PC/PET	5.8%	A
Acrylonitrile-butadiene-styrene ABS	6–7%	A
Polyethylene terephthalate PET (30% glass reinforced)	1.5%	A

B— Snap fit birleştirme elemanları= tasarım rehberi

A— Snap fit tasarım modülleri el kitabı,

X— Tanımsız

3.1.3.Sürtünme Katsayısı

Sürtünme katsayısı (μ) birbirlerini yüzeysel ya da noktasal temas yoluyla etkileyerek hareket eden ürün çiftlerinin temas yüzeyleri boyunca oluşan kuvvetlere, yüzey pürüzlülüğü, çalışma şartları ve malzeme niteliklerine bağlı olarak oluşmaktadır.

Sürtünme katsayısı montaj, ayrılma kuvvetleri ve tutma gücünün hesaplanmasında kullanılır. Sürtünme kuvveti malzemenin yüzey pürüzlülüğü ile doğrudan ilişkilidir. Malzemelerin yüzey pürüzlülüğü noktasal veya yüzeysel temas halinde olan malzemelerin hareketlerinden ötürü oluşan sürtünme kuvvetinin değerini doğrudan etkileyen bir etkidir. Esneyerek bağlantı yapılmaya olanak tanıyan malzemelerin iyi yağlama özellikli ve sürtünme katsayıları düşük olma eğiliminde olmalıdır. Malzemelerin sürtünme katsayılarını gösterir uluslar arası veri sayfaları da bulunmaktadır. Yayınlanan bu sürtünme katsayısı değerlerinin yaygın olarak bilinenleri Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Bununla beraber yayınlanan değerler test koşulları ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Fakat bazı özel durumlarda kullanılan parçalar bu değerleri sağlamayabilir. Sürtünme için en iyi veri gerçek yükleme koşulları altında yapılan testler sonucunda belirlenebilir. Sürtünme katsayısı ve kayganlık hesaplamaları yapılırken yayınlanan verilerin yanı sıra tecrübe faktörü de göz önüne alınmalıdır. Genellikle μ aralığı 0.2 – 0.7 arasında değerleri gösterilmektedir. Tasarım başlangıcında 0.2 değeri düşük sürtünme katsayılı malzemeleri ve 0.4 değeri yüksek sürtünme katsayılı malzemeler için uygun bir tahmin değeridir. Montaj ve tepki kuvveti hesaplamalarında sürtünme kuvvetinin çeşitlilik göstermesi güvenilirlik ve doğruluk üzerinde güçlü bir etki yaratmaktadır.

Çizelge 3.3. Kullanımı yaygın bazı plastiklerin sürtünme katsayıları (Bonenberg, 2005)

Malzeme	μ	Kaynak	Not
Polyetherimide PEI	0.20–0.25	A	*
Polycarbonate PC	0.25–0.30	A	*
Acetal	0.20–0.35	A	*
Nylon 6	0.17–0.26	A	*
Polybutylene terephthalate PBT	0.35–0.40	A	*
Polycarbonate/Polyethylene terephthalate PC/PET	0.40–0.50	A	*
Acrylonitrile-butadiene-styrene ABS	0.50–0.60	A	*
Polyethylene terephthalate PET	0.18–0.25	A	*
Polytetrafluoroethylene PTFE	0.12–0.22	B	**
Polyethylene PE rigid	0.20–0.25 (2.0)	B	**
Polypropylene PP	0.25–0.30 (1.5)	B	**
Polyaxymethelene; Polyformaldehyde POM	0.20–0.35 (1.5)	B	**
Polyamide PA	0.30–0.40 (1.5)	B	**
Polybutylene terephthalate PBT	0.35–0.40	B	**
Polystyrene PS	0.40–0.50 (1.2)	B	**
Styrene acrylonitrile SAN	0.45–0.55	B	**
Polycarbonate PC	0.45–0.55 (1.2)	B	**
Polymethyl methacrylate PMMA	0.50–0.60 (1.2)	B	**
Acrylonitrile-butadiene-styrene ABS	0.50–0.65 (1.2)	B	**
Polyethylene PE flexible	0.55–0.60 (1.2)	B	**
Polyvinyl chloride PVC	0.55–0.60 (1.0)	B	**
<i>Slider specimen vs. Plate specimen</i>	<i>At 10.6 mm/sec.</i>	<i>T</i>	<i>***</i>
Polypropylene (as molded) vs. Polypropylene (as molded)	0.71	T	***
Nylon (as molded) vs. Nylon (as molded)	0.65	T	***
Polypropylene (abraded) vs. Polypropylene (abraded)	0.27	T	***
Nylon (machined) vs. Nylon (machined)	0.47	T	***
Mild steel vs. Polypropylene (abraded)	0.31	T	***
Mild steel vs. Nylon (machined)	0.30	T	***
Polypropylene (abraded) vs. Mild steel	0.38	T	***
Nylon (machined) vs. Mild steel	0.40	T	***

A Snap Fit Modüler Tasarım, Allied Signal Plastics, 1997.

B Plastiklerde Snap Fit Birleştirme Tasarım Rehberi, Polymers Division, Bayer Corporation, 1998.

T Plastik İşleme Mühendisliği, James L. Throne, Marcel Dekker, Inc., 1979

* Değerler plastik malzemelerin birbirleri üzerinde kaymasıyla bulunmuş değerlerdir.

** Değerler plastik-çelik malzemeler arasında ölçülmüştür. Farklı plastikler veya malzemeler arasında ölçülen sürtünme değerleri bu değerler eşit veya biraz daha azdır. Benzer malzemeler üzerinde oluşan sürtünme katsayısı ise daha yüksektir.

*** Yağlamazlık testi, dinamik sürtünme katsayısı.

3.1.4. Diğer Etkiler

Plastik malzemelerin davranışları üzerinde büyük etkiye sahip diğer birçok özellik vardır. Plastiklere eklenen kimyasal katkı maddeleri, malzemelerin işlevselliğini ve işleme kabiliyetlerini yoğun biçimde etkiler. Aynı zamanda bu katkı malzemeleri cins ve miktarlarına bağlı olarak üretilen plastiklerin mekanik özelliklerini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir. Bazı katkı maddelerine örnek olarak; darbe sönümleyicileri, UV stabilizatörler, renklendirme elementleri, geciktiriciler vb. sayılabilir. Plastik malzemeler yüksek sıcaklıklarda hızlı bir yaşlanma özelliği gösterirler. Plastiklerin yüksek sıcaklık ve uzun çalışma periyotlarında mekanik özelliklerinde düşmeler görülmektedir. Sürünme, şekil değiştirmenin sürekli yükleme şartları altında giderek artma eğiliminde olmasının bir sonucudur. Bir malzeme için sürünmenin miktarı uygulanan gerilme, sıcaklık ve zamana bağlıdır. Plastik özellikleri sıcaklık etkilerine aşırı duyarlıdır. Genel olarak, yükselen sıcaklıkla beraber plastik malzemeler daha yumuşak ve sünek bir hal alır. Yorulma dayanımı, üretimi yapılmış malzemelerin zamana bağlı periyodik yüklere maruz bırakılmasıyla yapılan test sonuçlarına bağlı olarak oluşturulan gerilme-şekil değiştirme eğrileri yardımıyla görülebilir. Keskin köşelerde oluşan çentik etkisi de tasarımda önemli bir etkindir. Çentik hatası olan bir malzemedeki çentik çevresi boyunca çatlak olarak yayılması ve ilk çatlağın büyümesi ve malzemenin kopması söz konusudur. Gerilme yoğunluğu faktörü, keskin köşelerin çentik etkisi ve lokal gerilme değerleri hesaplamalarda göz ardı edilmemelidir. Kimyasal ve ultraviyole etkileri mekanik özellikleri etkileyebilir. Kalıp tasarımında ki hatalar ve parçaların işleme özellikleri performans özelliklerini etkileyebilir. Kalın kesitler, yanlış soğutma, yapısal malzeme hataları, çarpılmalar, boşluklar iç gerilmelere sebep olabilirler. Farklı alanlarda benzer özellik gösteren parçalar farklı güç ve şekil değiştirme kapasitesine sahip olabilirler. Gerilme-şekil değiştirme testleri standart bir hızda yapılmaktadır, bu nedenle gerçek yükü temsil etmiş sayılmazlar. Bilinen plastiklerde düşük sıcaklıklarda yüksek yükleme oranları uygulandığında numunelerin rijit ve kırılğan, yüksek sıcaklıklarda ve düşük yükleme oranlarında ise daha sünek ve esnek olduğu gözlemlenmiştir.

Bazı plastikler (naylon gibi) neme çok duyarlıdır ve yüksek derecede nem emme kapasitesine sahiptir. Nem içeriği malzemelerin boyutsal kararlılığının bir göstergesidir.

Düşük su absorpsiyonuna sahip malzemelerin boyutsal kararlılığı daha iyidir. Nem içeriği mekanik özellikleri, sertlik değerini, elektriksel iletkenliği, boyutsal stabiliteyi etkiler.

Malzemelerin geleneksel montaj-demontaj yöntemlerinin aksine esneyerek şekil bağı ile birleştirme metoduyla özellikle plastiklerde daha geniş bir alanda karmaşık parçaların sabit veya sökülebilir bağlantılarına olanak tanınmıştır. Bu yöntem günümüzde ilaç sanayi, oyuncak sanayi, yan sanayi ürünleri, otomotiv sanayi ve elektronik sanayi gibi alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Plastik parçalarda üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve ilerleyen malzeme teknolojisinin üretime katkısı olarak karşımıza çıkan esneyerek bağlantı yöntemi polimer esaslı malzemelerin polimer ve/veya başka karakterde (metal, seramik vb.) malzemelerle şekil bağı sayesinde ayrılabilir veya sabit bağlantı yapmasında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Plastik malzemelerde esneyerek bağlantı yöntemini dört ana tipte toplamak mümkündür (Şekil 3.7). Bu dört farklı bağlantı tipi aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

a- Esneyerek bağlantı yapılabilen Silindirik yüzeyle parçalar

b- Esneyerek bağlantı yapılabilen Burulmaya maruz parçalar

c- Esneyerek bağlantı yapılabilen Halka biçimli parçalar

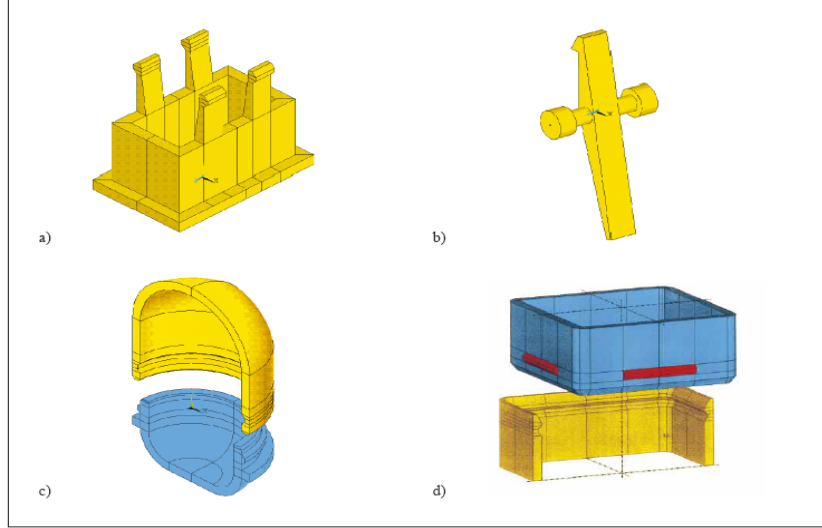
d-Esneyerek bağlantı yapılabilen kiriş biçimli parçalar

Sabit kesitli kiriş biçimli parçalar

Kalınlığı boyunca konikleşen kiriş biçimli parçalar

Genişliği boyunca konikleşen kiriş biçimli parçalar

Hem kalınlık hem genişliği boyunca konikleşen kiriş biçimli parçalar



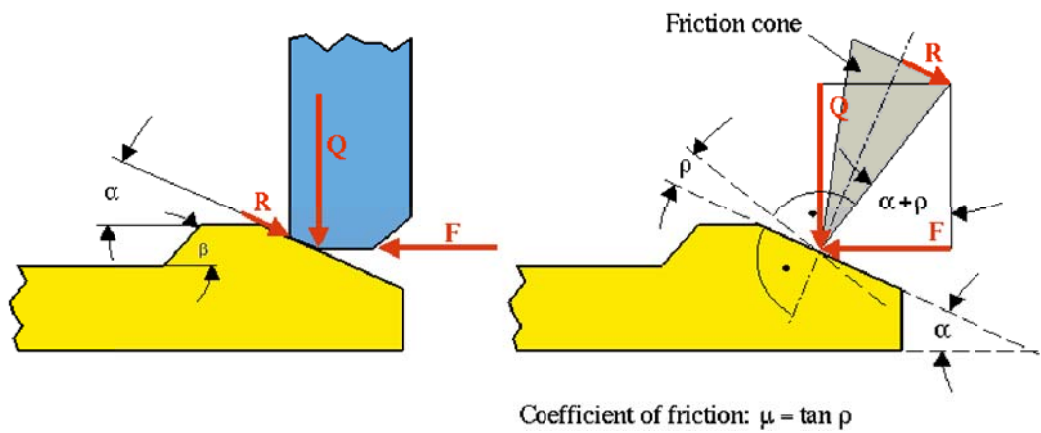
Şekil 3.7. Esneyerek bağlantı yapılabilen bağlantı örnekleri (Maszewski, 1999)

Esneyerek bağlantı yapabilen plastik parçaların tasarım, üretim ve analiz safhaları çok önemli konulardır. Tasarım esasları, yapılacak bazı varsayımların yanı sıra üretilecek parçanın nihai halinin büyük bir kesinlikle önceden belirlenebilmesine olanak sağlar. Üretim ve analiz esasları ise tasarımda belirlenmiş özelliklerin ne derece doğru sonuçlar verdiğinin bir göstergesidir. Doğrudan bağlantılı olan bu hususlar parça maliyeti, artık malzeme, toleranslar dahilinde imalat vb. kavramları etkilemektedir.

3.2. Sabit Kesitli Kiriş Biçimli Esneyerek Bağlantı Yapabilen Parçalar

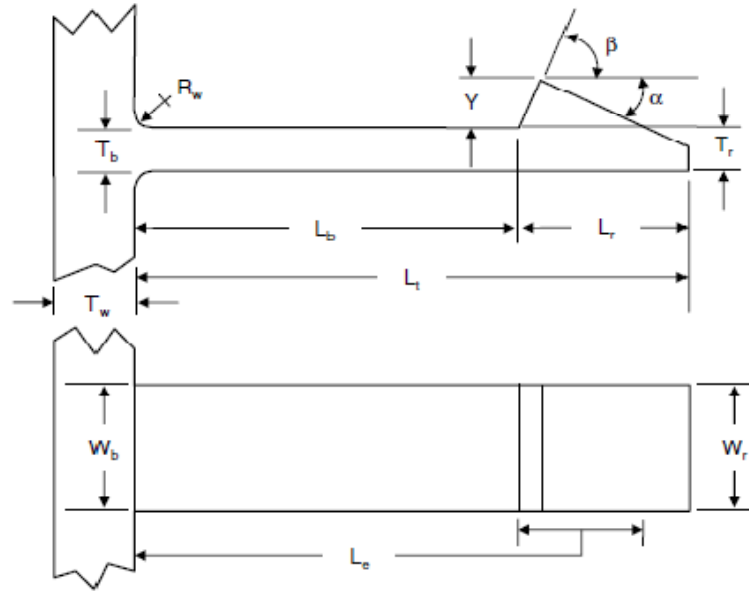
Esneyerek bağlanabilen kiriş biçimli parçalar endüstrinin birçok alanında uygulama alanı bulmuş ve geleneksel bağlantı tiplerinin aksine çok sayıda karışık parçaların ihtiyaç duyulan mukavemet ve sınır şartlarında bağlantısına olanak tanımıştır. Plastik malzemelerde kiriş biçimli esnek bağlantılarda bağlantının üstleneceği fonksiyonlar, bağlantı tipi, dayanım sınırları, elastisite ve malzeme özelliklerinin tasarım aşamasında bilinmesi önemlidir. Tasarım aşamasında bazı varsayımların yapılması gereklidir. Bunlar lineer elastisite, homojen malzeme yapısı ve izotropidir. Plastikler lineer elastisiteye sahip olmalıdır. Gerilme şekil değiştirme eğrilerinde akma sınırı başlangıç noktasına kadar olan eğim hesaplamalarda lineer olarak değerlendirilecektir. Gerçekte birçok plastik uygulamada eğriler lineer değildir ancak yapılan çalışmalarda bu eğriler lineer olarak varsayılmaktadır. Plastikler homojen bir yapıda

olmalıdır. Malzeme kompozisyonu gereği en ufak parçasından en büyük parçasına kadar tamamında aynı fiziksel özelliklere sahip olmalıdır. Gerçekte ise plastiklerin homojenliği malzeme bileşiminin karışım oranına, akış özelliklerine, soğutma, kalıp ve döküm özelliklerine bağlıdır. Uygulamaya esas malzemeler izotropik malzeme olmalıdır. Malzeme hangi yön ve hangi test metoduyla test edilmiş olursa olsun herhangi bir noktasında aynı sonuçlara sahip olmalıdır. Gerçekte plastiklerin birçoğu bu özelliklerin tamamına sahip olmamasına karşın yaklaşık olarak bu özelliklerde olan plastiklerde bulunmaktadır. Esneyerek bağlanan plastik parçalarda tasarım, sökülebilir veya sökülemez bağlantı şeklinde olabilir. Sökülemez bağlantılar bağlantının sabit olarak kalmasının istenildiği bağlantı tipidir ve sökülmek amacıyla aksel olarak fazlaca kuvvet uygulandığında eşleşen çiftlerin zarar görmeden ayrılması mümkün değildir. Pratikte zarar görmeden bir ayrılma istenirse x ekseninde bir çekme kuvvetinin yanı sıra y yönünde bir basma kuvvetine gerek duyulmaktadır. Şekil 3.8’de görüleceği üzere β tutma yüzey açısı bağlantının tipini belirlemektedir. Bilimsel literatürde, β tutma yüzey açısının 45° üzerinde olması bağlantının sökülebilmeye açısından gittikçe zor sökülebilir bağlantı olduğunu gösterirken 45° nin altında olması ise kolay sökülebilir bağlantı olduğunu göstermektedir. Pratikte bu değer sökülebilir bağlantılarda 35° - 60° arasında alınırken sökülemez bağlantılarda 90° alınmaktadır. Sökülemez bağlantılar güçlü ve sert yapısı gereği bazı analitik hesaplamalara gereksinim duyarlar. Burada esas olan kiriş biçimli uç yapısının kilit parçası yapısı gereği karmaşık olması ve yüksek performans gerektirdiğidir. Diğer kilit biçimlerinin hesaplanmaları geleneksel tasarım yöntemleri sayesinde bulunabilir. Bu sebeple hesaplamalarda farklı tüm modeller ile hesaplama yaklaşımları yerine klasik kiriş biçimli parçaların hesap metodu incelenecektir.



Şekil 3.8. Esneyerek bağlantı yapılabilen kirişlerde oluşan kuvvetler (Maszewski, 1999)

Plastiklerde sabit kesitli kiriş biçimli esnek bağlantı tipleri uygulamada en çok rastlanan tiplerden biridir. Bu bağlantı tiplerinin üretimi öncesinde bir çalışma yapılmalı ve aranılan özellikler belirlenmelidir. Montaj kuvveti, montaj şekil değiştirme miktarı, tutma gücü, ayırma kuvveti, ayırma şekil değiştirme miktarı, çentik etkisi, malzeme seçimi gibi hususların parça üretimi öncesinde belirlenmesi, analitik hesaplarının yapılması ve birkaç prototip üretim ile analitik hesapların doğruluğunun ispatı yönünde çalışılması gereklidir. Sabit kesitli kiriş biçimli esnek bağlantı tasarımı için birçok hesaplama kuralı bulunmaktadır. Hesaplamaları etkileyebilecek malzemeye bağlı 4 temel unsur bulunmaktadır. Bunlar; Gerilme (σ), birim şekil değiştirme (ϵ), Elastisite Modülü (E) ve Sürtünme Kuvveti (μ) dür. Tasarım öncesinde malzemeye ait bu hususların ve malzeme seçimindeki çalışma şartları etkilerinin bilinmesi çok önemlidir. Şekil 3.9’da genel olarak tüm kiriş biçimli esnek bağlantı çeşitlerinde geçerlilik gösteren büyüklükler gösterilmiştir. (Bonenberg, 2005)

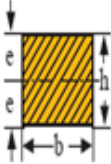
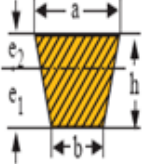
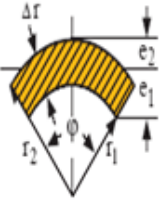
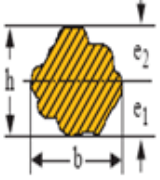
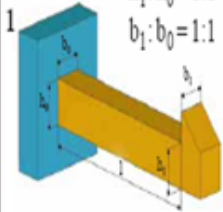
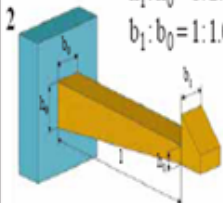
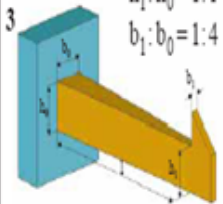



Şekil 3.9. Kiriş biçimli esnek bağlantı tasarımı (Bonenberg, 2005)

L _r	Kiriş uç uzunluğu	R _w	Kiriş ve duvar kesişim radyüsü
L _b	Kiriş ucundan duvara olan uzunluk	W _r	Kiriş ucunda kiriş genişliği
L _t	Toplam kiriş uzunluğu	W _b	Duvar yüzeyindeki kiriş genişliği
T _w	Kiriş duvarı kalınlığı	Y	Tutma yüzey derinliği
T _b	Duvarda kiriş kalınlığı	α	Montaj yüzey açısı
T _r	Kiriş ucundaki kiriş kalınlığı	β	Tutma yüzey açısı
L _e	Etkin kiriş uzunluğu	δ	Montaj sapması

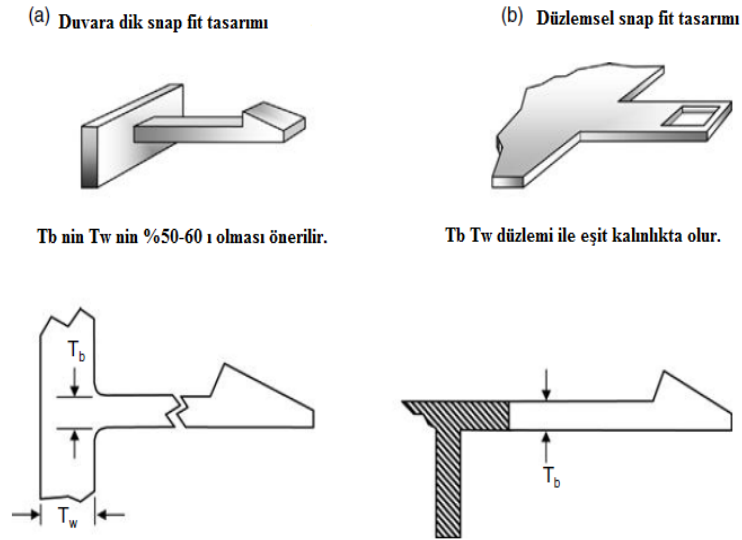
Şekil 3.9’da verilen bu semboller tüm kiriş biçimli esnek bağlantı tipleri için hesaplarımızda kullanacağımız semboller olup ileriki bölümlerde açıklanacaktır. Değişik kesitlerde sapma (f) ve ayırma kuvveti (Q) Çizelge 3.4’te şekilleri ile beraber verilmiştir.

Çizelge 3.4. Değişik kesitler için f ve Q formülleri (Maszewski, 1999)

	A: Dörtgen	B: Trapez	C: Halka Biçim	D: Düzensiz
				
1  $h_1:h_0=1:1$ $b_1:b_0=1:1$	$f = 0.67 \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h_0}$	$f = \frac{a+b^{\ast}}{2a+b} \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h_0}$	$f = C^{\ast\ast\ast} \frac{\varepsilon \cdot l^2}{r_2}$	$f = \frac{1}{3} \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{e^{\ast}}$
2  $h_1:h_0=1:2.5$ $b_1:b_0=1:1.0$	$f = 1.20 \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h_0}$	$f = 1.79 \frac{a+b^{\ast}}{2a+b} \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h_0}$	$f = 1.79 \cdot C^{\ast\ast\ast} \frac{\varepsilon \cdot l^2}{r_2}$	$f = 0.60 \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{e^{\ast}}$
3  $h_1:h_0=1:1$ $b_1:b_0=1:4$	$f = 0.82 \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h_0}$	$f = 1.22 \frac{a+b^{\ast}}{2a+b} \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{h}$	$f = 1.22 \cdot C^{\ast\ast\ast} \frac{\varepsilon \cdot l^2}{r_2}$	$f = 0.41 \cdot \frac{\varepsilon \cdot l^2}{e^{\ast}}$
	$Q = \frac{W^{\ast}}{6} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon}{l}$	$Q = \frac{W^{\ast}}{12} \cdot \frac{a^2 + 4ab + b^2}{2a+b} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon}{l}$	$Q = W^{\ast} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon}{l}$	$Q = W^{\ast} \cdot \frac{E_s \cdot \varepsilon}{l}$

3.2.1. Temel Kiriş Kalınlığı

Tasarımda ilk olarak eşleşmiş çiftlerin boyutları belirlenmelidir. Kiriş bir duvardan ya da bir yüzeyden birkaç şekilde uzatılabilir. Bunların en yaygını yüzeyden 90 derece çıkıntı ve düzlemden çıkıntı şeklinde olabilir. Eğer kiriş duvardan bir çıkıntı şeklinde ise (Şekil 3.10) optimum tasarım için kiriş kalınlığı duvar kalınlığının %50-60'ı olmalıdır. Kirişlerin kalınlığı bu duvar kalınlığının % 50'sinden daha ince olmamalıdır. Akış problemlerinden dolayı % 60'dan daha fazla olursa kalın kesit yüzünden soğuma problemlerine, boşluklara ve iç gerilmelere sebep olabilir. Kiriş düzlemden uzuyorsa kiriş kalınlığı duvar kalınlığına eşit olmalıdır. Ayrıca kiriş kalınlığı kiriş uzunluğunun 1:3 oranından az olmamalıdır. (Bonenberg, 2005)



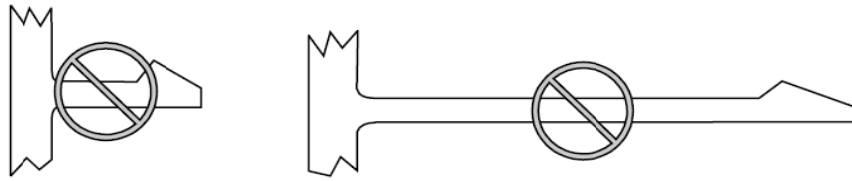
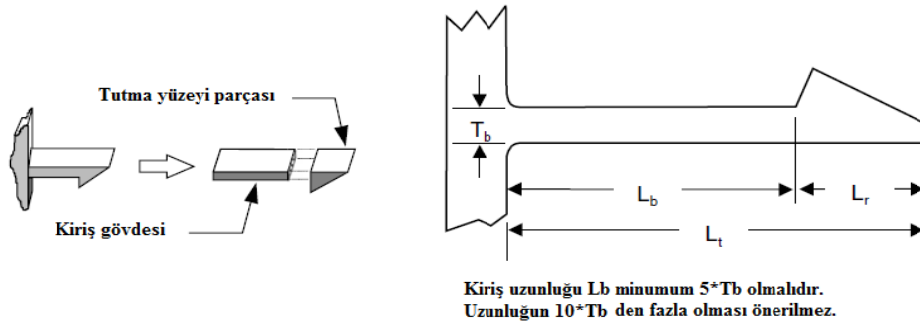
Şekil 3.10 Kiriş uzunluğu ile genişliği arasındaki ilişki (Bonenberg, 2005)

3.2.2. Kiriş Uzunluğu

Toplam kiriş kancası uzunluğu (L_t), kiriş uzunluğu (L_b) ve kiriş ucu çıkıntı uzunluğu (L_r) Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Pratikte kiriş uzunluğunun duvar kalınlığının 10 katından fazla olması uzun bir kiriş olduğunun göstergesidir ve kirişin aşırı esnek davranış göstermesine neden olur bu da tutma gücünü zayıflatır.

Bununla beraber kiriş uzunluğunun duvar kalınlığının 5 katından az olması aşırı kısa kiriş anlamına gelmektedir ve duvar dibinde eğilme kuvvetinin etkisinin artmasına sebebiyet

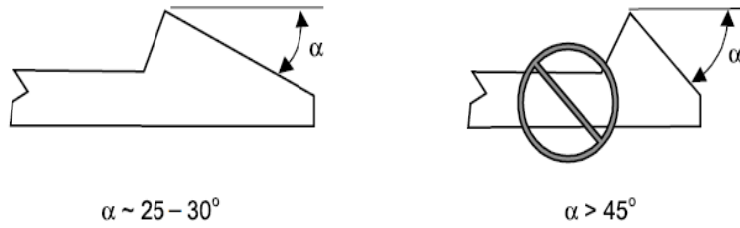
vererek kesme etkisini artırır. Yukarıda verilen bu bilgiler deneysel bilgilerdir ve optimum tasarım için esas alınabilir.



Şekil 3.11. Kiriş uzunlukları (Bonnenberger, 2005)

3.2.3. Montaj Yüzey Açısı

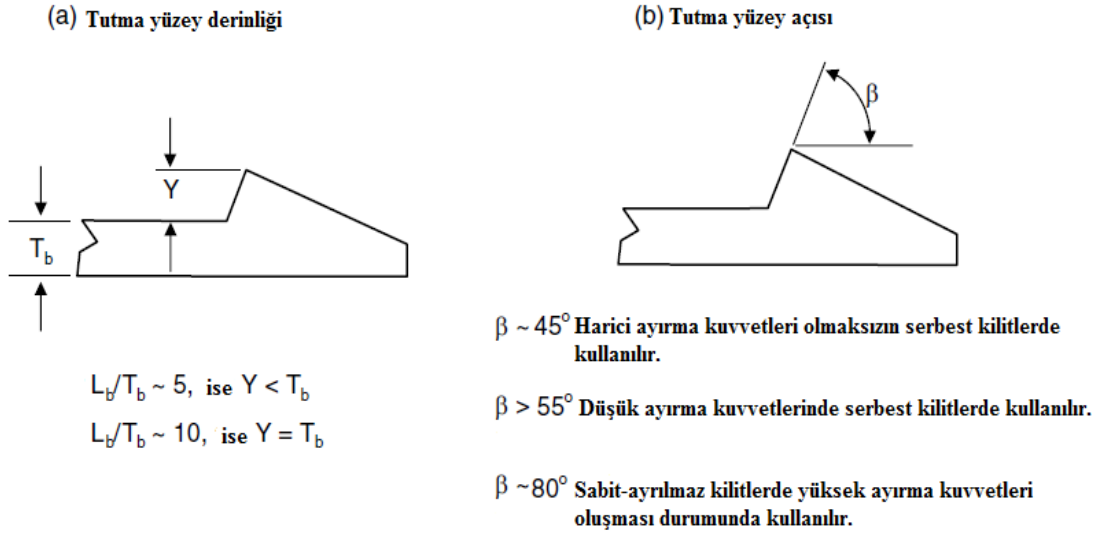
Montaj yüzey açısının değeri montaj kuvvetlerini etkiler. Dik açılar büyük montaj kuvvetlerine sebep olmaktadır. Montaj yüzey açısının küçük olması çift çalışan parçaların temas yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvvetini azaltacağından bu parçalar arasındaki montaj kuvvetinin de küçük olması anlamına gelmektedir. (Şekil 3.12) Montaj yüzey açısının ($25-35^\circ$) arasında seçilmesi uygundur. 45° ve üstündeki açılardan montaj zorluğu sebebiyle kaçınılmalıdır.



Şekil 3.12 Optimum montaj yüzey açısı (Bonnenberger, 2005)

3.2.4. Tutma Yüzey Derinliği

Tutma yüzey derinliği (Y), kesme derinliği olarak da adlandırılır. Birleşme ve ayrılma durumlarında Şekil 3.13'te gösterildiği gibi değerlendirilir. Ayrılma; eşleşen çiftlerin istenmeyen serbest bir kuvvet tarafından veya demontaj için kaynağı bilinen bir kuvvet nedeniyle birbirinden ayrılması anlamına gelmektedir. Kiriş uzunluğu (L_b), kalınlığı (T_b) arasında oransal olarak 5:1 gibi bir oran olması halinde tutma yüzey derinliği (Y) kiriş kalınlığından daha az olmalıdır. L_b/T_b arasında oransal olarak 10:1 oranı olması tutma yüzey derinliğinin, kiriş kalınlığına (T_b) eşit olması demektir. Sert ve kırılğan plastik malzemeler yumuşak malzemelere göre daha düşük sapma gösterir.



Şekil 3.13. Tutma yüzey açısının optimum değeri (Bonenberger,2005)

Genellikle kiriş ucu montaj durumunda basma kuvveti etkisinde kalırken ayrılma durumunda çekme kuvveti etkisini göstermektedir. Bu durumda tutma yüzey derinliği $Y=\delta$ sapmaya eşit olacaktır. Bu ayırma durumunda parçaların tam olarak birbirini tutma anında ayrılma kuvvetlerinin kendi tarafsız eksenine olabildiğince yakın bir kiriş olmasına ve kiriş sonuna doğru rotasyonel kuvvetlerinin minimize edilmesine yardımcı olur. Analiz hesaplamalarının temelinde malzemelerin bilinen şekil değiştirme limitlerinde maksimum izin

verilebilir sapma belirlenebilir. Ardından maksimum tutma yüzey derinliği maksimum izin verilebilir sapmaya eşitlenerek ayarlanabilir. (Gaurav, 2002)

3.2.5. Tutma Yüzey Açısı

Tutma yüzey açısı gerek tutma ve gerekse de ayırma durumlarında mekanik davranışları etkileyecektir. (Şekil 3.13) Açının dik olması yüksek tutma gücü ve yüksek demontaj kuvvetini doğurur. Harici ayırma kuvvetleri bulunmayan serbest kilitlerde tutma yüzey açısı 35° kabul edilebilir bir açıdır. Bu açının yaklaşık 90° olması eşleşen çiftlerin temas yüzeyleri boyunca oluşan şekil bağı ile bağlantısını sağlar. Eğer uygulamada yüksek sayıda tekrarlı bir kullanım döngüsü söz konusu ise düşük açı tercih edilmelidir aksi durumda daha büyük bir açı söz konusu olabilir. Eğer kilit değişik kuvvetlere maruz kalırsa kalıcı kilit olarak tasarlanmalıdır. Tutma yüzey açısı 90° ye yakın tutulmalıdır. Genellikle sürtünme etkileri nedeniyle bu açı değeri sınırlı eşik açısı gibi davranış gösterecektir. Birbirine temas eden yüzeyler arasında oluşan sürtünme sebebiyle, açının 90° den küçük olması durumunda bu açı sanki 90° imiş gibi davranış gösterir. Eşik açısı sürtünme kuvvetine bağlı olarak aşağıda yer alan formülle bulunabilir. (Bonenberger, 2005)

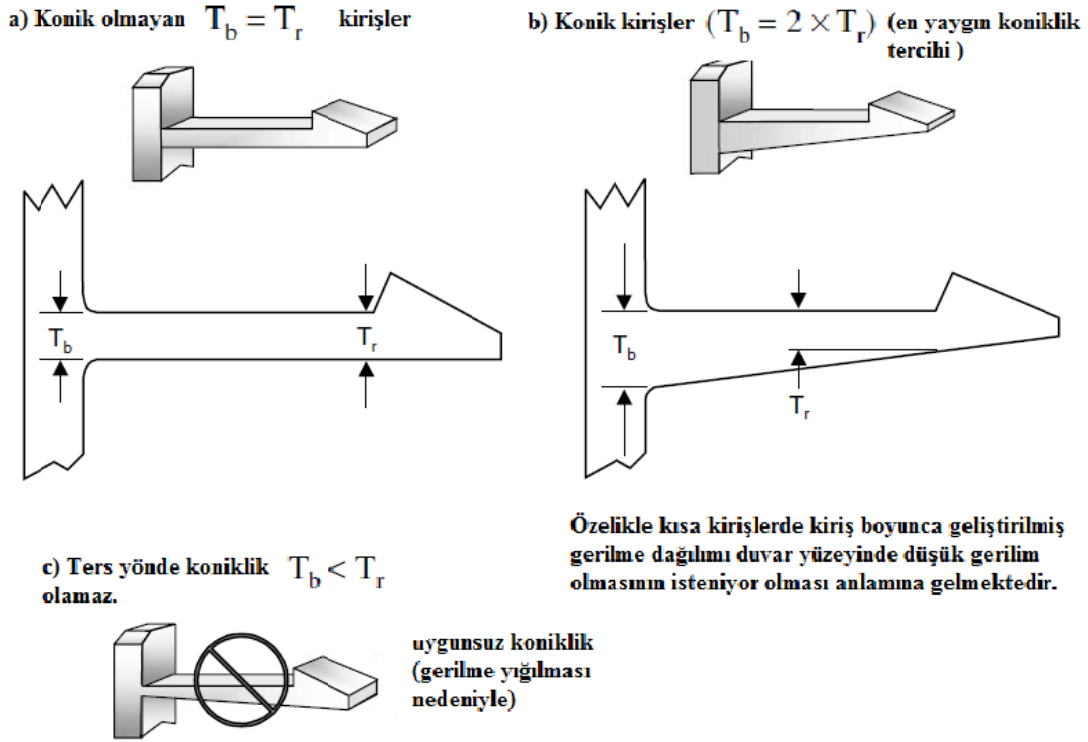
$$\beta_{\text{eşik}} = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\mu} \right) \quad (3.1)$$

Eşik açısının 90° olması eşleşen parçaların montaj zorluğu yaşamaması, aşırı bir sürtünme kuvveti oluşması ve kiriş ucunun iç kısmında kesme zorlamasına (tasarımın dayanıklılığını aza indirger) sebep olabilir. Bazen eşik açısının 90° ye yakın bir açı olarak kullanılması istenilebilir. Bu şekilde ki tasarımlar daha büyük boyutsal kararlılık ve sağlamlığa sahip olmalıdır. (Gaurav, 2002)

3.2.6. Kiriş Kalınlığı ve Tutma Özellikleri

Sabit kesitli bağlantı parçalarında tutma yüzeyinde (Tr) kiriş kalınlığı başlangıç noktasının kiriş kalınlığına (Tb) eşit olmaktadır. (Şekil 3.14.a) Bununla beraber kesiti gittikçe azalan konik parçalarda başlangıç noktasında şekil değiştirmenin fazlaca olduğu durumlarda kiriş uzunluğu boyunca başlangıç noktasından itibaren gittikçe incelen bir kesit görülmektedir. (Şekil 3. 14b)

Bu durumda yaygın olarak kiriş koniklik oranı ($T_b:T_r$) 1.25:1 olmalıdır. Kısa kirişlerde % 60'a varan konikleşmeler olabilir. Ancak gittikçe azalan kesitli kirişlerde tutma gücü de azalacaktır. Kesit incilmesi kiriş uç yüzeyinden başlangıç noktasına doğru olmamalıdır. (Şekil 3.14c) (Bonenberger, 2005)



Şekil 3.14 Konikliğin tasarıma etkisi (Bonenberger,2005)

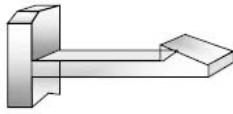
3.2.7. Kiriş Genişliği

Birçok kirişte kiriş genişliği başlangıç noktasından uç noktasına kadar sabit bir genişliğe sahiptir. Kiriş genişliği montajda maksimum şekil değiştirmeyi etkilememekte fakat birleştirme, ayrılma kuvvetleri ve tutma gücünü etkilemektedir. Buradan aslında şekil değiştirmenin kiriş genişliğinin bir fonksiyonu olmadığını, sabit kiriş genişliğinin kiriş gücünü etkilediği ve şekil değiştirmeye bağımlı olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 3.15a). Daha fazla tutma gücüne ihtiyaç duyulduğunda kiriş kalınlığının artırılması alternatif bir çözüm olabilir.

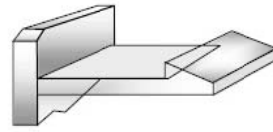
Kiriş teorisine göre uygulamalarda, kiriş genişliği kiriş uzunluğundan daha az veya en fazla eşit olmalıdır (Şekil 3.15b). Kiriş genişliğinin kiriş uzunluğunun $\frac{1}{2}$ ' sinden büyük olması durumunda kiriş plaka gibi davranış gösterir. Kirişlerde kiriş genişliği boyunca koniklik olabilir. Hem genişlik hem de kalınlık boyunca koniklik de olabilir (Şekil 3.15c). Kiriş genişliği boyunca konikleşme duvardan kiriş ucuna doğru 4:1 oranından ve kalınlıkta kiriş ucundan duvara doğru 2:1 oranından fazla olması uygun değildir.

(a) Genişlikte koniklik yoksa $W_b = W_r$

Düşük montaj ve tutma gücü

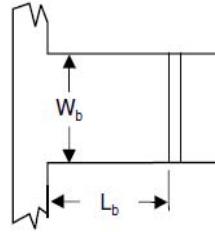
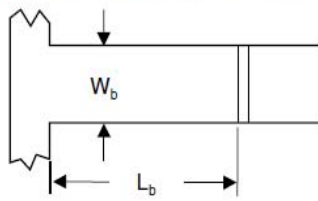


Yüksek montaj ve tutma gücü



Diğer taraftan eş tasarım parçası için, maksimum şekil değiştirmeyi kiriş genişliği etkilemez.

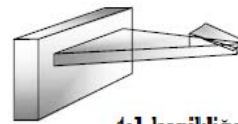
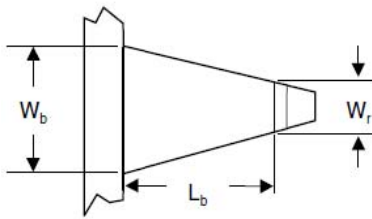
(b) Yüksek kiriş genişliğinin etkisi



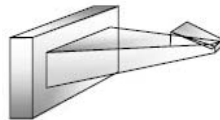
Bu kiriş düzlem kiriş misali davranış gösterir.

Kiriş genişliği ile uzunluğu arasında ki ilişkiye göre kiriş normal kiriş veya düzlem yüzeili kiriş gibi davranış gösterir. Bu oranda W_b arttıkça kiriş düzlem-plaka gibi davranış gösterir. $W_b > L_b$

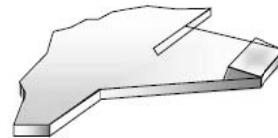
(c) Kiriş genişliği boyunca konikleşen kirişler



4:1 konikliğe sahip kirişler



Hem kalınlık ve hemde genişlikte konik kirişler



Kenara doğru genişleyen kirişler

Şekil 3.15. Kalınlık ve genişlikte konikliğin değişimi (Bonenberger, 2005)

3.2.8. Başlangıç Şekil Değiştirmelerinin Değerlendirilmesi

Sabit kesitli kiriş biçimli esnek bağlantılarda uç boyutları, kalınlık, sapma ve uzunluk değerlerini bilindiği varsayımı yapılarak aşağıdaki formül ile montaj durumunda maksimum şekil değiştirme hesaplanabilir.

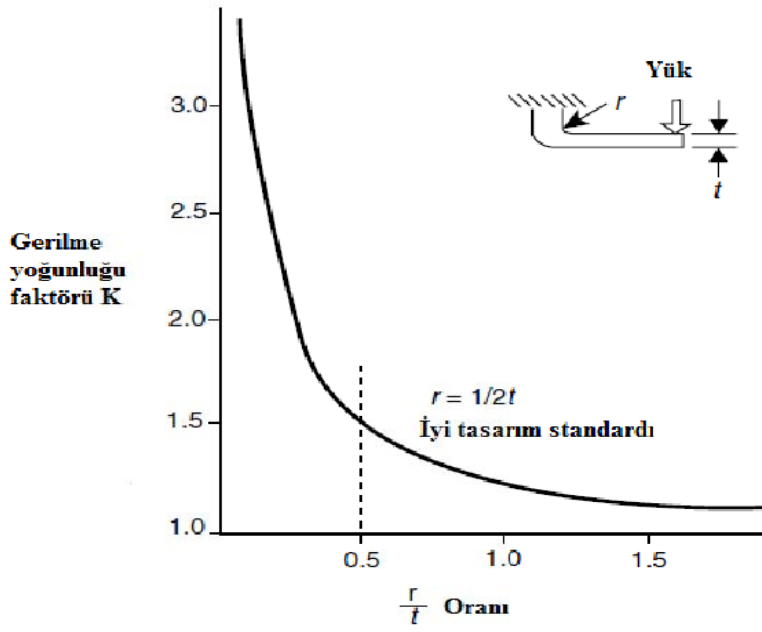
$$\varepsilon_{\text{başlangıç}} = 1,5 \cdot \frac{Tb \cdot \delta}{L^2} \quad (3.2)$$

Sonuçlar izin verilebilir maksimum şekil değiştirme ile karşılaştırılabilir. Bu ön hesapla amaçlanan, uç tasarımının maksimum şekil değiştirme için uygunluğunu görmektir. Hesaplanan şekil değiştirme izin verilebilir şekil değiştirmenin % 50 sinden büyükse endişe edilmemelidir. Diğer taraftan, eğer hesaplamalarda maksimum şekil değiştirme izin verilebilir şekil değiştirmeyi fazla aşıyorsa, (% 100 veya daha fazla) başlangıçta kiriş boyutlarının (kalınlık, uzunluk veya tutma yüzey derinliği) değiştirilmesi gereklidir (Bonenberger, 2005) .

3.2.9. Gerilme Yığılmaları İçin Düzenlemeler

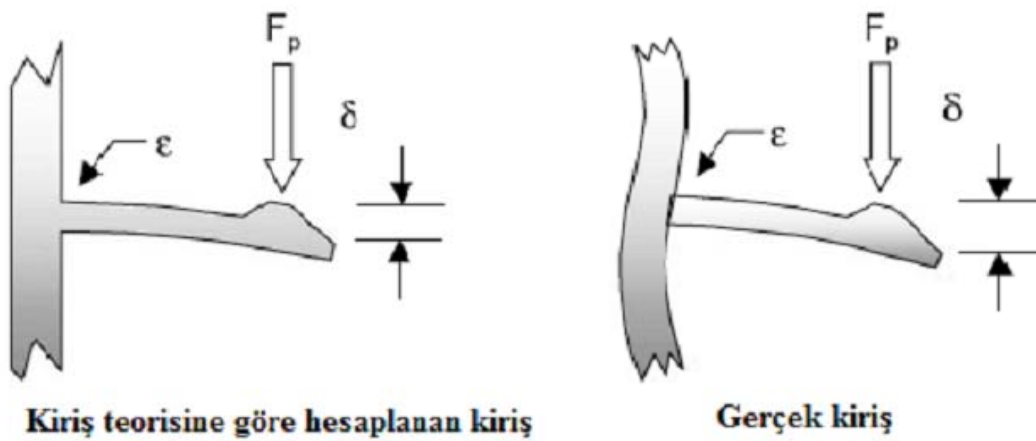
Esneyerek bağlanan kiriş biçimli parçalarda gerilme yığılmalarının olduğu kiriş duvar birleşim yerinde ani şekil değişiklikleri meydana gelebilir. Gerilme yığılmaları kiriş teorisine göre hesaplanan şekil değiştirme ve eşleşen parçalar arasında oluşan gerçek şekil değiştirmeyi artırma eğilimindedir. Gerilmenin olduğu bu alanda oluşturulacak radyüs bu gerilmenin etkilerini azaltacaktır. Ancak tamamıyla yok edilemez. Şekil 3.16'da gerilme yığılma faktörü eğrisi (k) göstermektedir. K faktörü duvara birleşme noktasında kiriş kalınlığı (t) nin oluşturulacak radyüsün (r) oranına bağlıdır. Grafikte gösterilen k=1.5 değeri uygun bir değerdir. Gerilme yoğunluğu faktörünün 1.0 olması çok kullanışlı olmamaktadır. Çünkü bu değer için çok büyük radyüs çapı gereklidir ve kalıntı gerilmeler oluşabilir. Denklem 3.3'te gösterildiği gibi hesaplanan tasarım şekil değiştirmesi izin verilebilir maksimum şekil değiştirmeden düşük bir değere sahip olmalıdır.

$$\varepsilon_{\text{hesaplanan}} < \varepsilon_{\text{maks.}} \quad (3.3)$$



Şekil 3.16. Gerilme yığılma faktörü, k grafiği (Bononberger, 2005)

Esneyerek bağlanabilen kiriş biçimli parçaların kuvvet etkisi altında kiriş boyunca oluşan sapmanın yanı sıra bu kirişin mesnet aldığı duvar yüzeyinde de sapsmalar meydana gelmektedir (Şekil 3.17). Bunun sebebi sapma büyüklük faktörü Q 'dur. Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6 da verilen Q değerleri sabit kesitli ve kalınlık/koniklik oranı 2:1 olan kirişler içindir.



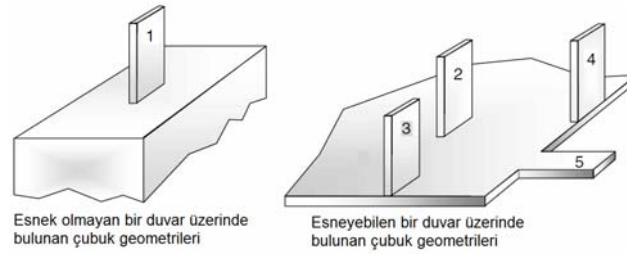
Şekil 3.17. Duvarda oluşan sapma (Bononberger,2005)

Sapma büyüklük faktörü Q göz önünde bulundurularak yapılan şekil değiştirme ve montaj kuvveti hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$\varepsilon = 1.5 \cdot \frac{Tb \cdot \delta}{L^2 \cdot Q} \quad (3.4)$$

$$F_p = \frac{Wb \cdot Tb^2 \cdot E \cdot \varepsilon}{6 \cdot Lb \cdot Q} \quad (3.5)$$

Çizelge 3.5. Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde Q Sapma Faktörü (Bonenberger, 2005)



Sabit dikdörtgen kesitli kirişlerde çeşitli kiriş-duvar konfigürasyonlarında sapma büyüklük faktörü Q değerleri

	1	2	3	4	5
	Katı duvarda kiriş	Kiriş ve duvar iç alanı	Duvar ve kenarlarda kiriş	Duvar ve paralel kenarlara sahip kiriş	Düzlem kiriş ile duvara kenar
L_b/T_b					
1.5	1.60	2.12	2.40	6.50	8.00
2.0	1.35	1.70	1.90	4.60	5.50
2.5	1.22	1.45	1.65	3.50	4.00
3.0	1.17	1.35	1.45	2.82	3.15
3.5	1.15	1.28	1.38	2.4	2.65
4.0	1.14	1.25	1.36	2.25	2.40
4.5	1.13	1.23	1.33	2.10	2.20
5.0	1.12	1.21	1.28	1.95	2.10
5.5	1.11	1.19	1.27	1.85	1.95
6.0	1.10	1.17	1.25	1.75	1.85
6.5	1.09	1.15	1.24	1.70	1.80
7.0	1.08	1.13	1.22	1.65	1.75
7.5	1.07	1.11	1.2	1.60	1.70
8.0	1.06	1.10	1.19	1.55	1.65
8.5	1.05	1.09	1.18	1.5	1.60
9.0	1.04	1.08	1.17	1.45	1.57
9.5	1.03	1.07	1.16	1.4	1.55
10.0	1.02	1.06	1.16	1.38	1.52
10.5	1.01	1.05	1.15	1.36	1.50
11.0	1.00	1.04	1.15	1.35	1.47

Çizelge 3.6. Dikdörtgen Konik Kesitli Kirişlerde Q Değerleri (Uzunluk/Kalınlığı Koniklik Oranı 2:1)
(Bonenberger, 2005)

L_b/T_b	Kiriş duvar konfigürasyonları *		L_b/T_b	Kiriş duvar konfigürasyonları *	
	2T	5T		2T	5T
	Kiriş ve iç duvar yüzey alanı	Düzlem kenarında kiriş		Kiriş ve iç duvar yüzey alanı	Düzlem kenarında kiriş
	⊥			⊥	
2.0	1.60	3.50	7.0	1.14	1.52
2.5	1.50	3.00	7.5	1.13	1.47
3.0	1.40	2.50	8.0	1.13	1.43
3.5	1.33	2.25	8.5	1.12	1.40
4.0	1.25	2.05	9.0	1.12	1.38
4.5	1.22	1.90	9.5	1.11	1.35
5.0	1.20	1.80	10.0	1.11	1.32
5.5	1.17	1.70	10.5	1.10	1.30
6.0	1.15	1.65	11.0	1.10	1.28
6.5	1.14	1.58	—	—	—

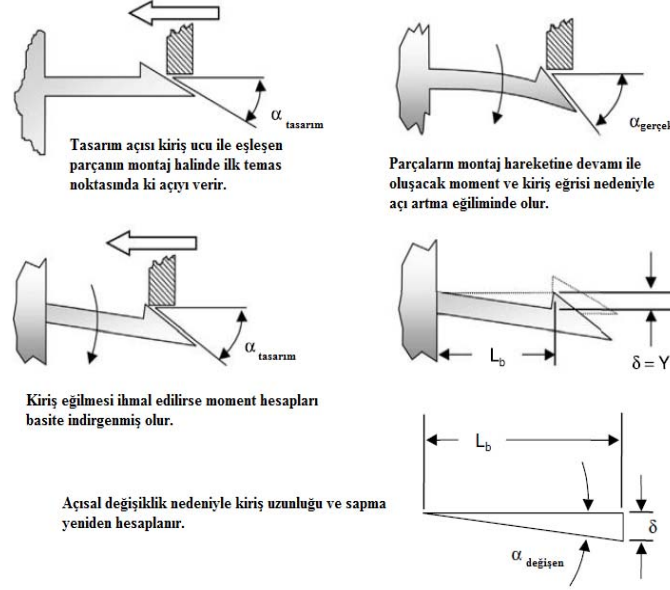
3.2.10. Efektif Açı İçin Yapılan Kabuller

Bir çok çalışmada verilen kiriş kesitli snap fit hesaplamalarında montaj yüzey açısı (α) ve tutma yüzey açısı (β) göz ardı edilmemelidir. Bu açılar yapılacak tasarımın işlevselliğine göre seçilebilir. Tasarımda optimum (α) montaj yüzey açısı 35° - 45° arasında seçilebilir. Bunun üzerindeki açılar eşleşecek çiftlerin bağlantılarını zorlaştırır. Tutma yüzey açısı (β) ise sökülebilir bağlantılarda 45° - 60° arasında sabit bağlantılarda ise 60° - 90° arasında olabilir. Gerçekte montaj ve tutma yüzey açısı uç kısmın sapması ile birlikte önemli ölçüde değişmektedir. Bu değişimler montaj kuvveti ve tutma gücünü önemli ölçüde etkilerler. Gerçek açılar montaj yüzeyi ve tutma yüzeyi etkin açıları yansıtacak şekilde ayarlanmalıdır. Eğer montaj ve tutma yüzey açıları göz ardı edilirse hesaplanan montaj kuvveti gerçeğinden daha düşük ve hesaplanan tutma gücü gerçeğinden daha yüksek çıkar. Uç yüzeyinde maksimum açı oluştuğunda maksimum montaj sapması oluşur. Maksimum montaj kuvvetinin hesaplanmasında ilk önce bu noktadaki etkin açı belirlenmelidir. (Şekil 3.18) Uç yüzey açısında ki değişiklikler aşağıdaki formülle hesaplanabilir. (Gaurav, 2002)

$$\Delta\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\delta_{maks}}{Le} \right) \quad (3.6)$$

Kiriş kalınlığına göre uzun olduğundan dolayı veya konikse eğilme önemli bir parametre halini alır. Kiriş eğilmesinin hesaplanabileceği çok karışık hesaplamalar vardır ancak gereksizdir. Açıdaki değişiklik montaj yüzeyi tasarım açısının verilen etkin yüzey açısına eklenmesi anlamına gelmektedir (Bonenberger, 2005).

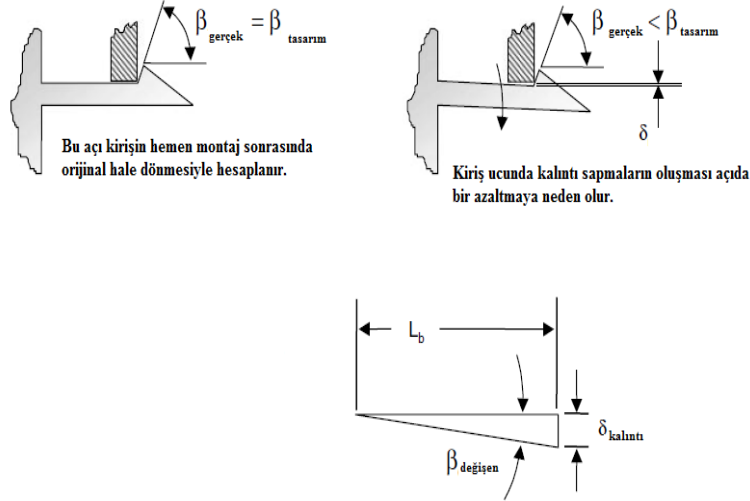
$$\alpha_{\text{etkin}} = \alpha_{\text{maks.}} = \alpha_{\text{tasarım}} + \Delta\alpha \quad (3.7)$$



Şekil 3.18. Montaj yüzeyi için etkin açının belirlenmesi (Bonenberger, 2005)

Tutma yüzeyi için ayrılma sırasında açısal değişiklikle tasarım açısı azalır ve sonuçta beklenenden düşük ayrılma kuvveti oluşur (Şekil 3.19). Maksimum ayrılma kuvveti oluştuğunda bu analizle montaj yüzeyi hesaplanması daha zor olur. Benzer şekilde ayrılma hareketi olursa sürekli azalan tutma yüzey açısı ve yükselen kiriş sapma kuvveti birbirini dengelemek için değişiklikler gösterecektir. Tam olarak birbirine geçme durumu; bu durum montaj sonrasında kiriş ucunun son kilit pozisyonu olması halinde geçerlidir. Sehim sıfır olabilir veya bazı kalıntı sapmalar vardır. Teorik olarak ayırma kuvveti bu noktada sıfıra çok yakındır ve pratikte sıfır olarak düşünülebilir. Gerçekte ise bu kuvvet yüksek değerlerde statik sürtünme katsayısı değeri tasarım tutma yüzey açısı düşük kiriş sapma kuvveti gibi düşük değerler göz önüne alınarak hesaplanır. Eğer kalıntı sapmalar varsa maksimum kalıntı sapma kuvveti ve etkin açı hesaplanabilir. Ardından ayrılma kuvveti bu nokta için hesaplanabilir. Ayrılma kuvveti aşağıda yer alan varsayımlara göre bulunabilir.

Kısmi bir ayrılma durumu varsa; ayırma kuvveti değerinin hesaplanmasında diğer mantıklı bir nokta ise uç kısmında ortalama değerde bir sapma oluşmasıdır. Bu noktada sapma kuvveti maksimum ayırma kuvvetin %50'si kadardır. Bu noktada etkin ayırma açısının hesaplanmasıyla dinamik sürtünme katsayısı ve ayırma kuvvetinin hesaplanması mümkündür. Kısmi bir ayrılma söz konusu ise bu noktaya gelen sapma belirlenebilir. Son olarak tam sapma koşulunda da ayırma kuvvetinin hesaplanması gereklidir. Bu noktada, açısal değişiklik çok önemlidir. Tam sapma durumunda tutma yüzey açısı değerlerini değiştirmek Denklem 3.7 de ki hesaplanan montaj yüzeyi açısını ($\Delta\alpha$) değiştirmeye eşittir. Maksimum kiriş sapma kuvveti bilindiği için dinamik sürtünme katsayısı tahmin edilebilir. Bu değerlerle ayırma kuvveti eğrisi üzerindeki diğer noktalar bulunabilir ve bu değerler hesaplanan kısmi ayırma kuvvetleri ile karşılaştırılabilir. Eğer bu karşılaştırma eğrisi üzerinde pozitif bir değişikliği işaret ediyorsa tam sapma durumunda ayırma kuvveti maksimum tutma gücüne sahiptir demektir. Eğri üzerinde diğer birkaç noktanın hesaplanması ve çeşitli sapma düzeylerinde maksimum tutma gücünü doğrulamasını sağlayabilir. Etkin tutma yüzey açısının tüm hesaplarında benzer adımlar takip edilmelidir. İlk olarak tutma yüzey açısının seçilen sapma değerine göre göstereceği değişiklik hesaplanır.



Şekil 3.19. Kalıcı sapma ile tutma yüzey açısı arasındaki ilişki (Bonenberger, 2005)

Kiriş ucunda, $L_e = L_b$ olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılır. Ayrılma açısında ayrılma sırasında oluşan $\Delta\beta$ açısal farklılık tasarım açısından çıkarılmalıdır.

$$\Delta\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\delta_{ayr.}}{L_e} \right) \quad (3.8)$$

Açıdaki değişim miktarı orijinal tasarım açısından çıkarılır. Bu herhangi bir sapma noktasında etkin tutma yüzey açısını verir. Bu ilişki denklem 3.9-12’de verilen denklemlerle gösterilmiştir.

Tam montaj durumunda kalıcı sapma yoksa

$$\beta = \beta_{\text{tasarım}} - \Delta\beta_{\text{tam montaj}} \quad (3.9)$$

Tam montaj durumunda kalıcı sapma varsa

$$\beta_{\text{kalıcı}} = \beta_{\text{tasarım}} - \Delta\beta_{\text{kalıcı sapma}} \quad (3.10)$$

Kısmi ayrılma durumunda %50 sapma varsa

$$\beta_{\text{kısmi}} = \beta_{\text{tasarım}} - \Delta\beta_{\text{kısmi ayrılma}} \quad (3.11)$$

Tam ayrılma durumunda %100 sapma varsa

$$\beta_{\text{ayrılma}} = \beta_{\text{tasarım}} - \Delta\beta_{\text{tam sapma}} \quad (3.12)$$

Tasarım açısındaki bu ayarlamalar montaj ve ayırma kuvvetlerinin çok daha doğru tahmin edilmesini sağlar (Bonenberger, 2005).

3.2.11. Tasarımda Analiz İçin Varsayımlar

Malzeme özelliklerinde yapılan varsayımlara ek olarak klasik kiriş denklemlerinde kullanılmak üzere kiriş ve uç kısmına ilişkin belirli bir takım varsayımlar yapılmalıdır. Bunlar;

- Kiriş malzemeleri homojen ve basma durumunda benzer gerilme değerleri gösteren eşdeğer elastisite modülüne sahip olmalıdır.
- Kiriş düz veya eğilmiş iken eğilme düzleminin eğrilik yarıçapı kiriş derinliğinin 10 katından fazla olmamalıdır.
- Kiriş kesiti üniform olmalıdır.
- Kirişler uzun düzlemi boyunca simetrik olmalıdır.
- Tüm yükler ve reaksiyonlar kiriş eksenine dik doğrultuda olmalıdır.
- Kirişler kalınlığına göre daha uzun olmalıdır.
- Maksimum gerilme akma gerilmesi sınırını aşamaz.
- Uygulama yükleri darbeleri yükler olmamalıdır.

Plastik malzemelerin hesaplarında plastiklerin visko elastik davranışlarından dolayı hatalar oluşabilir. Tasarım hedeflerinin gerçek değerleriyle uyuşması ve güvenlik faktörlerinin ön planda olması gerektiği unutulmamalıdır. Varsayım ve kabullerin ihmal edilmesi hesaplanacak olan tasarımın gerçek davranış özelliklerinin daha az yansıtılması anlamı taşımaktadır. (Tieming, 2005)

3.2.12. Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde Kiriş Ucunun Analizi

Sabit dikdörtgen kesitli kirişlerde kiriş ucu yakalama ve tutmayı sağlar. Bu tasarım en çok kullanılan etkin ve verimli kullanım tarzıdır. Yapılan hesaplamalarda gerilme için verilen formüller şekil değiştirme formüllerine bağlı olarak verilmektedir.

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (3.13)$$

Tarafsız eksenden ve kiriş maksimum sapma noktasından uzakta kiriş yüzeyinde maksimum eğilme gerilmesi oluşur. Dikdörtgen kesit, kiriş biçimli esneyerek bağlantı yapabilen parçalarda en çok kullanılan kesit biçimidir ve hemen her üründe kullanılır. Sabit kesitli kirişlerde atalet momenti, eğilme, sapma aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (3.14)$$

$$Z = \frac{b \cdot h^2}{12} \quad (3.15)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{F_p \cdot L_b}{Z} \quad (3.16)$$

$$\delta = \frac{F_p \cdot b^3}{3E \cdot I} \quad (3.17)$$

I : Kesite ait atalet momenti (mm⁴)

C : Tarafsız eksenden dış yüzeye olan mesafe (mm),

Z : Kesit Modülü (mm³)

Dikdörtgen kesitlerde C değeri kiriş kalınlığının yarısıdır. Dış yüzey, en fazla çekme veya basma gerilmesinin meydana geldiği yüzeydir. (genellikle çekme dikkate alınır çünkü çekme şekil değiştirmeyi çok etkiler) (Bonenberger, 2005)

3.2.13. Maksimum Şekil Değiştirmenin Değerlendirilmesi

Hesaplmalarda malzemenin izin verilebilir maksimum şekil değiştirmesi tasarım öncesinde belirli olan tasarım şekil değiştirmesine bağlı olarak Denklem 3.17 formülü ile hesaplanır. Gerilme yoğunluk faktörü (k) Şekil 3.16' da gerilme yoğunluk grafiğinden t/r oranına bağlı olarak bulunabilir. K faktörü tasarım şekil değiştirmesinin izin verilebilir maksimum şekil değiştirmeye düşürülmesi için kullanılır. (Bonenberger, 2005)

$$\varepsilon_{\text{maks}} = \frac{\varepsilon_{\text{tasarım}}}{k} \quad (3.18)$$

Başlangıç şartlarında verilen $\varepsilon_{\text{tasarım}}$ değeri hedeflenen $\varepsilon_{\text{maks}}$ değerinden büyük olmalıdır. Hesaplanan şekil değiştirmenin verilen sapmaya göre hesaplandığı ve sapmanın da (δ) tutma yüzey derinliği (Y)ye eşit olduğu da unutulmamalıdır. (Tieming, 2005)

3.2.14. Sapma Kuvvetinin Hesaplanması

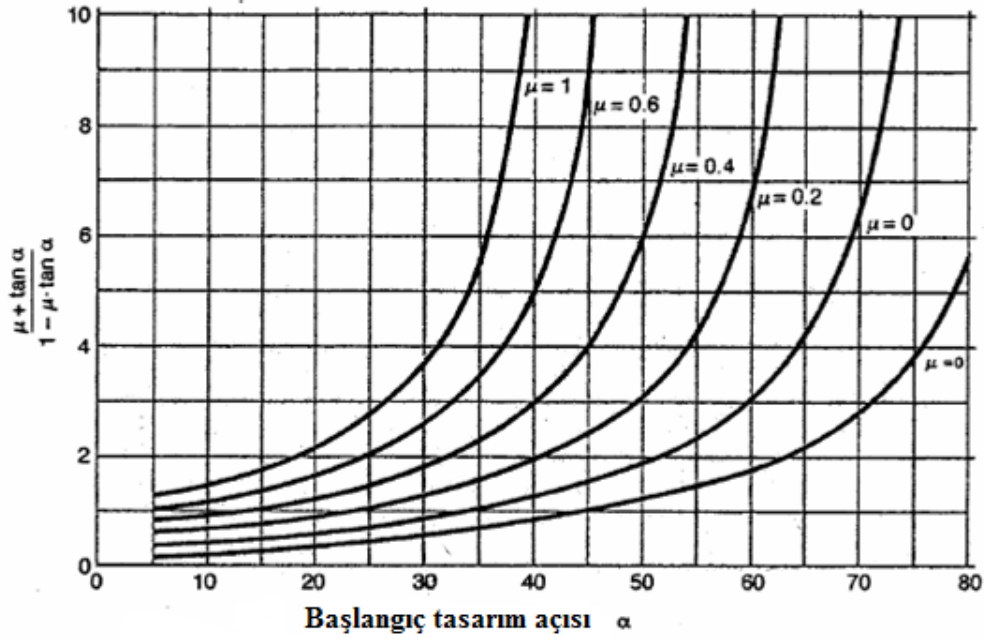
Başlangıçta şekil değiştirme değerlerinin, kiriş ucu boyutlarının ve kesit özelliklerinin bilinmesi sapma kuvvetinin bulunması için yeterlidir. Kiriş ucu boyutlarının sapma kuvvetinin bulunmasında sapma büyüklük faktörü Çizelge 3.5'ten yararlanılarak bulunabilir. Daha sonra F_p aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$F_p = \frac{Wb \cdot T b^2 \cdot E \cdot \varepsilon}{6 \cdot Lb \cdot Q} \quad (3.19)$$

Sapma kuvveti hesaplandıktan sonra kirişte oluşan maksimum sapmaya bağlı eğilme gerilmeleri bulunur. Gerçekte sapma kuvveti eşleşen parçaların temas noktalarına uygulanır ve parçaların birbirlerine temas yüzeyleri, yakalama, tutma ve montaj görevini üstlenmektedir (Bonenberger, 2005).

3.2.15. Montaj Kuvvetinin Belirlenmesi

Montaj kuvveti esneyerek bağlantı yapabilen kiriş biçimli parçalarda eşleşen parçaların bağlanabilmesi için gerekli kuvvetin değeridir ve aşağıdaki formülle bulunabilir. Formülde bilinmeyen $(\mu + \tan\alpha)/(1 - \mu \tan\alpha)$ değeri malzemelerin sürtünme katsayısı tablosundan veya aşağıda yer alan grafikten (Şekil 3.20) bulunarak hesaplara dahil edilebilir (Bonenberger, 2005).



Şekil 3.20. $(\mu + \tan\alpha) / (1 - \mu \tan\alpha)$ değerinin belirlenmesi

Maksimum montaj kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$F_{\text{montaj}} = F_p \cdot \frac{\mu + \tan\alpha}{1 - (\mu \tan\alpha)} \quad (3.20)$$

Bu formülde kullanılan montaj yüzey açısı (α) tasarımda bilinen açının değeridir. Etkin montaj yüzey açısı eşleşme süresine bağlı olarak değişiklik göstermez ve montaj kuvvetinin hesaplanmasında gereklidir. Değişen açı değeri verileri Denklem 3.21 ve 3.22 ile aşağıda hesaplanmıştır. Montaj yüzey açısına ilave edilen tasarım açısı ile maksimum montaj kuvveti hesaplanması için gerekli olan α_{etkin} bulunur. (Bonenberger, 2005)

$$\Delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\delta_{\text{gerçek}}}{L_e}\right) \quad (3.21)$$

$$\alpha_{\text{etkin}} = \alpha_{\text{tasarım}} + \Delta\alpha \quad (3.22)$$

3.2.16. Ayırma Kuvvetinin Hesaplanması

Ayırma kuvvetinin hesaplanması diğer montaj kuvvetlerinin hesaplanmasına benzerdir. Fakat burada etkin tutma yüzey açısı kullanılır.

$$F_{\text{ayırma}} = F_p \cdot \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - (\mu \tan \alpha)} \quad (3.23)$$

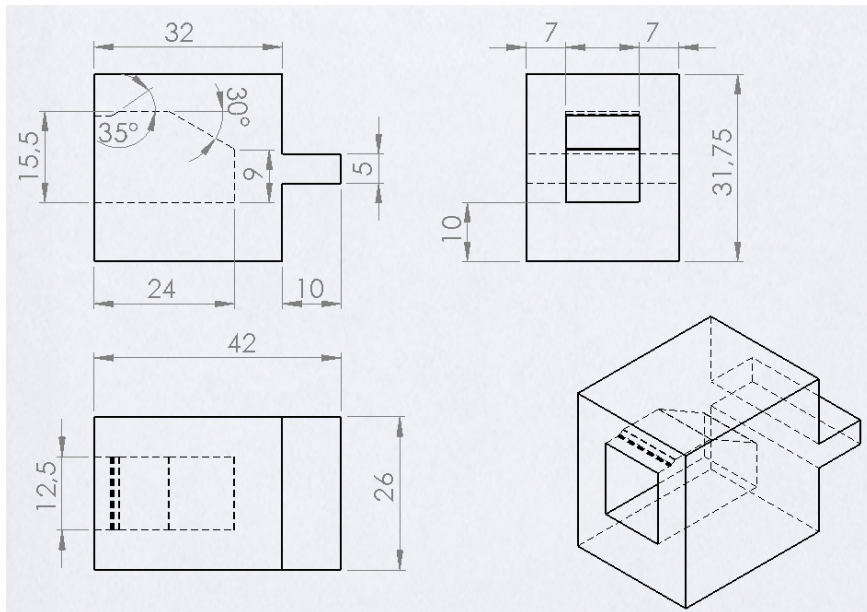
$$\beta_{\text{etkin}} = \beta_{\text{tasarım}} - \Delta\beta \quad (3.24)$$

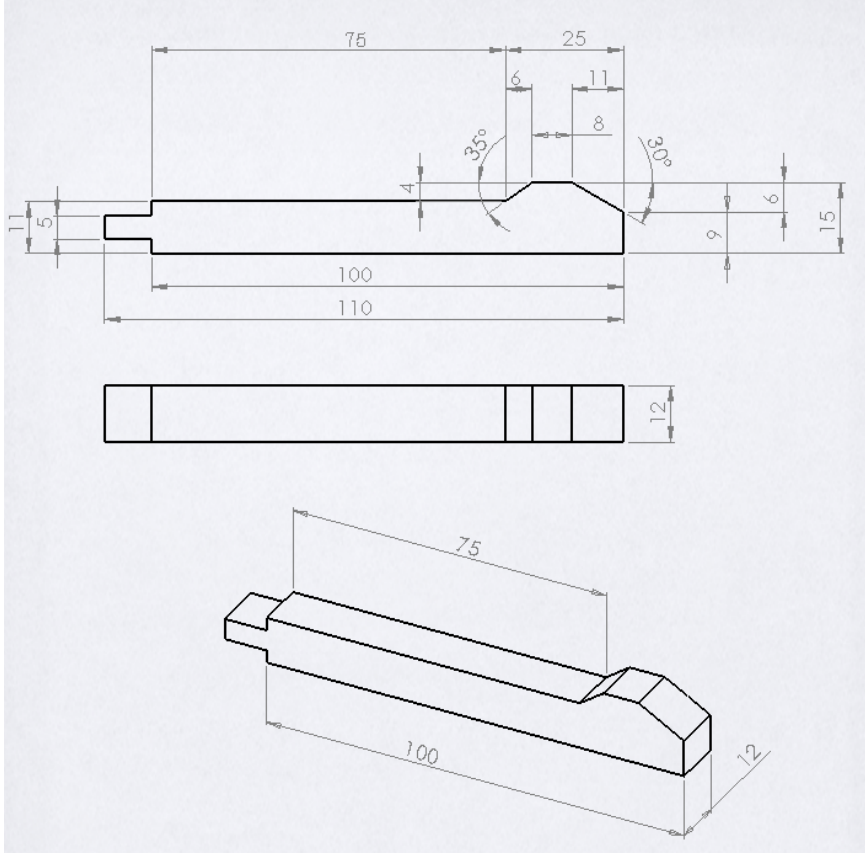
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, sıvama yöntemi ile üretilmiş, katmanları arasında boşluklar bulunan, sabit kesitli kiriş biçimli esneyerek bağlanabilen (snap-fit) plastik parçalar kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin montaj ve ayrılma kuvvetlerinin analizi amacı ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kiriş şeklindeki parçanın atalet momenti deneysel yöntem ile belirlenmiş ve instron deney cihazı kullanılarak montaj ve ayrılma kuvvetleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen değerler teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

4.1. Malzeme Seçimi ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

Esneyerek bağlantı yapılabilen sabit kesitli kiriş biçimli plastik parçaların üretimi için, kullanım sıklığı göz önünde bulundurularak ABS P430 (NAT) malzemesi seçilmiştir. Bu malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri Ek 1’de verilmiştir. Şekil 4.1’de numune çiftine ait geometri ve boyutlar gösterilmiştir.





Şekil 4.1. Numune geometrisi ve boyutları



Şekil 4.2 Hızlı prototipleme cihazına ait ABS P 430 (NAT) malzeme tamburu

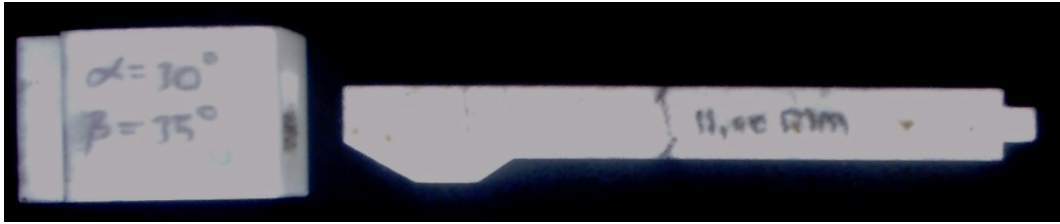
Şekil 4.2’de sicim halinde tamburlara sarılı ABS P430 malzemesi gösterilmiştir. Numune üretiminde kullanılan cihaz “ABS PLUS” modeli bir hızlı prototipleme cihazıdır (Şekil 4.3). Bu cihaz kullanılarak Şekil 4.4’te gösterilen numune çifti katmanlar arası destek tabakaları olacak şekilde üretilmiştir.

Bu cihaza ait özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- inşa zarfı : 203 x 203 x 152 mm
- katman kalınlığı : 0.254 mm
- Cihaz boyutları : 635(w) x 660(d) x 787(h) mm
- Güç : 220-240 VAC 50/60 Hz
- Ethernet : TCP/IP 10/100
- işletim sistemi : Windows® XP / Windows Vista® / Windows ® 7



Şekil 4.3. Sıvama yöntemi kullanan hızlı prototipleme cihazı

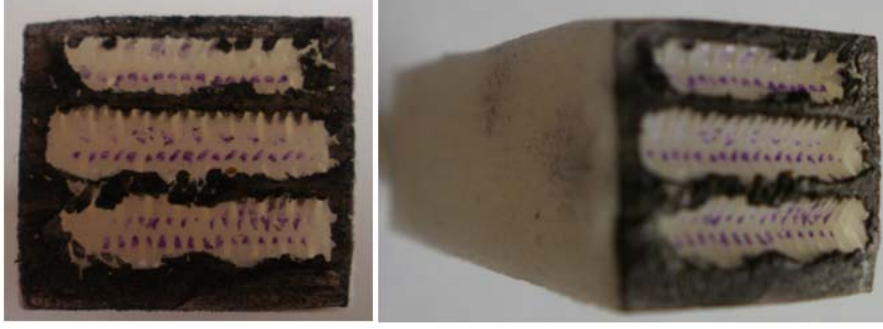


Şekil 4.4 Hızlı prototipleme cihazında sıvama yöntemi ile üretilmiş numune çifti

4.2. Kesit Atalet Momentinin Deneysel Olarak Bulunması

Sıvama yöntemi ile katmanlar arasında boşluk bırakılarak üretilen çubuk şeklindeki deney numunesinin kesit atalet momenti, destek yapıların düzensizliğinden dolayı (Şekil 4.5) teorik olarak hesaplanmamış ve deneysel olarak bulunmuştur.

Numune bir ucundan ankastre olarak mesnetlenerek diğer ucuna kuvvet uygulanmıştır. Uygulanan kuvvet ve buna karşılık oluşan çökme miktarı digital dinamometre ve lineer cetvelden oluşan bir deney tesisatı ile ölçülmüştür (Şekil 4.6)



Şekil 4.5. Kiriş kesit görünüşü



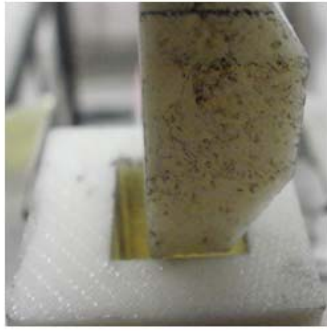
Şekil 4.6. Deneysel atalet momentinin bulunması için kurulan deney düzeneği

4.3. Montaj ve Ayrılma Kuvvetlerinin Bulunması

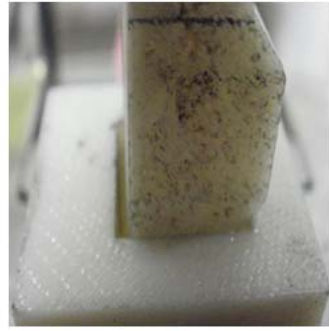
Montaj ve ayrılma kuvvetlerinin bulunması için numune çifti Instron-8501 cihazının çeneleri arasına bağlanmış ve 10 mm/dakika çekme ve basma hızları uygulanarak montaj ve ayırma işlemi yapılmıştır (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).



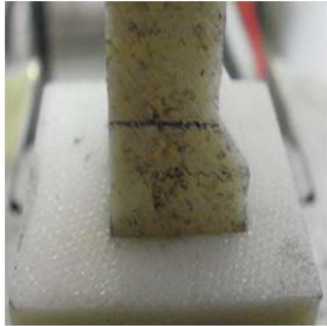
Şekil 4.7. Montaj – ayrılma kuvvetlerinin tespitinde kullanılan Instron test cihazı



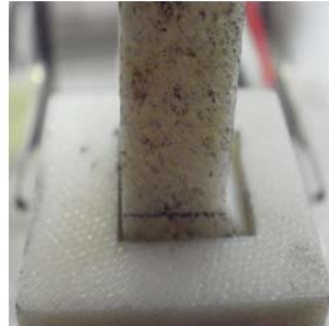
(a)



(b)



(c)

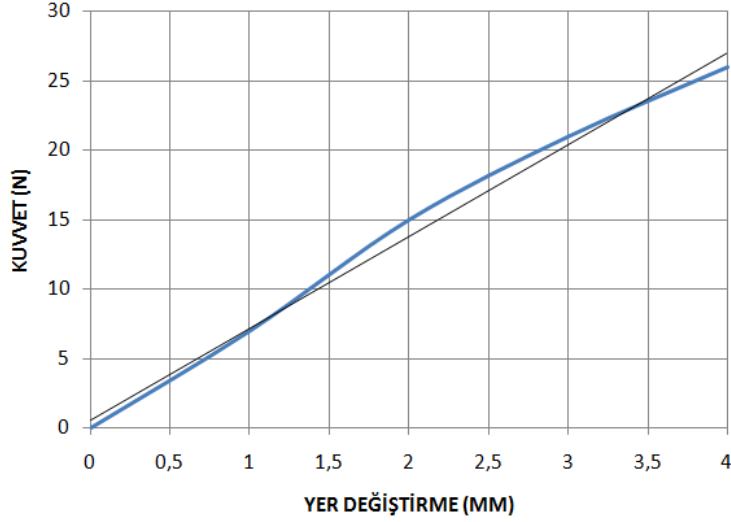


(d)

Şekil 4.8. Instron test cihazında yapılan deneyin bazı safhaları

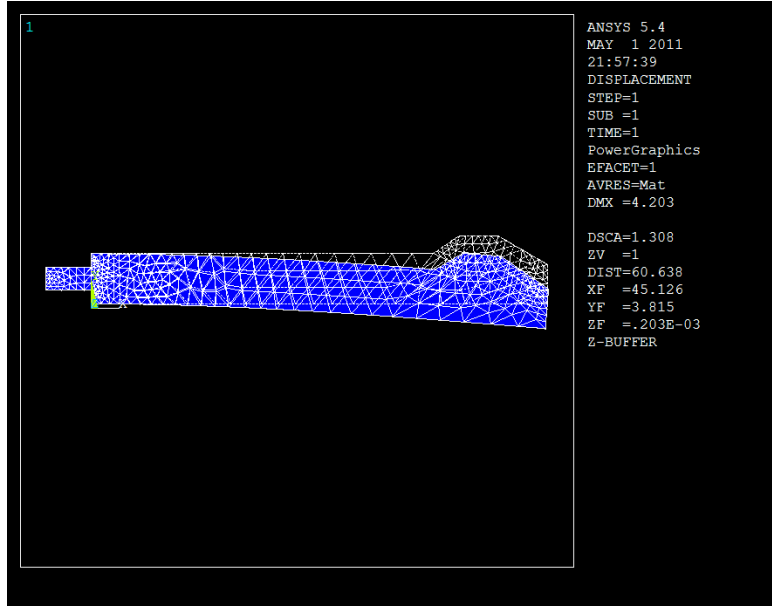
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Kiriş kesitine ait atalet momentinin bulunması amacıyla yapılan eğme deneyinden elde edilen kuvvet-yer değiştirme değerleri ile çizilen grafik Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

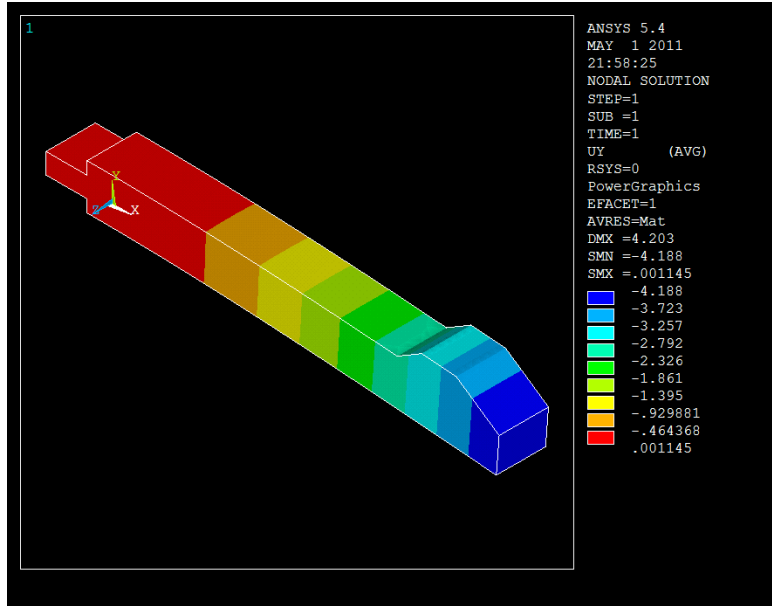


Şekil 5.1. Kiriş kuvvet-yer değiştirme grafiği

Çubuk boyu 100 mm ve seçilen malzemenin eğmede elastiklik modülü 2204 MPa (Ek-1) alınarak, deneysel olarak belirlenen değerler Denklem 3.17’de yerine konularak çubuk numunenin kesit atalet momentini 825 mm^4 olarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, çubuğun uç noktasına 25 N kuvvet uygulandığında 4 mm çökme meydana gelirken mevcut değerler kullanılarak yapılan Ansys analizinde çökme değeri 4.2 mm olarak bulunmuştur (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3).



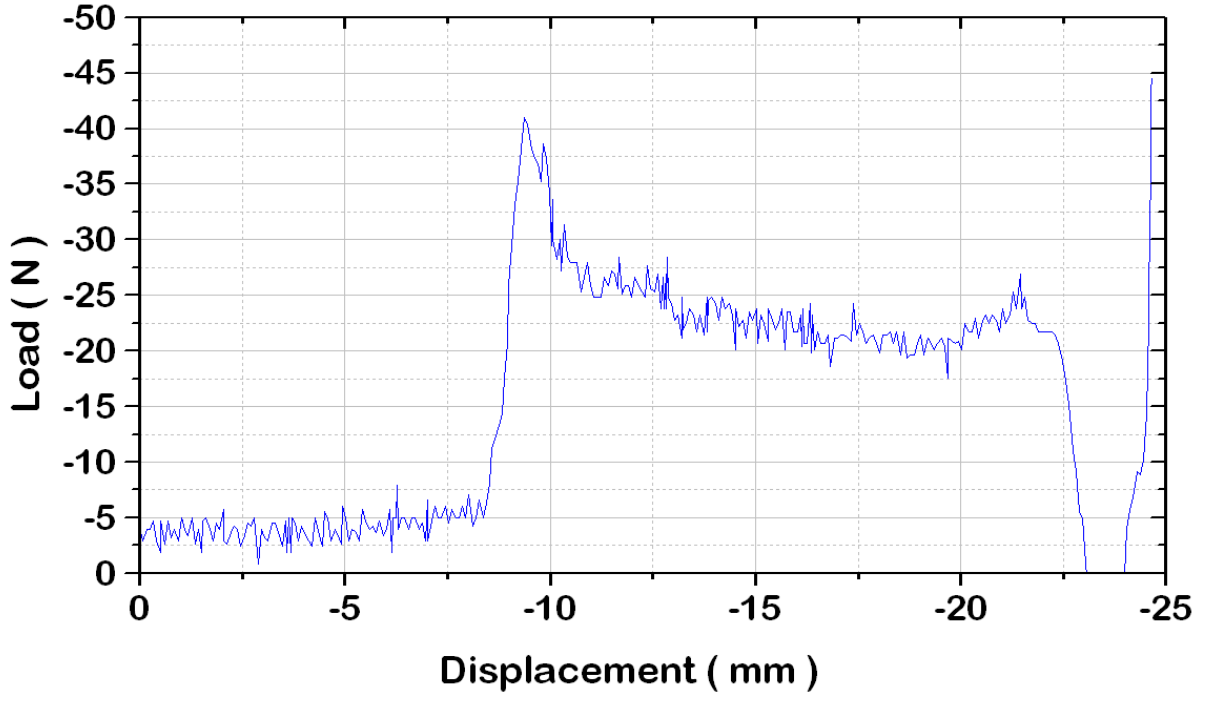
Şekil 5.2 Ansys programı analizleri ile elde edilen çökme grafiği



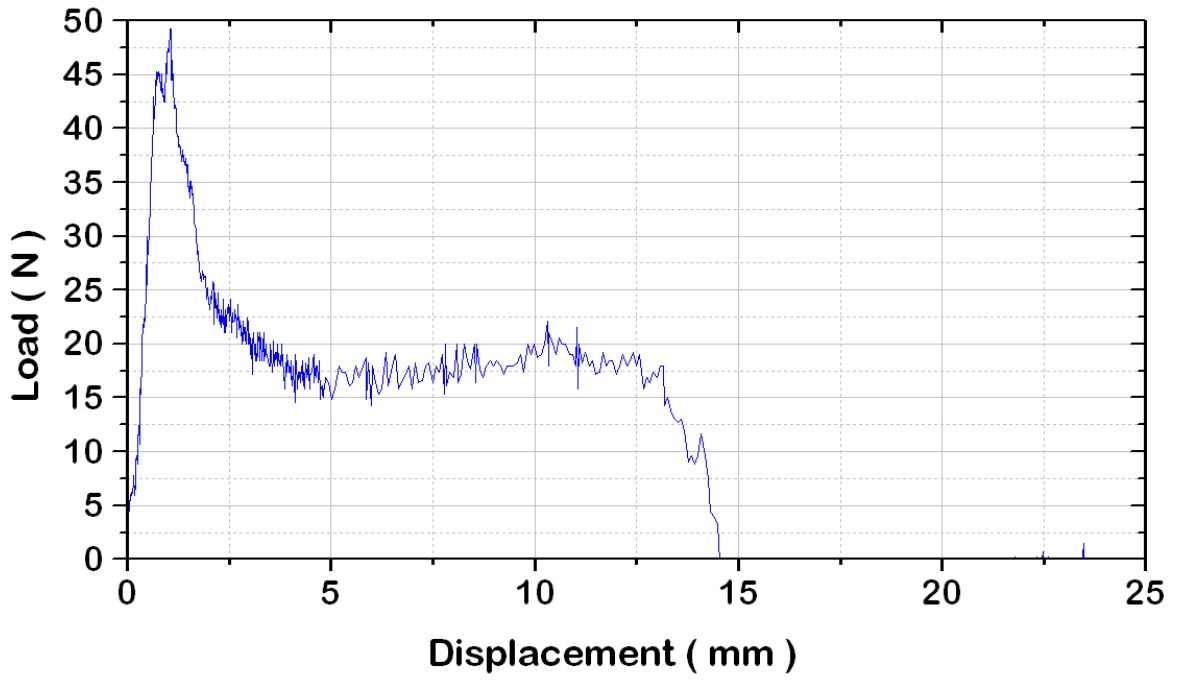
Şekil 5.3 Ansys analizleri ile elde edilen çökme değerlerinin kiriş boyunca değişimi

Instron deney cihazında yapılan montaj ve ayırma deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.

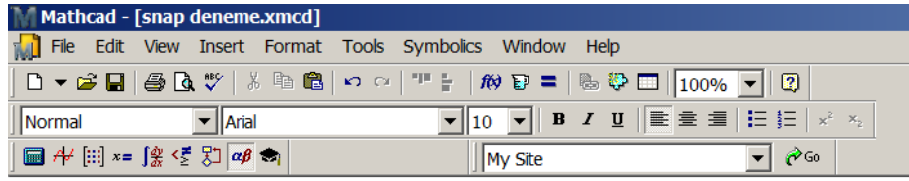
Montaj için teorik olarak 45.20 N olarak hesaplanan (Şekil 5.6) kuvvet deneysel olarak 41 N olarak bulunmuştur (Şekil 5.4). Benzer şekilde, ayırma için teorik olarak 43.18 N olarak hesaplanan (Şekil 5.6) kuvvet deneysel olarak 49 N olarak bulunmuştur (Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Instron deney cihazı ile yapılan deneyden elde edilen montaj kuvveti-yer değiştirme grafiği



Şekil 5.5 Instron deney cihazı ile yapılan deneyden elde edilen ayırma kuvveti-yer değiştirme grafiği



Sabit dikdörtgen kesitli ankastre mesnetli Snap-fit bağlantılarda birleşme ve ayrılma kuvvetlerinin hesaplanması :

Lr = Kiriş uç uzunluğu	(mm)
Lb = Kiriş ucundan duvara olan mesafe	(mm)
Lt = Toplam kiriş uzunluğu	(mm)
Tw = Kiriş duvarı kalınlığı	(mm)
Rw = Kiriş ve duvar kesişim radyüsü	(mm)
Wb = Duvar yüzeyindeki kiriş genişliği	(mm)
Y = Tutma yüzey derinliği	(mm)
Tb = Duvarda kiriş kalınlığı	(mm)
Tr = Kirişucundaki kiriş kalınlığı	(mm)
Le = Etkin giriş uzunluğu	(mm)
α = Montaj yüzey açısı	(derece)
β = Tutma yüzey açısı	(derece)
δ = Montaj sapması	(mm)
E = Elastisite modülü (secant modülü)	(MPa)
σ_{max} = Kesitte oluşan normal gerilme	(MPa)
μ = Sürtünme katsayısı	

Lb := 100	$\delta_w := 4$	$\alpha := 30$	$rd := \frac{180}{\pi}$
L := 75	$\mu := 0.55$	$\beta := 35$	
Wb := 12	E := 2204	Q := 1.07	$dr := \frac{1}{rd}$
Tb := 11	I := 825.22	k := 1.5	

$$\epsilon := 1.5 \cdot \frac{Tb \cdot \delta}{L^2 \cdot k} \quad \epsilon = 0.0078$$

$$c := \frac{Tb}{2} \quad c = 5.5$$

$$W := \frac{I}{c} \quad W = 150.04$$

$$Fp := \frac{W \cdot E \cdot \epsilon}{Lb \cdot Q} \quad Fp = 24.175$$

$$M := Fp \cdot L$$

$$\sigma_{max} := \frac{M}{W} \quad \sigma_{max} = 12.084$$

$$\Delta\alpha := rd \cdot \text{atan}\left(\frac{\delta}{L}\right) \quad \Delta\alpha = 3.053$$

$$\alpha_{eff}(\alpha) := \alpha + \Delta\alpha \quad \alpha_{eff}(\alpha) = 33.053$$

$$\Delta\beta := rd \cdot \text{atan}\left(\frac{\delta}{L}\right) \quad \Delta\beta = 3.053$$

$$\beta_{eff}(\alpha) := \beta - \Delta\beta \quad \beta_{eff}(\alpha) = 31.947$$

$$F_{montaj}(\alpha) := Fp \cdot \frac{\mu + \tan(\alpha_{eff}(\alpha) \cdot dr)}{1 - \mu \cdot \tan(\alpha_{eff}(\alpha) \cdot dr)} \quad F_{montaj}(\alpha) = 45.207$$

$$F_{sokme}(\beta) := Fp \cdot \frac{\mu + \tan(\beta_{eff}(\beta) \cdot dr)}{1 - \mu \cdot \tan(\beta_{eff}(\beta) \cdot dr)} \quad F_{sokme}(\beta) = 43.181$$

Şekil 5.6 Mathcad programı yardımıyla montaj ve ayrılma kuvvetlerinin hesaplanması

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, plastik parçaların montaj türlerinden biri olan esneyerek kilitlenen bağlantıların tasarımı incelenmiştir. Tasarlanan parça, hızlı prototipleme yöntemi ile katmanları arasında boşluklar bulunacak şekilde üretilmiş ve bu yöntemle üretilmiş sabit kesitli kirişlerin, özellikle hafifliğin ve malzeme tasarrufunun önemli olduğu esneyerek kilitlenebilen (snap-fit) bağlantılarda kullanılabileceği gösterilmiştir.

Boşluk yapısı düzgün bir geometriye sahip olmayan kirişin kesit atalet momentinin, eğilme deneyi yardımı ile deneysel yöntemle belirlenebileceği gösterilmiştir.

Kiriş kesitinin boşluklu bir yapıya sahip olması dolayısıyla, dolu kesite oranla kesit atalet momentindeki azalma, bağlantıdaki montaj ve sökme kuvvetlerini orantılı bir şekilde düşmesine neden olmuştur. Bağlantının yapıldığı malzemenin, uzunluk, genişlik gibi bazı geometrik özelliklerinin değiştirilemeyeceği durumlarda daha düşük montaj ve ayırma kuvvetlerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulduğunda boşluklu bir kesit geometrisinin kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bağlantının montaj ve ayırma kuvvetlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deney sonuçlarından elde edilen değerlerin teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler ile uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmanın devamında, kiriş kesitindeki boşluklu yapının geometrik şeklindeki değişimlerin, kiriş üzerindeki gerilmeleri, birim şekil değiştirmeleri ve kirişin çökme miktarını ne şekilde etkilediği ve ayrıca esneyerek kilitlenebilen bağlantılardaki montaj ve sökme kuvvetlerine etkileri incelenecektir.

EKLER**EK – 1 P430 ABS malzeme özellikleri****P430 ABS Material Properties**

A true industrial thermoplastic, ABS is widely used throughout industry. When combined with a Dimension Elite system, P430 ABS is ideal for 3D printing of models in the engineering office.

MECHANICAL PROPERTIES¹

	Test Method	Imperial	Metric
Tensile Strength, Type 1, 2 in/min (51 mm/min), 0.125	ASTM D638	5,295 psi	36 MPa
Tensile Modulus, Type 1, 2 in/min (51 mm/min), 0.125	ASTM D638	329,499 psi	2,272 MPa
Tensile Elongation, Type 1, 2 in/mm 51 mm/min, 0.125	ASTM D638	4%	4%
Flexural Delamination	Stratasys Standard	5,142 psi	35 MPa
Flexural Strength	ASTM D790	7,604 psi	52 MPa
Flexural Modulus	ASTM D790	319,737 psi	2,204 MPa
IZOD Impact, Notched, 73°F (23° C)	ASTM D 256	1.8 ft-lb/in	96 J/m

THERMAL PROPERTIES

Heat Deflection Temperature – unannealed ³	ASTM D648		
HDT, 66 psi (0.5 MPa)		204 °F	96 °C
HDT, 264 psi (1.8 MPa)		180 °F	82 °C
Melt Point		Not Applicable ²	Not Applicable

OTHER

Specific Gravity	1.04
Vertical Burning Test ³	HB, UL94
Coefficient of Thermal Expansion ³	4.9E-05

APPEARANCE

Natural

APPEARANCE

Natural

Stratasys, Inc.
14950 Martin Drive
Eden Prairie, MN USA 55344
Ph: 952.937.3000
Fax: 952.937.0070
www.dimensionprinting.com

The information presented are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (+/-) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, etc. Actual values will vary with build conditions.

Product specifications are subject to change without notice.

¹ Build orientation is on side edge

² Due to amorphous nature, material does not display a melting point

³ Injection molded properties

KAYNAKLAR

Bonenberger, P., R., 2005, “The First Snap Fit Handbook, Creating and Managing Attachments for Plastic Parts ”, ISBN 1-56990-388-3, Hanser Gardner Publications.

Gaurav, S., 2002, “A Fundamental Investigation of Retention Phenomena in Snap-fit Features”, The Ohio State University

Maszewski, A., 1999, “Snap Joints and Springs in Plastics”, Replaces edition of 1999-10-01, Bayer Plastics Business Group.

Neğiş, E., 2011, İmalatta Mükemmele Doğru; Oto inşa Teknolojileri, <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/index.html>

Tieming, R., 2005, “Selection and Optimization of Snap Fit Features via Web Based Software”, The Ohio State University.

Yaşar, H., 2001, “Plastikler Dünyası”, ISBN : 975-395-443-3, M.M.O 142/2.

İnternet Kaynakları :

- (1) <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/processing/pcs/BayerMaterialScienceNAFTA-DesignProcessing-Polycarbonates-Snap-FitDesign.htm>
- (2) <http://www.cadcamsektoru.com/baglanti:Imalatta-Mukemmele-Dogru-Otoinsa-Teknolojileri-9732>
- (3) <http://www.ets-corp.com/tools/development.htm>
- (4) <http://www.sabic-ip.com/webtools/toolsHomePage.faces>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.03.1983
Doğum yeri	İstanbul
Lise	1996-1999 İstanbul Anadolu Denizcilik ve Su Ürünleri Meslek Lisesi
Önlisans	1999-2001 Kocaeli Üniversitesi Karamürsel Meslek Yüksek Okulu Gemi Makineleri Bölümü
Lisans	2003-2006 Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008- 2011 Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Çalıştığı Kurumlar	
2006-2007	Eczacıbaşı Girişim Pazarlama- Danışman Mühendis
2007-2008	Dedeman A.Ş - Danışman Mühendis
2008-2009	İstanbul Büyükşehir Belediyesi- Atelye Şefi
2009-2010	Asaş Alüminyum- Sorumlu Saha Şefi
2010-Devam Ediyor	Üsküdar Belediyesi- Fen İşleri Müdür Yardımcısı