

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAC-KÜTLE ŞEKİLLENDİRME İLE BİRLEŞTİRİLEN ZIVANALI GEÇME
BAĞLANTISININ İNCELENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mücahit Tugay DEMİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

MAYIS 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAC- KÜTLE ŞEKİLLENDİRME İLE BİRLEŞTİRİLEN ZIVANALI GEÇME
BAĞLANTISININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mücahit Tugay DEMİR
(161080125)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ

MAYIS 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161080125 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mücahit Tugay DEMİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SAC-KÜTLE ŞEKİLLENDİRME İLE BİRLEŞTİRİLEN ZIVANALI GEÇME BAĞLANTISININ İNCELENMESİ " başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YILDIZ**
Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erdem UZUNSOY
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi :

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Mücahit Tugay DEMİR

İmzası :

ÖNSÖZ

Bu çalışmada sac şekillendirme ve kütle şekillendirmenin özelliklerinin içeren sac-kütle şekillendirme ile iki plaka ve ya sacın birbirine kenetlenmesi için bir çalışma yapılmıştır. Sac şekillendirme ve kütle şekillendirme prosesleri incelenerek ortaya hem ekonomik hem de otomotiv sektöründe araç üzerindeki ağırlık azaltılıp çevreye verilen zararın azaltacak olan bu yöntemin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ'e ve Hüseyin BEYTUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mücahit Tugay DEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Bağlantı Yöntemleri	3
1.2.1 Kaynak işlemi ile bağlantı yöntemi	3
1.2.2 Yapışkan malzeme ile bağlantı yöntemi	4
1.2.3 Civata-somun veya perçin ile bağlantı yöntemi.....	6
1.2.4 İki sac parçayı kıvrılarak bağlama yöntemi	7
1.2.5 İki sac parçayı zıvanalı geçme yöntemi ile birleştirme.....	7
1.3 Literatür Araştırması	8
1.4 Hipotez	15
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
2.1 Metal Şekillendirme İşlemleri.....	16
2.2 Kütle Şekillendirme İşlemleri	18
2.2.1 Haddeleme	18
2.2.2 Dövme	19
2.2.3 Ekstrüzyon	20
2.2.4 Çubuk ve tel çekme yöntemi.....	24
2.3 Sac Metal Şekillendirme İşlemi	25
2.3.1 Derin çekme yöntemi.....	25
2.3.2 Sac metal bükme yöntemi	26
2.3.3 Sac metal kesme yöntemi.....	28
2.4 Zıvanalı Geçme Yöntemi	29
2.4.1 Ahşap işlerinde zıvanalı geçme.....	29
2.4.2 Metal bağlantı işlerinde zıvanalı geçme.....	30
3. ANALİTİK MODELLER	32
3.1 Malzeme Davranışı	34
3.1.1 Geometrik nonlineerlik	35
3.1.2 Malzemenin nonlinerliği	37
3.1.3 Nonlineer sınır koşulları.....	37
3.1.4 Büyük gerinim ve büyük yer değiştirme davranışı	37
3.2 İmplicit Ve Eksplicit Yöntemler	38
3.2.1 İmplicit zaman metodu.....	39

3.2.2 Eksplicit zaman metodu.....	40
4. ANALİTİK ÇALIŞMALAR.....	42
4.1 Mesh Yapısı.....	44
4.2 HyperCrash'ta Presleme İşlemi.....	46
4.2.1 Malzeme kartı oluşturulması.....	46
4.2.2 Sınır koşulları.....	47
4.2.3 Parça özelliklerinin girilmesi ve kontak yüzeylerin tanımlanması.....	47
5. ANALİZ SONUÇLARI.....	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
6.1 Presleme Analizi Yorumu.....	51
6.2 Çekme Testi.....	52
6.3 Çekme Testi Analizinin Yorumu.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57



KISALTMALAR

SBMF : Sheet Bulk Metal Forming

TCRC : The Transregional Collaborative Research Centre



SEMBOLLER

A	: Malzemenin Akma Gerilmesi
B	: Malzemenin Gerinim Pekleşme Katsayısı
C	: Matris Sabiti
F	: Kuvvet
F_{n+1}^α	: Uygulanan Kuvvet
h	: Kademe Yüksekliği
K	: Rijitlik Sabiti
M	: Matris Sabiti
mm/sn	: İş Parçası Hızı
l_f	: Zıvana Dili Çıkıntı Uzunluğu
l_h	: Zıvana Boşluğu Genişliği
l_m	: Küçük Zıvana Boşluğu Genişliği
l_p	: Büyük Zıvana Boşluğu Genişliği
T	: Anlık Sıcaklık
T_m	: İş Parçası Malzeme Ergime Sıcaklığı
T_w	: İş Parçası Malzemesinin Başlangıç Sıcaklığı
t_m	: Sac Parçası Kalınlığı
t_n	: n. Zaman
t₀	: Sac Kalınlığı
u	: Yer Değiştirme
ü_n	: Yer Değiştirmenin Zamana Göre Birinci Türevi
ü̇_n	: Yer Değiştirmenin Zamana Göre İkinci Türevi
v	: Hız
W_h	: Zıvana Boşluğu Genişliği
W_m	: Küçük Zıvana Boşluğu Genişliği
W_p	: Büyük Zıvana Boşluğu Genişliği
ε_x	: x Yönündeki Gerinim
ε̇	: Eşdeğer Şekil Değiştirme Hızı
ε̇₀	: Referans Şekil Değiştirme Hızı
σ	: Malzeme Akış Gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Bağlantı tiplerinin karşılaştırılması.	14
Çizelge 4.1 : Parçaların malzeme özellikleri (Uçan,2011).	44



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kütle şekillendirme ve sac şekillendirme ortaklaştırılması.....	2
Şekil 1.2 : Mobilya(ağaç işleme) sektöründe zıvanalı geçme	2
Şekil 1.3 : Kaynak metodu.....	4
Şekil 1.4 : Yapışkan malzeme ile bağlantı.....	5
Şekil 1.5 : Cıvata perçin ile bağlantı.....	6
Şekil 1.6 : Kıvrılarak kenetleme yöntemi.	7
Şekil 1.7 : Zıvanalı geçme yöntemi.	8
Şekil 1.8 : Dövme takımı deneysel kurulumu.	10
Şekil 1.9 : Punch çapı gösterimi.	10
Şekil 1.10 : a)Tailored Blanks temas bölgesi, b) Yarık oluşumu detay gösterimi. ...	11
Şekil 1.11: a) SBMF tarafından üretilen tipik bir şematik çizim; b) Sıkıştırma testi parçalarının büyük saclar için örneği; c) Sıkıştırma testi parçalarının küçük kalınlıktaki levhaları için örneği; d) Kayma testi parçalarının küçük kalınlıktaki örneği.	12
Şekil 1.12 : a) Zıvanalı geçme uygulaması,b) Zıvanalı geçme kesit gösterimi.	13
Şekil 1.13 : a) Sonlu elemanlar analizi için zıvanalı geçme kademesiz dişi model çalışması, b) Sonlu elemanlar analizi için zıvanalı geçme kademeli dişi parça.	15
Şekil 2.1 : Metal şekillendirme işlemlerinin sınıflandırılması.	17
Şekil 2.2 : a) Boylamasına haddeleme, b) Çapraz haddeleme, c) Sarmal haddeleme 1,2:Merdaneler, 3: Kütük, 4:Çubuk, 5: Maça, 6: Çubuk.	18
Şekil 2.3 : a) Açık dövme, b) Kapalı kalıpta dövme.	19
Şekil 2.4 : Direkt ekstrüzyon.	21
Şekil 2.5 : Endirekt ekstrüzyon yöntemi şematik gösterimi.	21
Şekil 2.6 : Direkt ve endirekt ekstrüzyon işlemlerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi.	22
Şekil 2.7 : Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi gösterimi.....	23
Şekil 2.8 : Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi.	23
Şekil 2.9 : Çubuk çekme.....	24
Şekil 2.10 : a) İlk tamburda teli düzeltme işlemi, b) İkinci tambur ve ilk matristen geçiş, c) Son matristen çıkış, d) Tel çekme matrisinin yapısı.....	25
Şekil 2.11 : a) Derin çekme yöntemi, b) Derin çekme işleminde kuvvet ve gerilme bölgeleri.	26
Şekil 2.12 : Bükme yöntemi.	27
Şekil 2.13 : V bükme yöntemi.	27
Şekil 2.14 : Kenar bükme yöntemi.	28
Şekil 2.15 : Sac kesme yöntemi.....	29
Şekil 2.16 : Zıvanalı bağlantı örneği.....	30
Şekil 2.17 : a) Zıvana dilinin oluşturulması, b) Zıvana dili ve zıvana boşluğunun birbiri içersinden geçmiş durumu, c) Zıvana dilinin dövülerek iki parçanın zıvana geçme bağlantısının oluşturulmuş hali.	31

Şekil 3.1 : Model 1.	32
Şekil 3.2 : Model 2.	33
Şekil 3.3 : Zıvana dili geometrik yapısı.	34
Şekil 3.4 : a) Lineer sonuçlar, b) Lineer olmayan sonuçlar.	35
Şekil 3.5 : a) Hareketsiz malzeme, b) Büyük yer değiştirme ve küçük gerinme (lineer veya lineer olmayan malzeme davranışı).	36
Şekil 3.6 : a) Hareketsiz malzeme, b) Büyük yer değiştirme ve büyük gerinme (lineer veya lineer olmayan malzeme davranışı).	36
Şekil 3.7 : a) Elastik ve plastik malzeme davranışı, b) Nonlineer elastik ve hiperelastik malzeme davranışı.	37
Şekil 3.8 : Yer değiştirmenin ikinci türevi zaman grafiği.	39
Şekil 3.9 : Yer değiştirme zaman eğrisi.	40
Şekil 4.1 : Zıvana dili parçası (Tenon).	42
Şekil 4.2 : a) Kademesiz dişi parça, b) Kademeli dişi parça.	43
Şekil 4.3 Presleme parçası.	43
Şekil 4.4 : a) Kademesiz dişi parçası, b) Kademeli dişi parça montajı.	43
Şekil 4.5 : HyperMesh ile mesh atılmış kademeli dişi parçalı montaj.	45
Şekil 4.6 : HyperMesh ile mesh atılmış kademesiz dişi parçalı montaj.	45
Şekil 4.7 : Sınır Koşulları.	47
Şekil 5.1 : a) İzomerik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.	48
Şekil 5.2 : a) İzomerik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.	49
Şekil 5.3 : a) İzomerik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.	49
Şekil 5.4 : a) izomerik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.	50
Şekil 6.1: a) Kademesiz dişi parça ve $ht=10\text{mm}$, b) Kademesiz dişi parça ve 15 mm Von Mises değerleri.	51
Şekil 6.2 : a) Kademeli dişi parça ve $ht=10\text{mm}$, b) Kademeli dişi parça ve 15 mm Von Mises değerleri.	52
Şekil 6.3 : Pres analiz sonucunun dışarı çıkartılmış hali.	53
Şekil 6.4 : Kuvvet-zaman grafiği.	54

SAC-KÜTLE ŞEKİLLENDİRME İLE BİRLEŞTİRİLEN ZIVANALI GEÇME BAĞLANTISININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, mobilya sektöründe kullanılan zıvanalı geçme yönteminin iki sac levha veya plakanın birbirine dik olarak bağlantısı üzerine çalışılmıştır. Erkek parçasına (Tenon) zıvana dili denilmekte ve dişi parçasına yani delikli parçaya zıvana boşluğu (Mortise) adı verilir. Bu bağlama yöntemine literatürde zıvanalı geçme olarak adlandırılmaktadır. İki parçanın birbirine dik olarak bağlamanın birçok yöntemi mevcuttur. Örneğin; kaynak, cıvata-perçin, yapışkan malzeme gibi metot kullanarak birleştirme yöntemleri mevcuttur. Mevcutta kullanılan bu yöntemlerde ekstra kullanılan ara bağlayıcı malzemelerle hem maliyet hem de araçta oluşan ağırlık otomotiv sektörü veya uzay - havacılık sektörü için istenmeyen bir durumdur. Bu bağlantı yönteminin diğer bağlantı yöntemlerinden avantajları ve dezavantajları araştırılmış ve uygulaması için analizler yapılmıştır. Ayrıca bilinen bu yöntemler aynı malzemeler için sorun oluşturmazken farklı malzeme özelliklerindeki iki malzeme için problem oluşturabilir. Malzeme olarak Alüminyum-5182 ve St12 çeliği malzemeleri kullanılmıştır. Tasarım programı olarak Catia V5R20, analiz için modeller Hypermesh'te mesh atılıp Hypercrash'ta basma ve çekme analizleri yapılmıştır. Uygulama için 4 farklı geometri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Geometrilere değişkenler olarak zıvana dili yüksekliği ve zıvana boşluğunun geometrik ölçüleri kullanılmıştır. Ek olarak, zıvana boşluğu hem kademeli bir boşaltma hem de kademesiz bir boşaltma için değerlendirilmiştir. Kademesiz zıvana boşluğu için iki tane zıvana dili uzunluğu değişkeni ve kademeli zıvana boşluğu için iki tane zıvana dili uzunluğu değişkenleri seçilmiştir. Zıvana dili uzunlukları her iki zıvana boşluğu değişkenleri için aynı uzunluklardadır. Mekanizmaya önce presle zıvana dilini, zıvana boşluğun doğru bir akış sağlayıp daha sonra zıvana boşluğunu kalıp olarak varsayarsak o boşluğa dolduracak şekilde presleme işlemine devam edilir. Belirlenen sınır koşullarında bu işlem Hyperworks'ün Hypercrash ara yüzünde hazırlanmıştır. Çıkan sonuçlara ait sonlu elemanlar analiz dosyasına daha sonra çekme testi uygulanmıştır. Presleme analizine göre kademesiz dişi parçalı ve erkek parça zıvana dili uzunluğu 10 mm olan parça uygun birleştirme parametreleri olarak yorumlanmıştır. Daha sonra yapılan çekme testine göre sonuçlar grafiğe aktarılmıştır. Grafikteki değerler üretilebilirliğe ve bağlantıların en iyi düzeyde sağlanmasına bakılarak yorumlanmıştır. Bu sonuçlara göre de uygun olan parçanın kademesiz dişi parçalı ve erkek parça zıvana dili uzunluğu 10 mm belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sac kütle şekillendirme, zıvana dili, zıvana boşluğu, presleme, çekme testi, dinamik analiz.

THE EXAMINATION OF THE MORTISE AND TENON JOINT BY SHEET-BULK METAL FORMING

SUMMARY

In this study, two sheets are joined perpendicular to one another by sheet bulk metal forming and are used for a variant of the traditional mortise-and-tenon joint. A sheet metal is called as a tenon, other sheet metal is called as a mortise. This method is known as the mortise and tenon joints in the literature. There are many methods of connecting two sheets perpendicular to one other, such as welding, bolt-rivet, adhesive materials etc. In these methods, both the increasing cost and weight due to use intermediate materials are undesirable situation for the automotive industry. The advantages of mortise and tenon joints from other connection methods have been investigated and analysis have been performed. While these methods do not pose problems for the same materials, they can be problematic for two materials with different material properties. Aluminum-5182 and St12 steel materials were used as materials. Catia V5R20 was used as the design program. The mesh modelling was created for analysis via Hypermesh and than dynamic explicit analysis was performed via Hypercrash. The four differences assembly folder were studied for analysis. The height of tenon and the geometric dimensions of mortise gap were used as geometric variables. In addition, the mortise gap was evaluated for both rectangular stepped holes and a stepless rectangular holes. The length variables of two tenons were used for rectangular stepless mortise, and in the same way, the length variables of two tenons were used for rectangular stepped mortise. The tenon lengths are the same lengths for both mortise variables. Firstly tenon was pressed via upsetting in the perpendicular direction, and by the way tenon completely was filled the rectangular cavity of the mortise. According to compression tests, the stepless gap of mortise and tenon length of 10 mm piece was selected as the appropriate mortise and tenon joint parameters. After that tensile test analysis was prepared at the Hypercrash interface under specified boundary conditions. The tensile test was then applied to the finite element analysis output files. In order to find the appropriate study, both pressing and tensile test results were examined. According to these results, the stepless gap of mortise and tenon length of 10 mm piece was selected as the appropriate mortise and tenon joint parameters.

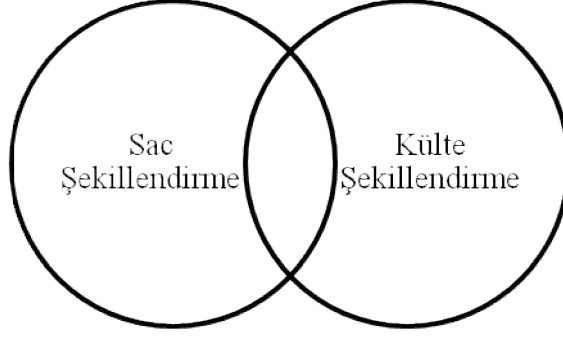
Keywords: Sheet metal forming, tenon, mortise, upsetting, tensile test, dynamic analysis.

1. GİRİŞ

Artan nüfus ile birlikte araçların kullanımı da artmaktadır. Sera gazının artması ve iklim değişikliklerinin oluşması başlıca nedeni insanların çevreye verdiği zararın artmasından dolayıdır. Otomotiv sektöründe araçlar ne kadar çok yakıt tüketirse çevreye verilen zararda bir o kadar da artmaktadır. Yakıt tüketimini azaltmak için ağırlık azaltma çalışması da çevreye olan etkiyi azaltma uygulamalarında biridir. Örneğin, kompakt bir aracın ağırlığının yaklaşık 100 kg azaltılması, 0.15 L/ 100 km'lik bir düşük yakıt tüketimine yol açar. Ağırlık azaltmak için araçta kullanılan parçanın malzeme özelliği, üretim yöntemi ve uygun montaj yöntemi ile sabitlenmesi, aracı çalıştırılmasında görevi olan yakıtın bileşenleri ve aracın tasarımı gibi başlıca önemli maddeler bulunmaktadır.

Sac metal şekillendirme teknolojisi gün geçtikçe üretimde büyük bir önem taşımaktadır. Son zamanlarda, yeni malzemelerin bulunması ve geliştirilmesi, ürün kalitesinin ve fonksiyonlarının artırılmasından dolayı sac metal şekillendirme yöntemine duyulan ihtiyaçta artmıştır. Sac metal şekillendirme işlemi otomotiv sektöründe, ev aletlerinde, bina yapılarında, yiyecek ve içecek endüstrisi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Açıkçası endüstri dünyasında en çok tercih edilen üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ürün karmaşıklılığının ve çeşitliliğin artışı aynı zamanda üretim yöntemlerini geliştirilmesine sebep olmuştur.

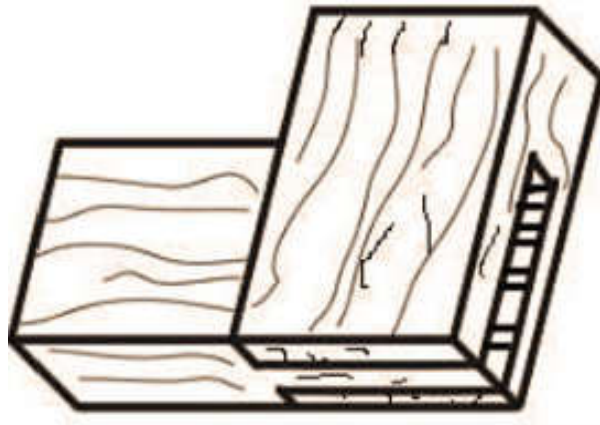
Günümüzde artan kütle şekillendirme yöntemleriyle seri üretimde büyük ve küçük parçaların kaliteli olarak üretimi sağlanmaktadır. Kütle şekillendirme işlemi bilinen en eski üretim yöntemidir. Üretim başlangıcında parçanın formu sac olmayıp kütle olan metal parçaları, plastik şekil verme ile şekillendirerek hedef parçanın üretimi sağlanması kütle şekillendirme işlemi olarak adlandırılmaktadır. Kütle parçaların formları silindirik, çubuk ve kütük gibi şekillere sahiptir. Kütle şekillendirme işlemi dövme, tel ve çubuk çekme, ekstrüzyon ve haddeleme yöntemlerini içerir. Bu yöntemler metale, istenen şekle ulaştırmak için gerekli plastik akma gerilmelerini sağlamasına neden olur. Plastik akmaya ulaştırmak için ılık ve soğuk şekillendirme işlemleri halinde uygulanır (Mathur ve Dawson, 1989).



Şekil 1.1 : Külte şekillendirme ve sac şekillendirme ortaklaştırılması.

Sac metal şekillendirme işleminde, deformasyon stresi genellikle sac levhanın düzlemine doğru olur. Külte şekillendirme işleminde, deformasyon stresi bileşenin tamamen üç koordinat yönünde olmaktadır. Sac-külte şekillendirme işlemi hem sac şekillendirme hem de külte şekillendirmenin ortak özelliklerini kapsamaktadır.

Bu çalışmada, iki sacın birbirine dik olarak kenetlenmesi olarak düşünülen yöntem zıvanalı geçme metodudur. Zıvanalı geçme metodu daha çok mobilya sektöründe yaygın olarak kullanılan bir metottur. Zıvana diline sahip olan erkek parçaya, zıvana boşluğu ise dişi parçaya aittir. Birbiri içersinden geçirilerek yapılan bu yöntemde ek bir bağlantı ekipmanı kullanımına gerek yoktur. Uygulamada ilk olarak, sac metal şekillendirmenin bükme şekillendirilmesi gibi zıvana diline dik yönde bir kuvvet uygulanır ve erkek parça, diğer dişi parçanın boşluğunda plastik deformasyona uğrar ve erkek parça, sac parça üzerinde yığılır. Zıvana dilinin, zıvana boşluğunu doldurma işlemi de külte şekillendirme işlemleri yönteminden dövme işlemine bezer olarak iki sac parça birbirine kenetlenir. Aşağıdaki şekil 1.2’de zıvanalı geçmenin mobilya sektöründe bir uygulaması mevcuttur.



Şekil 1.2 : Mobilya(ağaç işleme) sektöründe zıvanalı geçme.

1.1 Tezin Amacı

Bu araştırmanın amacı, iki sac metali veya levhaları birbirine dik olarak şekillendirme işlemleriyle yeni bir bağlantı yöntemi oluşturmaktır. Bu önerilen işlem, plastik deformasyonla mekanik kilitlemeden sonra erkek parça (tenon) zıvana dilinin, dişi parçanın (mortise) zıvana boşluğunu presleme ile doldurup kenetlenmesi işlemidir. Araştırma, işlenebilirlik sınırlamasına, malzeme gerilme şekil değiştirme karakteristiğinin yorumuna, bağlantı çeşitlerinin karşılaştırılması, basma ve çekme testinin incelenmesine kadar uzanır.

İki sac parçayı birbirine bağlamanın birçok yöntemi mevcuttur. Bunlar; kaynak yöntemi, yapışkan ile tutturma, perçin-cıvata yöntemi, iki sacı destekleyen ara parça kullanarak ve bu ara parçayı iki saca cıvata perçin ile tutturma yöntemi ve iki sacı birbirine kenetleyecek şekilde kıvrılarak birleştirme yöntemleri mevcuttur.

1.2 Bağlantı Yöntemleri

İki sac parçanın bağlantısı için dört yöntem incelenmiştir.

1.2.1 Kaynak işlemi ile bağlantı yöntemi

İki malzemenin uygun sıcaklık, basınç ve metalürjik koşulların sağlanması sayesinde kalıcı şekilde parçaların birleştirilmesidir. Karbon ark kaynağı, direnç kaynağı, gazaltı kaynağı, difüzyon kaynağı, plazma kaynağı, lazer ışın kaynağı, tozaltı kaynağı gibi birçok kaynak çeşidi bulunmaktadır.

Kaynak yöntemi hızlı bir yöntemdir. Fakat ısıtma-soğutma çevrimleri boyunca kaynak ve bitişik metal plakalarda büzülme ve genişmeden kaynaklanan bozulma ve artık gerilmeler oluşmaktadır. Deformasyonun azaltmak için mengene, delme kalıbı ve fikstürler ile tutturulması gerekir. Bu da maliyet gerektiren araç gereçlerdir.

Oluşan başlıca kaynak hataları;

- Kurt oyuğu gözeneği
- Doğrusal cüruf oluşumu
- Gaz kalıntıları
- Yetersiz ergime sonucu oluşan çatlaklar, enine çatlaklar ve boyuna çatlaklar gibi hatalar oluşur.

Yüksek kalitede kaynakla birleşim yapabilmek için;

- Yeterli ısı ve ya basınç değerlerini saptanılması
- Metalin korunması ve yüzey pürüzlüğünün uygun seviyede olması
- Zararlı metalürjik etkilerden kaçınılması gerekir.

Kaynak kullanılmamasının diğer nedenlerinden biride, birbirinden farklı özellikteki malzemelerin birleştirilmesindeki zorluklar, maliyet ve zamanın diğerlerinden daha önemli ölçüde farklı olmasıdır. Yapılan bir difüzyon kaynağına örnekte, çelik ve alüminyumun difüzyon yöntemiyle birleştirilirken sıcaklığın 50 °C artmasıyla bağlama süresinin 30 dakikadan 10 dakikaya düştüğü gözlemlenmiştir. Üretimdeki faktörler üretim zamanını etkiler. Sistem termal, mekaniksel veya hidrostatik ataletle sahip olduğunda değişkenlerin ani değişimlerinin elverişsizliği nedeniyle kaynak yapma süresi değişir ve artar. Atalet problemler olmadığında kaynak süresi 0,3 dakikalık bir azalma gösterebilir. Sürenin uzaması ekonomik açıdan dezavantajının yanında kaynaklanan bölgede boşluk oluşumu, bileşimin değişimi ve metaller arası kırılabilir bileşiklerin oluşumuna yol açtığı durumlar da vardır (Fidan, 2006).



Şekil 1.3 : Kaynak metodu.

1.2.2 Yapışkan malzeme ile bağlantı yöntemi

Yapışkan ile bağlama yöntemi ile farklı malzemelerin birleştirilmesinde, kaynak yöntemindeki zorluklar burada yaşanmaz. Bu metodu nem, sıcaklık ve diğer çevresel çalışma koşulları sınırlamaktadır. Kaynakta kullanılan mengene, delme kalıbı ve fikstürler bu yöntemde de kullanılır. Bu yöntemi kullanırken birleşme yüzeyleri dikkatle hazırlanmalıdır. Ekstra tutucular ve fikstürler kullanarak basıncın

uniform olarak yayılması sağlanmalıdır. Şekil 1.4'te buna örnek bir gösterim mevcuttur.



Şekil 1.4 : Yapışkan malzeme ile bağlantı.

Bu yöntemin dezavantajları düşünüldüğünde aşağıdaki gibi bir sonuç çıkar.

Yüzey temizleme işlemi ihtiyaç duyulur ve yüzey gerilim kontrolü gerekmektedir. Metalik malzemeler yapıştırılmadan önce yapıştırma bölgesi aseton veya izopropan ile temizlenmelidir. Yapıştırıcı özelliklerinin sıcaklık ve nem özelliklerine karşı duyarlı olması gerekir aksi takdirde parçalar yapıştıktan sonra sıcaklık ve nem kriterlerini geçtiğinde yapışkan özellik kaybolur. Esas mukavemet özelliğinin, yapıştırma işlemi üzerinden belli bir süre geçtikten sonra ancak kazanabilmektedir. Bu süre içerisinde parça uygun pozisyon ve koşulda bekletilmelidir. Bazı uygulamalarda işlem sonrası yenileme veya tamir gerekebilir ancak kullanılan ürünün geri kazanma özelliğinin kısıtlılığı vardır.

Bu tezde iki parça birbirine dik olarak sabitlenmesi istenmektedir. Eğer yapışkanla birleştirilirse yeterli yüzey alanı olmadığı için sağlıklı bir uygulama olmaz. Ancak iki parçadan biri L şeklinde istenilen ölçüde kesilip bükülerek sac parçada yapışkan temas yüzey alanı arttırılabilir. L şeklindeki bir parça içinde sac parçanın normalinde uzun kesilerek kullanımı gerekir ki buda fazla malzeme kullanımına neden olur. L parça kullanarak malzeme maliyeti, işçilik ve montajı ağırlığı artar. Otomotiv sektöründe maliyet arttıran uygulamalar ve emisyon oranını arttıran bu tarz fazla kullanımı istenmemektedir. Bundan dolayı bu tez kapsamında yapışkan kullanımı mantıklı gelmemektedir.

1.2.3 Civata-somun veya perçin ile bağlantı yöntemi

Montaj yapma işleminden en çok kullanılan yöntemlerden olan civata-somun yöntemi ve perçinleme yöntemi günümüzde yaygın olarak tercih edilmektedir. Örneğin, bir jet uçağında yaklaşık olarak 2 buçuk milyon civata bağlantısı kullanılmaktadır. Civata-somun bağlantısı, civata ve somun elemanlarından oluşan bir çözülebilen bir bağlantı çeşididir. Bu bağlantı için ilk sac parçada civata deliğini civata metrik diş çapından büyük olacak şekilde delinir. Alttaki sac parçaya metrik dişler açılır ve somun da civataya çevrilerek bağlanır (Akkurt, 2012).

Perçin yöntemi de eski bir yöntemdir. İki veya daha fazla parçayı delik açarak perçin vasıtasıyla birleştirilmesi işlemidir. Parçaların birbirinden çözülemeyecek şekilde bağlayan bir yöntemdir. Perçin bağlantısı, perçin tutucu başı ve çekiç başı ile birlikte yapılır. Perçin başı havşa başlı, mercimek başlı ve yarı yuvarlak başlı şeklinde tiplerde olmaktadır (Akkurt, 2012).

Değiştirme işleminde el aleti veya matkap kullanımı tercih edilir. Güvenli olan bu yöntem estetik açıdan ve bulunduğu montaj alanında yer kaplamasından dolayı kullanımı sınırlıdır. Sac yüzeylerinde deformasyon olmaması için bu şekilde birleştirme işleminde pul, braket ve emniyet kelepçeleri kullanılmalıdır. Ancak bu bağlantıda parçanın montaj ağırlığını, estetikliğini ve maliyetini arttırdığı için bu yöntem kullanımı tercih edilmemektedir. Şekil 1.5'te buna bir örnek gösterim vardır.



Şekil 1.5 : Civata perçin ile bağlantı.

1.2.4 İki sac parçayı kıvrarak bağlama yöntemi

İki sac parçayı birbirine montaj etmek için uçlarından kıvrarak birbirine tutturmakta mümkündür. Bu yöntem için sac parçaların normal uzunluklarından fazla kesilerek yapılmaktadır. Şekil 1.6'daki gibi T ve L şeklindeki birbirine dik yapılar için uygundur. Önce bir sac parça kıvrılırken diğer kıvrılmış sac parça bunu arasına konularak preslenir ve bağlantı sağlanır. Bu bağlantı farklı kalınlarda ve farklı malzemedeki iki sacın birbirine tutturulması içinde uygundur. Ancak bu şekildeki bağlantı yapıları sürekli tamir gerektirebilir. Sac parçaların normal boyundan fazla kesilerek yapılır ki bu da maliyeti arttıran bir durumdur.



Şekil 1.6 : Kıvrarak kenetleme yöntemi.

1.2.5 İki sac parçayı zıvanalı geçme yöntemi ile birleştirme

Bu tez çalışmasında sac-kütle şekillendirme yöntemiyle iki sac parçayı birbirine dik olarak kenetleme işlemi ele alınacaktır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında estetik, ekonomik ve üretilebilirlik bakımından üstündür.

Bu yöntemde dik konumda bulunan tenon olarak belirtilen çıkıntılı yapı, yatay konumdaki mortise olarak adlandırılan ortasında tenon çıkıntısı geçecek kadar boşluğu bulunmaktadır. Çalışmada bu yapının yükseklik ve mortise'in yapısı ile ilgili çalışma yapılmıştır. Çalışma bilgisayar destekli programı Catia ve analiz programı HyperWorks ile çalışılmıştır.

Literatürde bu konuyla ilgili çok az sayıda çalışma yapılmıştır. yapılan çalışmalarda iki parçanın malzeme özellikleri birbire aynı seçilmiştir.



Şekil 1.7 : Zıvanalı geçme yöntemi.

Zıvanalı geçme yönteminin uygulanışı şekil 1.7'deki gibi iki sac veya kütük şeklindeki parçanın birbirine 90 derece dik olarak bağlanması esasına dayanır. Malzeme özellikleri farklı olacak şekilde bu yöntemle parçaları birbirine kenetleme işlemi uygulanmıştır.

1.3 Literatür Araştırması

Sac-kütle şekillendirme işlemi yeni bir üretim yöntemi olup bu konuda sonlu elemanlar analizi, analitik ve matematiksel modelleme yapılmış çeşitli makaleler yayınlanmıştır. Bu yöntem ile dişliler gibi karışık fonksiyonel parçaların tek bir yöntemle üretilmesi, tribolojik özelliklerin bölgesel ayarlanmasını, iki parçanın mekaniksel olarak kenetlenmesi gibi konularda çalışmalar yapılmıştır.

Sac-kütle şekil değiştirme yöntemi ile ilgili ilk çalışmayı 2010 yılında Merlein, Koch, Schneider, Opel ve Vierzigmann yeni bir metal şekillendirme metodu olan sac-kütle şekillendirme yöntemi ile çeşitli karmaşık fonksiyonel bileşenlerin üretimi çalışması yapmışlardır. Özellikle otomotiv sektöründe sac metal şekillendirme ve kütle şekillendirme süreçlerini ile üretilen karmaşık fonksiyona sahip parçalar üretim proseslerinin sınırları zorlamaktadır. Bu makalede, ham metal halinden başlayarak yüksek toleranslı şekillerin direkt üretimi varsayımı üzerinde bir çalışma yapılmıştır. İlk defa bu çalışmada yeni yöntemin adı belirtilmiş ve ismi sac-kütle şekillendirme olarak açıklanmıştır (Koch ve diğ., 2010).

İlk adımda, yüksek ve alçak şekil değiştirme bölgeleri arasındaki karmaşık etkileşimler, sac-kütle şekillendirme karakteristiği simülasyonlarını incelemişlerdir.

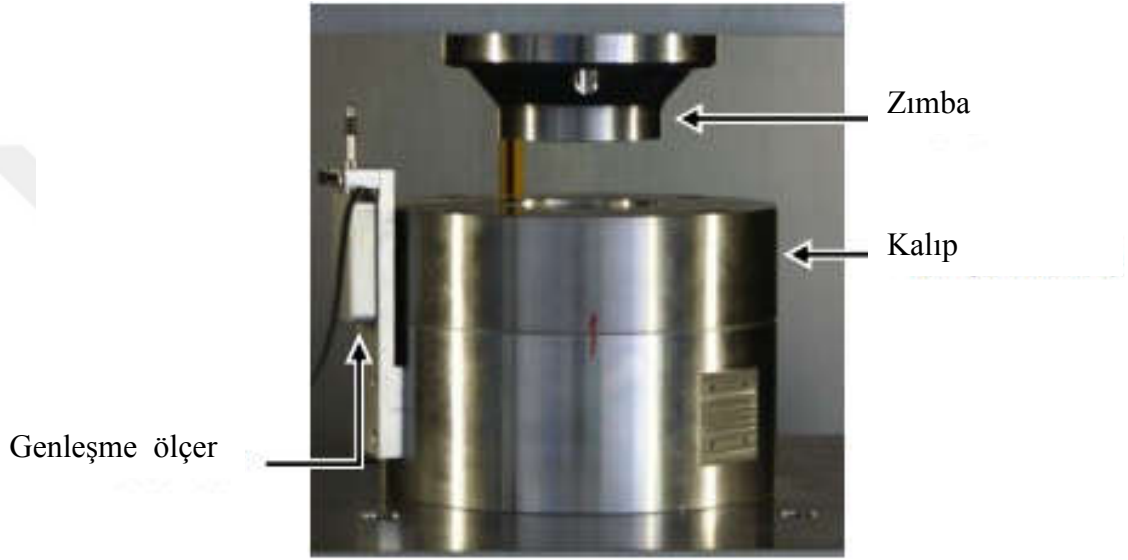
Tanımlanmış bölgelere göre, ekstrüzyon ve derin çekme işlemleri için yeni takım geometrileri ve şekillendirme adımlarını belirlemişler ve bir hedef olarak gösterilen bölgesel malzeme akışının hassas bir şekilde kontrol etmek için stratejiler geliştirmişlerdir (Koch ve diğ, 2010).

Merklein, Allwood ve arkadaşları (2012), sac-kütle metal şekillendirme yöntemini daha iyi kavramak için sac metal parçaya veya metal plakaya bilinen birçok şekillendirme işlemlerini uygulayıp bu yöntemleri özetlemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda tribolojik davranışları (sürtünme, aşınma ve yağlama) ve malzeme akışını dikkatlice incelemişlerdir. Bu süreçte uygulanabilir hasar kriterlerine, simülasyonuna yönelik araştırmalar yapmışlar ve uygun eleman tipleri belirtilmişlerdir. Diğer birçok üretim yönteminde bulunan aşamaların bazıları sac-kütle şekillendirme içinde var olduğundan bahsetmişlerdir. Örneğin, SBMF yöntemi tabakaların düzlemi dışında bulunan kaburga yapıları, kabartma başları ve dişliler gibi lokal fonksiyonel özelliklere sahip tabakalarda 3 boyutlu plastik akışın ve sacların plastik deformasyonla şekillendirilmesini içerir. Yani bu yöntemle sac ve kütle şekillendirmenin yetenekli ve yararlı özellikleri kullanılmıştır.

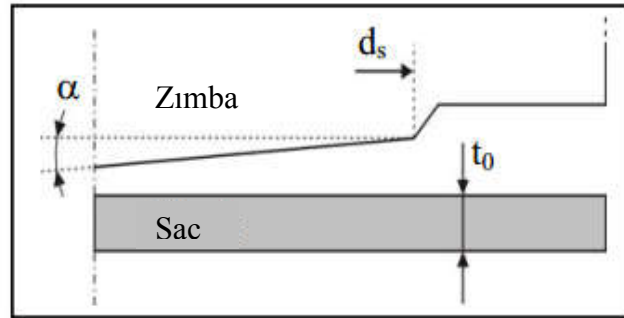
Merklein ve Opel, tanımlı sac kalınlığı karakteristiklerine sahip, sırasıyla radyal olarak simetrik uyarlanmış boşlukların ” sac-kütle metal şekillendirme” prosesi sınıfının mekanik özellikleri ile imalatını araştırmışlardır. Fonksiyonel sac metal parçalar, örneğin özellikle otomotiv sektöründe toleranslı kompleks geometrik özellikteki senkromeç bileziği dişlisi gibi. Maalesef hammadde halindeki kütük parçaların kesme teknolojisinde yapıldığı gibi sac metal şekillendirmede bu kompleks parçaların üretimi mümkün olmuyor. Tailored Blank malzemeler, farklı kalınlıkta ve güçte çeşitli malzeme katmanlarından üretilen ve otomobil dış parçalarının üretiminde yarı mamul olarak kullanılan metal tabakalardır. Bu metal tabakalar daha sonra büyük yüklere maruz kalacak olan noktalarda ek malzeme katmanları uygulanarak güçlendirilirler. Yaygın olarak farklı ham maddeler birbirine kaynak ile montaj edilir. Birçok durumda birleştirme işleminin, malzemelerin değişen mekanik özelliklerinden dolayı şekillendirme üzerinde önemli bir etkisi vardır (Opel ve Merklein, 2011).

Yapılan bu çalışma, dönel simetrik tailored blank'ler sac-kütle şekillendirme ile üretilebileceğini göstermiştir. Şekil1.8'deki deney setinde dövme takımı olarak punch, kalıp ve genişlemeölçer bulunur. Kullanılan aksenal dövme takımı, dairesel bir

sac boşluğunun dış alanına bir malzeme akışını öncelik sağlar. Başka bir bakış açısıyla yüksek işlem kuvvetlerinin, takımda yaratacağı elastik deformasyon ve sürtünme koşulların da dikkat alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Elastik deformasyonun en fazla karşı punchın merkezinde maksimum değere ulaşır. Bu nedenle şekil 1.9'daki gibi yüzeyin, yük altında düzlemsel bir alana ulaştırmak için dışbükey bir şekle sahip olması gerektiğini ve tribolojik olarak düzgün bir yağlama ile alt dövme kuvveti azalacağı ve yüksek kalitede bileşenlerin üretimi sağlanabileceğinden bahsetmişlerdir (Opel ve Merklein, 2011).



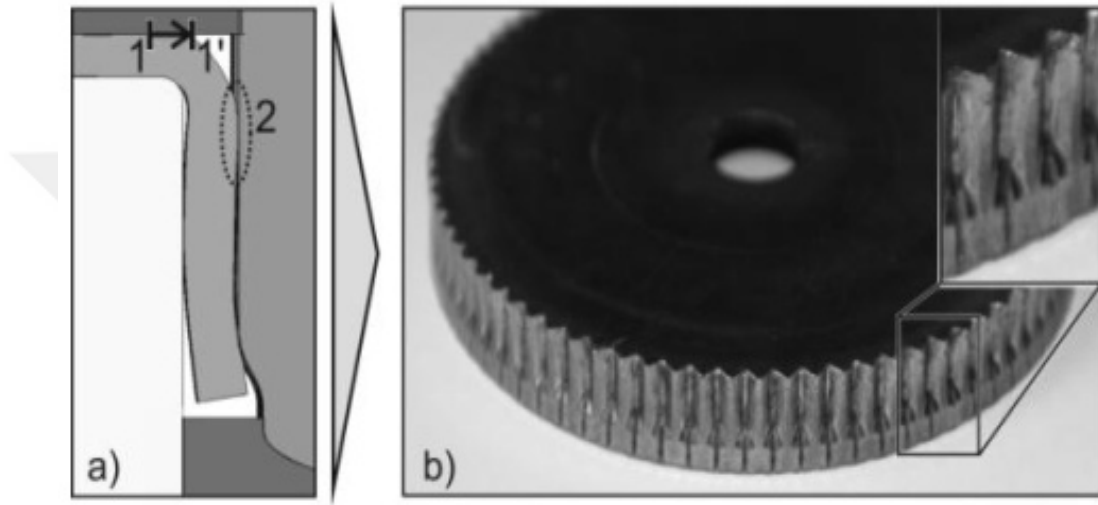
Şekil 1.8 : Dövme takımı deneysel kurulumu.



Şekil 1.9 : Punch çapı gösterimi.

Scheider ve arkadaşları (2015), tek aşamada sac-kütle şekillendirme metoduyla dişli sac bileşenlerinin imalatını araştırmışlardır. Bu üretim şekli ile imalat sanayisinin mevcut ekolojik ve ekonomik zorluklarını gidermek için uygun bir yaklaşımdır. Dış dişli bileşenlerin üretim aşamaları olan derin çekme ve dövme işlemlerini tek bir aşamada yapmak için araştırmalar yapılmıştır. Derin çekme ve dövme işlemlerinin tek bir araçta uygulanması için ilk olarak adaptasyon süreci ele alınmıştır. Derin

çekme ve dövme işlemleri arasındaki negatif olumsuz etkileşim göz ardı edilmemiştir. Denejde bir referans geometrinin işlem limitlerine dayanarak, sonuçların diğer geometrilere aktarılması mümkün olmuştur. İşlem bilgisi çok iyi bilinmesine rağmen kusursuz bir şekillendirme sonucu sağlanamamıştır. Haddeleme veya orbital şekillendirmeyle yapılan yarı mamul ürünlerdeki uygulamaların daha başarılı olduğu varsayımı yapılmıştır. Şekil1.10’da nominal çap değeri 80 mm olan deneysel sonuçlarda derin çekme sonrası olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Scheider ve diğ, 2015).



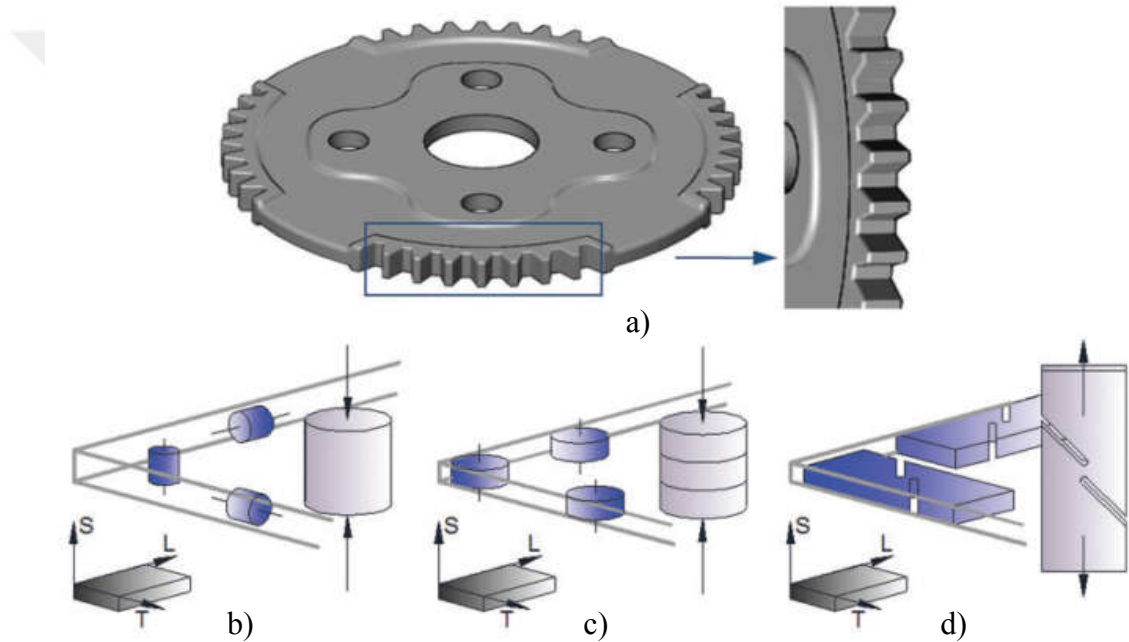
Şekil 1.10 : a) Tailored Blanks temas bölgesi, b) Yarık oluşumu detay gösterimi.

CMA Silver, MB Silva ve LM Alves çalışmalarında sac-kütle şekillendirme uygulamalarında kullanılması için sac parçaların kırılma tokluğunu ve gerilme-şekil değiştirme eğrisini deneysel olarak gözlemleyen yeni bir deneysel test üzerine çalışmışlardır. Araştırmacılar kütle şekillendirmenin üç boyutlu plastik akış durumuyla sac metal şekillendirmenin düzlem stres yükleme durumlarını düşünerek bir test yapmışlardır. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi elde etmenin metodolojisi kayma gerilmesi ve şekil değiştirmenin birbirine zıt çentik çiftinde çatlak yayılma başladığı noktaya kadar testin iki simetrik plastik kayma bölgesini içermektedir. Bu kırılma tokluğunun belirlenmesi, iki simetrik zıt yönlü çentik arasında farklı kırışlarla gerçekleştirilen bir dizi test çalışması için yer değiştirme ile yükün değişimi karakterize edilmesini içerir. Kullanılan malzeme EN AW 5754 H111 sac parçası ve 5 mmlik bir kalınlığa sahiptir. Yeni önerilen test ile elde edilen sonuçlar, geleneksel mekanik ve kırılma karakteristiği testlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Silva ve diğ, 2015).

Sac-kütle şekillendirme için malzemelerin mekanik karakteristiği, metal levhalarda 3 boyutlu stres durumunun uygulamasından türeyen iki önemli faktör görünmektedir (Silva ve diğ, 2015).

- Yüksek şekil değiştirme değerleri için stres-şekil değiştirme eğrilerinin belirlenmesi
- Sac kalınlığına dik yeni yükleme durumlarında kırılma tokluğunun karakteristiği

Aşağıdaki şekil 1.11’de test standartları ile alakalı prosedürdeki basma testi ve kayma testlerinin şekilli örnek uygulamasına yer verilmiştir (Silva ve diğ, 2015).

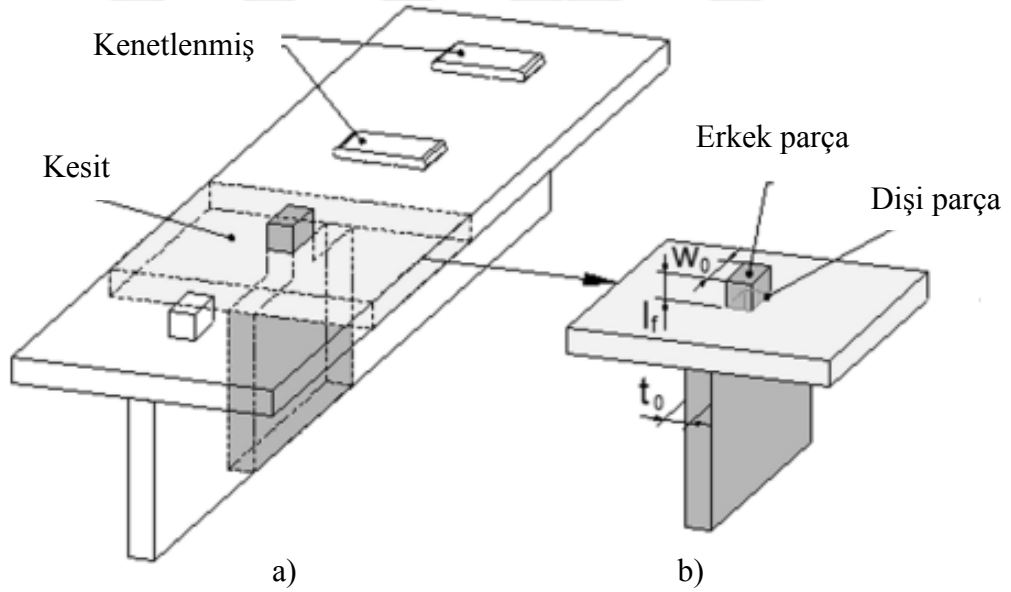


Şekil 1.11 : a) SBMF tarafından üretilen tipik bir şematik çizim, b) Sıkıştırma testi parçalarının büyük saclar için örneği, c) Sıkıştırma testi parçalarının küçük kalınlıktaki levhaları için örneği, d) Kayma testi parçalarının küçük kalınlıktaki örneği.

Sac-kütle metal şekillendirme ile ilgili en önemli araştırma TCRC73’te gerçekleştirilmiştir. TCRC73 birkaç üniversiteye ait üretim teknolojileriyle ilgili enstitülerinin içerdiği yenilikçi bir ekiptir. Tam adı, yeni sac metal şekillendirme işlemi kullanarak çok fonksiyonlu kompleks yapıdaki parçaların üretimi yani; sac-kütle şekillendirmenin incelenmesidir. Sac-kütle şekillendirme (SBMF) sac ve kütle şekillendirmenin avantajlarını bir araya getiren metottur. Sac şekillendirme, düz ve büyük iş parçasının üretimini sağlar. Soğuk dövme, diğerlerinin yanı sıra

şekillendirme işlemi sırasında gerinim sertleşmesinin avantajlarına da sahiptir. Ayrıca yüksek yüzey kalitesi ve neredeyse amaçlanan parçayı net şekilde üretimini sağlar. Her iki teknolojiyi kullanarak iş parçasının miktarı bakımından yüksek verimlilik sağlar. Bu kombinasyon mevcut teknolojinin sınırlarını aşmaktadır. SBMF numunelerin bütünlüğünü değiştirmeyen düz bir yarı mamul şeklinin plastik olarak değiştirilmesidir. TCRC 73'te artan bireysel talepler karşısında kolay uygulanabilir ve giderek artan yeni şekillendirme prosesleri için bilimsel temellerini oluşturur. Günümüzde şekillendirme için iki ana başlık bulunur; maddi kaynak ve araştırmadaki verimliliğdir. TCRC 73'ün devam eden sac kütle şekillendirme ile gittikçe artan kompleks iş parçalarının üretimini geliştirmektir (Hagenah ve Merklein, 2016).

Brangança, PAF Martins ve arkadaşları zıvanalı geçme bağlantısına sac-kütle şekillendirmesini uygulayan ilk araştırmacılarıdır. İki sac parça için zıvanalı geçme zıvana diline dik doğrultuda pres uygulanır ve zıvana boşluğuyla plastik deformasyonla şekil 1.12 deki gibi kenetlenir.



Şekil 1.12 : a) Zıvanalı geçme uygulaması, b) Zıvanalı geçme kesit gösterimi.

Birbirine 90 derece dik olarak bağlanacak olan iki sac metal parça için alüminyum alaşım EN AW 5754 H111 malzemesi seçilmiştir. Bu çalışmada incelenen çeşitli parametreler bulunmaktadır. Bu ana proses parametreleri olarak ilk durumda l_f/w_0 seçilmiştir. l_f serbest uzunluk olan zıvana dili uzunluğudur, w_0 ise zıvana dili genişliğidir. İkinci durumda sac kalınlığı ve t_0/w_0 'dır. Burada t_0 zıvana dili sac parçasının et kalınlığı, w_0 zıvana dili genişliğidir. Üçüncü durum olarak bağlanan sac

parçaların mukavemetidir. Dördüncü parametre olarak birbirine bağlanan sac parçaların et kalınlıklarıdır. Test aşamasında t_0 değerleri 1 mm ve 5 mm'dir (Bragança ve diğ, 2016).

Oda sıcaklığında yapılan bu çalışmada burkulmayı etkileyen l_f ve t_0 değerleridir. l_f/t_0 oranında 2,5 bağlantı için maksimum eşik değeridir. Bu oranın üstündeki durumlarda üst tabakada kabul edilemez bükülmeler oluşmaktadır. Yapılan bu çalışmanın güvenilir bir bağlantı yöntemi olabileceği kanısına varmışlardır (Bragança ve diğ, 2016).

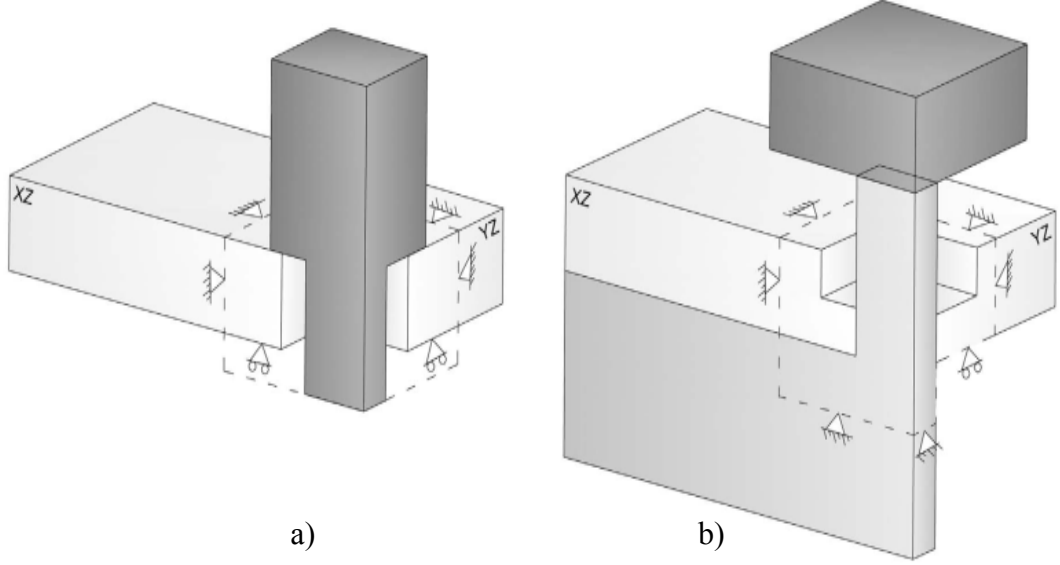
Alves, Silva ve arkadaşları, çalışmalarında iki sac veya iki levhayı birbirlerine dik olarak kenetlemek için şekillendirme işlemiyle yeni bir bağlantı çeşidini araştırmışlardır. Önerdikleri bu işlemde, erkek parçanın çıkıntısına pres uygulayıp dişi parçayla plastik deformasyon sayesinde iki parçanın mekanik kilitlemesi çalışılmıştır. Makalelerinde işlenebilirlik sınırları, birleştirme ve çekme testi ile doğrulamak için malzeme stres-strain karakteristikleri gibi birçok değerler incelenmiştir (Alves ve diğ, 2018).

Çizelge 1.1 de sac parçaların birbiriyle montajı yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1.1 : Bağlantı tiplerinin karşılaştırılması.

	Mekanik Sabitleme	Perçinleme	Dikiş	Sac-Kütle Şekillendirme
Bağlantı Tipi	Kalıcı değil	Kalıcı	Kalıcı	Kalıcı
Bağlama Şekli	Kıvrırma	Kıvrırma ve kenar bağlantı	kenar bağlantı	Kıvrırma, t yapısı ve köşe bağlantı
Kullanılan Malzeme	Metal ve polimer	Metal	Metal	Metal
Ek Materyal	Civata, somun	Perçin	Yok	Yok
Estetiklik	Kötü	Orta	Orta	Yüksek
Kolay demontaj	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Üretilebilirlik	Düşük	yüksek	Orta	Yüksek

Sac kütle şekillendirme kullanılarak zıvanalı geçme bağlantı şekli diğer bağlantı çeşitlerine bir alternatiftir. Bükülemeden sonra geri yaylanmadan etkilenmediği için daha güçlüdür. Çizelge 1.1'e göre diğer yöntemlere kıyasla üretilebilirliğinin yüksek olması, ek bir malzeme kullanımı olmayışı, estetikliğinin yüksek seviyede olması, kalıcı bir bağlantı sağlaması, bağlandıktan sonra söklmesinin düşük olması, bağlantı tipi olarak az malzeme kullanımına destek olması yönleriyle diğer yöntemlerden farklıdır.



Şekil 1.13 : a) Sonlu elemanlar analizi için zıvanalı geçme kademersiz dişi model çalışması, b) Sonlu elemanlar analizi için zıvanalı geçme kademeli dişi parça .

Yapılan bu çalışmada malzeme olarak iki sac parça için alüminyum alaşımı EN AW 5754 H11 kullanılmıştır. Şekil 1.13'teki gibi mekanizmada plastik deformasyonla erkek parça dişi parçanın ortasındaki boşluğu doldurur ve bağlantı oda sıcaklığında sağlanır. Yapının geometrisi, plastik kararsızlığı ve kırılma limitleri analitik modelde bağlantının tasarımı ve ana çalışma değerleri için önemli noktalar olduğunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmaları deneysel ve sonlu elemanlar programıyla doğrulanmışlardır. Fakat karmaşık geometrilerde kullanımı için sınırlı olduğundan bahsetmişlerdir. Sağlam bir bağlantının çekme testi, iki sacın ayrılması erkek parçanın boyun vermeden sonraki bir sünek kırılmayla gerçekleştiğini vurgulamışlardır (Alves ve diğ, 2018).

1.4 Hipotez

Bu tezde iki sac parçanın birbirine dik olarak bağlantısı üzerinde çalışılmıştır. İki sac parçanın malzemesi farklıdır. Araştırmada zıvana dili yüksekliği, zıvana boşluğu geometrik ölçüleri gibi boyutsal kriterler değerlendirilmiştir. Değerlendirme için sonlu elemanlar analizinde önce presle basma analizi ardından oluşan kenetlenmiş parçaya çekme testleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde metal şekillendirme yöntemleri incelenmiştir.

2.1 Metal Şekillendirme İşlemleri

Metal şekillendirme işlemi, iş takımı yardımıyla malzeme kalıp geometrisinin şeklini alarak plastik olarak deformasyona uğradığı üretim süreçleridir. Deformasyon, metal parçanın akma gerilmesini aşmasını sağlayan, genellikle metal şekillendirme kalıbı olarak adlandırılan bir iş takımından kaynaklanmaktadır. Bu tür bir deformasyon için kullanılan araçlar, işlem türüne bağlı olarak kalıp, zımba vb. olarak adlandırılır (Groover, 2010).

Metal şekillendirme işlemi sırasında metallerin plastik özellikleri kullanılır. bu işlem sırasında kullanılan takım aletlerinin basıncı altında sıcak ve soğuk şekillendirmede şekil ve boyutlara zarar vermeden değişme yeteneğidir. Metal şekillendirme, optimum deformasyon rejimlerinde oluşumu gerçekleştirmeye ve metale uygun ana ve yardımcı ekipmanları kullanmaya izin verir. Metal şekillendirme ile yüksek verimlilikte, kaliteli toleranslarda ve gerekli mekanik özelliklerde çok çeşitli metal ürünler üretilmektedir (Danchenko,2007).

Malzemeler farklı üretim işlemleri ile bitmiş ürün haline dönüştürülür. Üretim işlemleri;

- döküm, kalıp döküm ve metal tozunun preslenmesi gibi işlemler temel şekillendirme işlemleri,
- ısıtma işlemi ve yüzey serleştirme işlemleri gibi metal işlemleri,
- perçinleme, cıvatalama, yapışkan sürme ve kaynak gibi birleştirme işlemleri,
- frezeleme, tornalama ve testere gibi metal kesme işlemleri

olarak beş temel kategoride üretim işlemleri vardır (Gedikli, 2000).

Metal şekillendirme işlemleri diğer işlemlere göre avantajları aşağıdaki gibidir;

- ✓ Yüksek hızlı üretim sağlar.

- ✓ Dövme işlemiyle iyi bir boyutsal tolerans ve işlem sonunda yüzey pürüzlüğü kaliteli üretim sağlar.
- ✓ Malzemenin neredeyse tamamı kullanılır, böylece malzemeden ve enerjiden tasarruf ağlanır.
- ✓ Deformasyon serleşmesinden dolayı işlem gören parça, ilk haline oranla akma mukavemeti değeri yükselir (Gedikli, 2000).

Aşağıdaki şekil 2.1’de metal şekillendirme işlemlerinin sınıflandırılması mevcuttur.



Şekil 2.1 : Metal şekillendirme işlemlerinin sınıflandırılması.

Metal şekillendirme işlemleri, kütle şekillendirme ve sac şekillendirme şeklinde genel olarak iki ana gruptan oluşur. Kütle deformasyonu, düşük yüzey alanı hacim oranına sahip şekillendirmeler için ham maddelerin kullanımını ifade eder. Haddeme, dövme, ekstrüzyon, tel ve çubuk çekme kütle şekillendirme işlemidir. Kütle şekillendirme işlemi metotlarında uygulanan kuvvetin doğası sıkıştırma, çekme, kesme veya bu kuvvetlerin bir kombinasyonu olabilir (Sastra University, 2014).

Sac metal şekillendirme işlemi, genel olarak gerilme ve kesme kuvvetlerinin uygulamasını kapsar. Sac parça, plaka ve levhalar esas olarak sac şekillendirme işlemini oluşturur. Sac işlemi genel olarak preslerle, pnömatik veya hidrolik

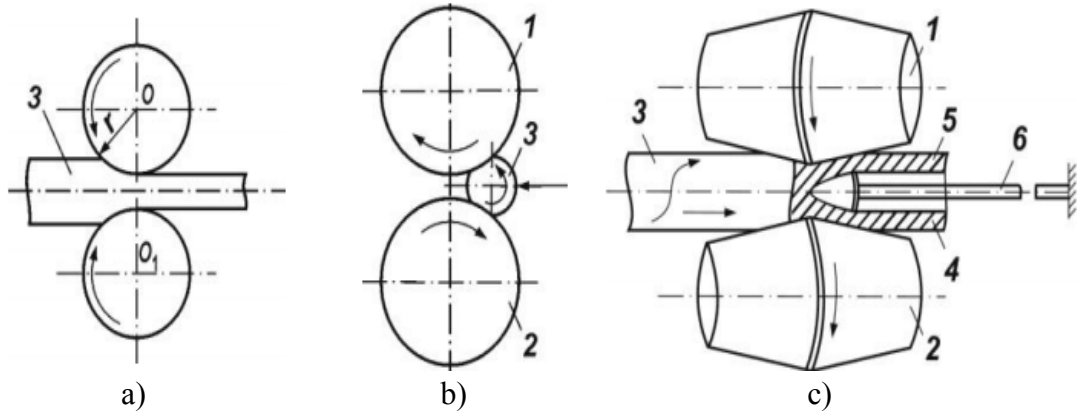
yardımıyla gerçekleştirilir. Sac şekillendirme işlemi bükme, derin çekme, kesme işlemleri gibi birçok sac metal işlemleri vardır.

2.2 Kütle Şekillendirme İşlemleri

Kütle terimi, yüzey/hacim oranı düşük olan parçalar anlamındadır. Büyük deformasyonlarla ve masif şekil değişiklikleriyle karakterize edilir. Başlangıçta parça şekilleri silindirik kütükler ve dikdörtgen çubuklar olarak yer almaktadır. Büyük şekil değişikliğine yol açan ciddi bir deformasyon sürecidir. Çoğunlukla sıcak çalışma koşullarında yapılır. Kütle şekillendirme ile dişliler, burçlar, valfler, motor parçaları üretilmektedir (Sastru university, 2014).

2.2.1 Haddeleme

Haddeleme çok yaygın olarak kullanılır. Bu işlem, iki merdanenin kalınlık doğrultusunda dönerek parçayı çeker ve parçanın kalınlığı azalır, mukavemeti artar. Şekil 2.2’de haddeleme çeşitleri yer almaktadır. Eritilmiş metallerin yaklaşık %75-80 haddeleme işlemi görür.



Şekil 2.2 : a) Boylamasına haddeleme, b) Çapraz haddeleme, c) Sarmal haddeleme
1,2:Merdaneler, 3: Kütük, 4:Çubuk, 5: Maça, 6: Çubuk.

Sabit veya değişken kesit ölçülerine sahip parçalar uzunlamasına haddeleme yöntemiyle üretilir. İki merdane arasındaki kütük parça sürtünme kuvvetinin etkisiyle kalınlığın azalacak yönde çekilmesini sağlar. Çekme işlemiyle kütüğün uzunluğu ve genişliği artar. Haddelemeyle çubuklar, plakalar, sac levhalar gibi parçalar burada üretilir (Akkurt, 2012).

Çapraz haddeleme sırasında merdaneler aynı yönde dönmektedirler. Kütük eksen yönünde beslenir ve merdanelerle temas eden yüzeyden dönme hareketini alır.

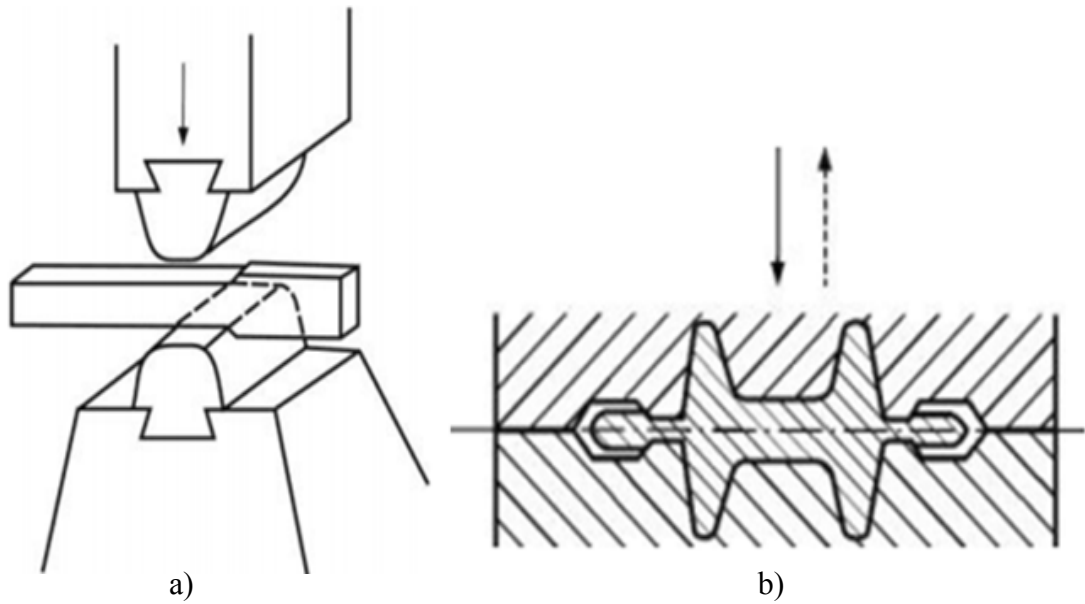
Haddeleme işlemi sırasında özel bir araçla tutulur ve haddeleme merdane ile yapılır. Çapraz haddeleme ile bilye, dişliler vb. gibi özel parçalar üretilir.

Helisel haddeleme eğik merdaneler kullanılır. Eksen doğrultusunda kütük beslemesi aynı anda dönme hareketini de gerçekleştirir. İşlem sırasında çap daralır ve kütük şekillenir. Çubuk hareket yönüne doğru yerleştirilen maçaıyla içi boş ürün elde etmeyi sağlar.

2.2.2 Dövme

Dövme işlemi metal şekillendirme işleminin en yaygın olarak kullanılan metodudur. Açık dövme (Şekil 2.3.a) ve kapalı kalıpta dövme (Şekil 2.3.b) olarak yöntemleri vardır. Açık dövme işlemi sırasında parçanın yüksekliğini azaltması, iki paralel dövme çekiç aparatlarının parçaya temas etmesiyle gerçekleşir. Bu işlem sırasında parçanın enine yönde bir malzeme akışını sınırlayan bir durum yoktur. Üretilen çeşitli ürünlerin şekilleri, kütüğün farklı yönlerden bükme, çizme, delme gibi işlemlerle kalınlık azaltılma sonucunda elde edilir (Danченко,2007).

Kapalı kalıpta dövme işlemi, alt ve üstte yer alan kalıplar arasına kütük adı verilen hammaddenin yerleştirilip dövme işlemiyle kalıbın şeklini almasıdır. Kapalı kalıp sayesinde kütük parça, ürün şeklini alması kolaylaşır ve bu kalıplar dövme işlemi verimliliğini artırır. Valf parçaları, pompa parçaları, küçük dişliler, bağlantı çubukları, somun anahtarları v.b. parçalar bu kapalı kalıp dövme işlemiyle üretilir (Sastra university, 2014).



Şekil 2.3 : a) Açık dövme, b) Kapalı kalıpta dövme.

2.2.3 Ekstrüzyon

Bir metal bloğunun (billet), presleme parçasıyla(ram) küçük kesit alanına sahip kalıp boşluğundan akmaya zorlandığı bir plastik deformasyon işlemidir. Ekstrüzyon, alaşım ve kullanılan yönteme bağlı olarak hem sıcak hem de soğuk şekillendirme için kullanılır. Sıcak işlem için ekstrüzyonda hammaddeye, plastik deformasyonu hızlandırması için ön ısıtma işlemi yapılır.

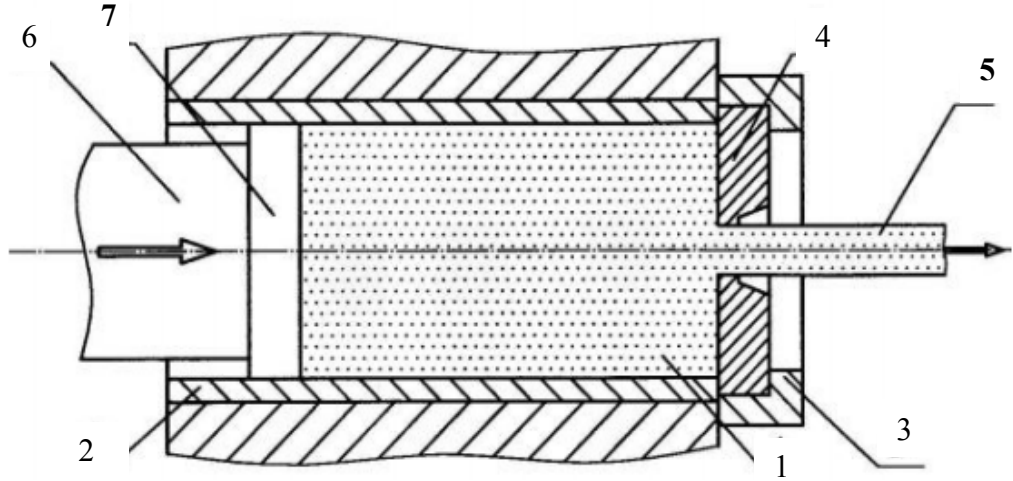
Bu imalat yöntemi genellikle hafif metaller olarak adlandırılan alüminyum, bakır gibi metallerin şekillendirilmesi için kullanılır. Ekstrüzyon yöntemleri, malzemenin akış yönüne ve kuvvetin hareket doğrultusuna göre sınıflandırılır. Bunlar direkt ekstrüzyon, endirekt (vasıtalı) ekstrüzyon, hidrostatik ekstrüzyon ve püskürtmeli ekstrüzyondur (Bayram, 2008).

- Direkt ekstrüzyon yöntemi

Pratikte en çok uygulanan ekstrüzyon metodu direkt ekstrüzyondur. Bu yöntemin gerçekteki yapısı Şekil 2.4'teki gibidir. Düzenekteki numaralandırılmış parçalar; 1 metal blok yani iş parçası, 2 taşıma kalıbı, 3 kalıp tutucu, 4 şekillendirme kalıbı, 5 ekstrüzyon sonucu oluşan ürün, 6 ıstampaya, 7 baskı plakası ve ya ön levha olarak adlandırılmaktadır. Direkt ekstrüzyon yönteminde, ıstampaya uygulanan itici kuvvet sayesinde baskı plakası iş parçasını şekillendirme kalıbına doğru hareket eder. İş parçası plastik deformasyona uğrar ve 4 numaralı kalıbın şeklini alarak kanaldan çıkar.

Bu işlem sırasında 2 numaralı parça ile iş parçası arasında bir sürtünme oluşur. Sürtünme kuvveti, iş parçasının taşıma kalıbına temas ettiği çevrede akış yavaş, iş parçası merkezinde hızlı hareket ederek çıkar. Bu çıkış esnasında blok sonunda huni şeklinde bir boşluk meydana gelir. Büyük ekstrüzyon kuvveti uygulanıp iş parçasının tamamı işleme dâhil edilse bile yan mamulün son kısmı hatalı oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı üretimin sonunda belli bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmaktadır (Çapan, 2010).

Direkt ekstrüzyon metodu dezavantajlarına rağmen takım düzenlemesi basit oluşu, istenilen çap, uzunluk ve kalınlıkta ürün elde edilmesi, daha fazla çeşit ve genişlikte profil üretilmesinden dolayı çok tercih edilmektedir. Bu yöntem çok tercih edilse de uygulamada gereken basım gücünün diğer yöntemlere oranla çok daha fazladır (Çapan, 2010).

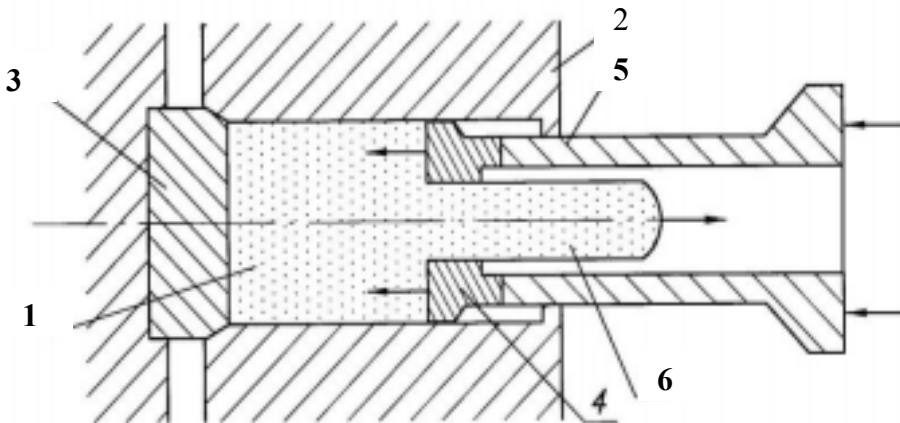


Şekil 2.4 : Direkt ekstrüzyon.

- Endirekt (vasıtalı) ekstrüzyon yöntemi

Direkt ekstrüzyon metodundan sonra yaygın olarak kullanılan diğer ekstrüzyon metodu şekil 2.5'deki gibi bir yapıya sahiptir. Şekilde gösterilen 1 iş parçası, 2 taşıma kalıbı, 3 sabit tıpa, 4 şekillendirme kalıbı, 5 ıstampa bulunmaktadır. İstampaya bağlı şekillendirme kalıbının hareket yönü tersi yönde bir malzeme akışı gerçekleşir.

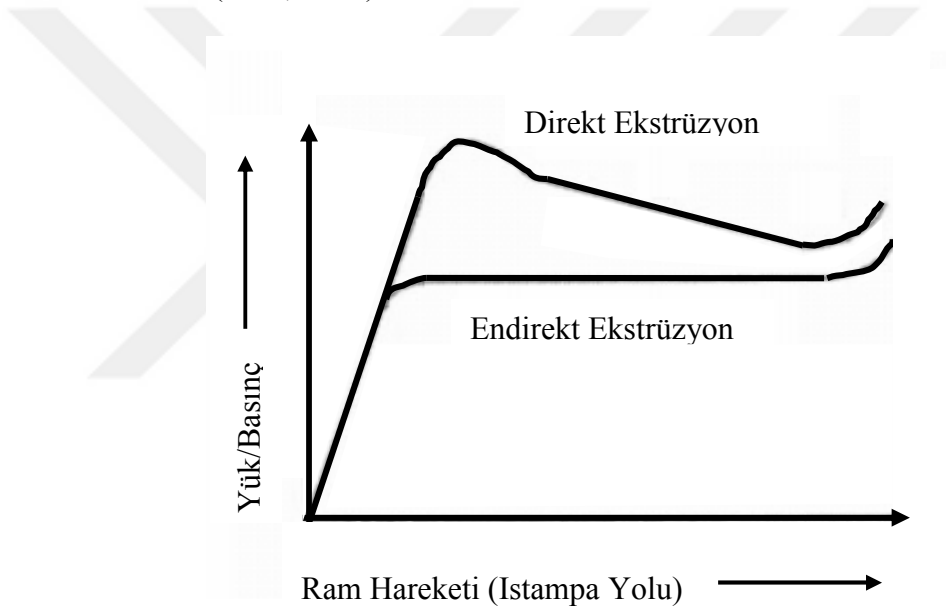
Endirekt ekstrüzyon yönteminde, blok ile taşıma kalıbı arasında ciddi bir sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti direkt ekstrüzyon yönteminkinden azdır. Ayrıca direkt ekstrüzyon yöntemine göre malzeme kayıp miktarı oldukça azdır. Buna bağlı olarak malzeme akışı daha düzenli olmakta ve ekstrüzyon hatalarının oluşum oranı daha azdır (Çapan, 2010).



Şekil 2.5 : Endirekt ekstrüzyon yöntemi şematik gösterimi.

Yükleme veya basıncın ekstrüzyon işleminde ram hareketi (presleme parçasının hareketi) ile iki ekstrüzyon yöntemi için incelenmiş ve şekil 2.6'daki gibi bir grafik elde edilmiştir. Endirekt ekstrüzyon yönteminde yük veya basınç değeri önce hızlı bir şekilde artar ve daha sonra sabitlenir. Pres plakası, strok sonuna yaklaştığında yani tutucu kalıbın sonuna geldiğinde sürtünme kuvveti artar. Direkt ekstrüzyonda ise sürtünme hep vardır ve endirektteki gibi bir sabit değerde ilerlemez (Saha, 2000).

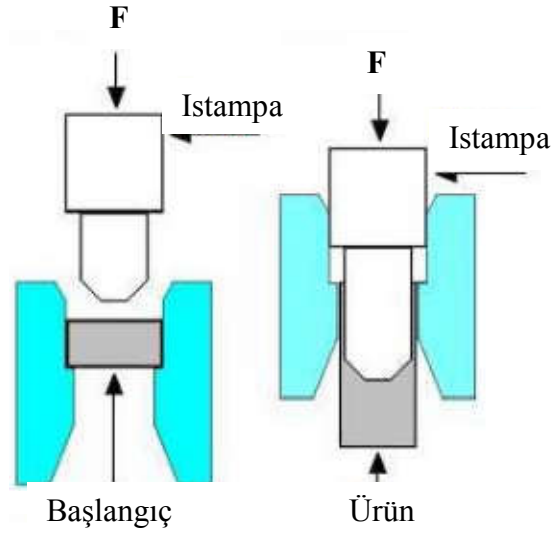
Endirekt yöntemin direkt yöntemine göre yaklaşık %20-30 arasında bir kuvvet kazancı sağladığından; daha yüksek hızda ekstrüzyon, daha düşük blok sıcaklığında çalışma olanağı sağlar. Kullanılan takım parçalarının ömrü direkt ekstrüzyona oranla daha uzun sürelidir. Çünkü direkt ekstrüzyonda sürtünmeden oluşan deformasyon daha fazladır (Saha, 2000).



Şekil 2.6 : Direkt ve endirekt ekstrüzyon işlemlerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi.

- Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi

Püskürtmeli ekstrüzyon demir dışı alüminyum ve alaşımları, çinko, pirinç, kalay, bakır ve alaşımları, kurşun gibi malzemelere uygulanır. Bu yöntem için malzemelerin akma mukavemetinin ve sertliğinin düşük, uzama özelliklerinin yüksek olması gerekir. Püskürtme yöntemi ile simetrik içi boş ya da dolu dönel parçaların üretimi için kullanılır. Şekil 2.7'deki gibi malzeme matris boşluğuna yerleştirilir ve ıstampa darbeleri olarak hızlı bir şekilde malzemeye temas eder. Malzeme ıstampanın hareketine aksi yönde plastik deformasyona uğrar ve kalıbın şeklini alır (Akkurt, 2012).

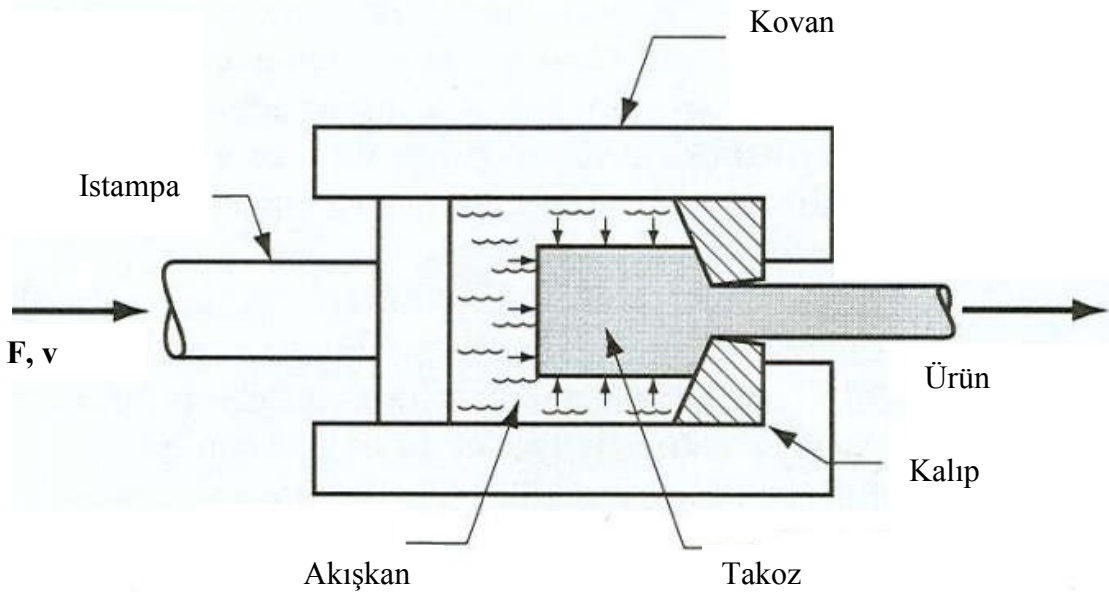


Şekil 2.7 : Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi gösterimi.

Hidrostatik ekstrüzyon yöntemde blok etrafını sıvı akışkan ile çevrenmiştir. Istampa basıncı, sıvı olan bir akışkan vasıtasıyla iletilir ve ekstrüzyon bu sıvı akışkan sayesinde oluşur (Şekil 2.8). Bu akışkan aynı zamanda takozla alıcı arasındaki sürtünmeyi de ortadan kaldırır. Blok ile iş takımları arasında sürtünme kuvveti olmadığından ekstrüzyon kuvveti direkt ekstrüzyon kuvvetinden azdır. İdeal bir akış uygulaması sağlar.

Hidrostatik ekstrüzyon yöntemiyle sadece kırılgen ve zor şekillendirilen malzemeler için değil sünek malzemelerin şekillendirilmesi için de uygulanabilmektedir. Bu yöntem ile hem sıcak hem de soğuk parçaların şekillendirilmesi içinde çalışılabilir. Hidrostatik ekstrüzyonun radyal basıncı aksenal basınca da eşittir (Akkurt, 2012).

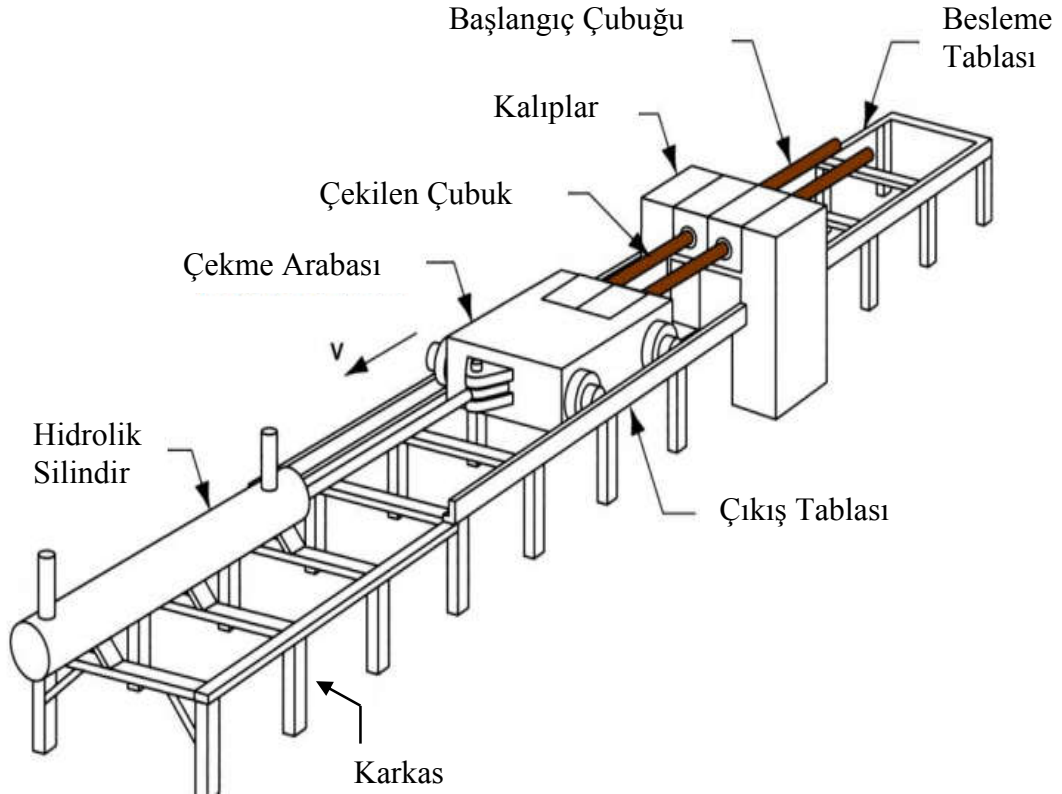
Bu yöntemin zorluğu sızdırmazlığın sağlanması işlemi oldukça zordur.



Şekil 2.8 : Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi.

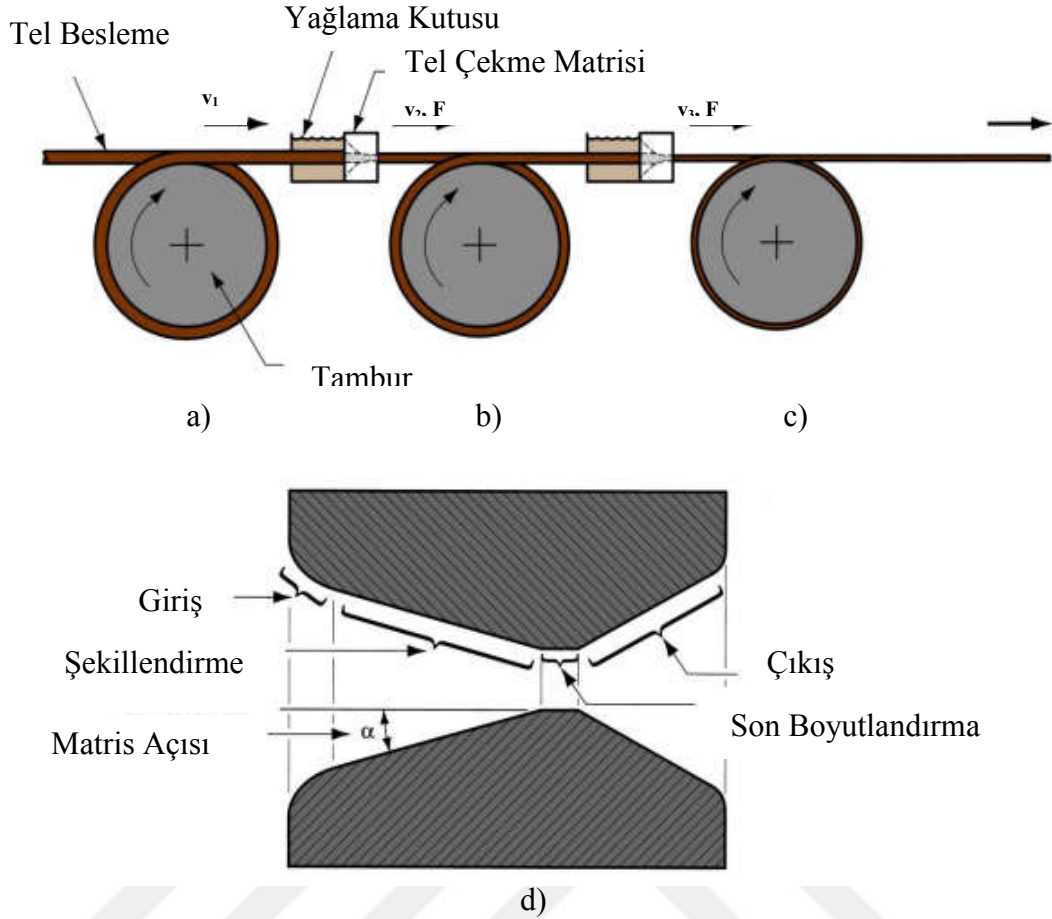
2.2.4 Çubuk ve tel çekme yöntemi

Çubuk çekme işlemi şekil 2.9'daki gibi önce çubuk, matrise yerleştirilir. Kalıptan çıkan parçayı çekme arabasına çeneler vasıtasıyla montajı yapılır. Daha sonra hidrolik silindir çekme arabasını kendisine doğru çeker. Hidrolik düzenek ile 150 tona kadar kuvvetlerin uygulanabildiği ve 30 metre uzunluğunda 10 ile 100 m/dakika hızlarında çekme teçhizatları vardır. Bu işlem için en kritik yer matrisin şekil değişiminin gerçekleştiği konik bölgenin tepe yarım açısıdır.



Şekil 2.9 : Çubuk çekme.

Tel çekme işlemine ait düzenek şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu işlem arka arkaya gerçekleştirildiğinden çok tamburlu bir sistem kullanılmaktadır. Çekilecek malzemenin yüzeyine genellikle bir kaplama uygulanır. Matris yapısı çubuk çekmeyle aynı yapıdadır. Tel çekmede birbirini izleyen tamburlar genellikle arka arkaya yerleştirilir. Her kademedeki kesit daralması, ince tellerde %15 ile %25 arası, kalın tellerde ise %20 ile %5 arasında yapılır. Gelişmiş çekme cihazlarıyla hız 1000 m/dakika gibi çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Soğuk çekme işleminde malzemenin pekleşmesiyle tekrar şekil değiştirme kabiliyeti kazanması için yeniden kristalleştirme gibi ara tavlama işlemleri uygulanabilir (Çapan, 2010).



Şekil 2.10 : a) İlk tamburda teli düzeltme işlemi, b) İkinci tambur ve ilk matristen geçiş, c) Son matristen çıkış, d) Tel çekme matrisinin yapısı.

Hem tel çekme hem de çubuk çekme yönteminde parçaların çekme gerilmesi ve matriste kesit daralmasından dolayı basma gerilmesi de önemli rol oynamaktadırlar. Malzemelerin çekme işlemine hazırlık aşamaları için malzemenin sünekliğini veya şekillendirilebilme özelliğini iyileştirmek için yumuşatma tavlama veya yeniden kristalleştirme tavlama uygulanmaktadır. Ayrıca malzemelerin yüzeyinde ısıl işlem sonrası pasın oluşmasından dolayı temizlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden asidik banyo veya kumlama gibi mekanik işlemlere başvurulur. Temizlemeden sonra yüzeylere bir ön yağlama yapılabilir (Çapan, 2010).

2.3 Sac Metal Şekillendirme İşlemi

Sac metal şekillendirme işlemi yöntemleri dörde ayrılır.

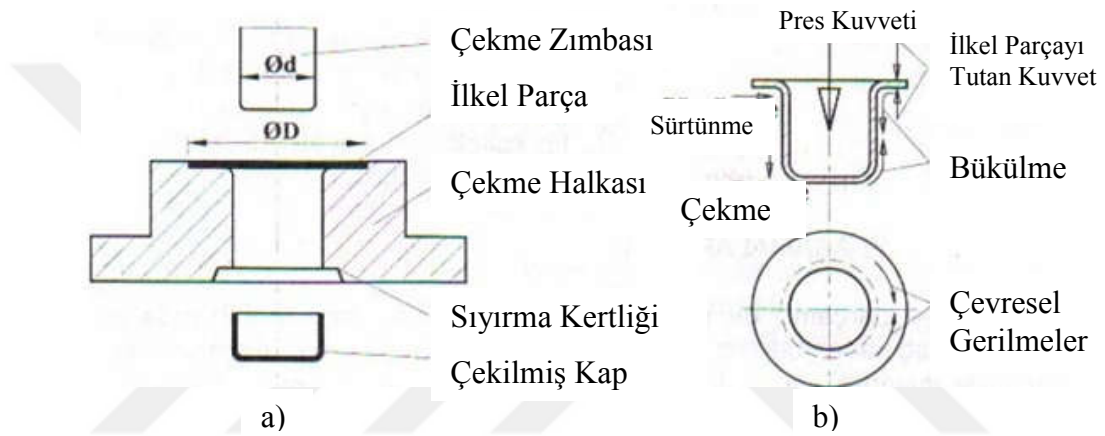
2.3.1 Derin çekme yöntemi

Dişi ve erkek kalıp arasına yerleştirilen düz levhanın, zımbaya ait olan erkek kalıbın levhayı dişi kalıbın içersine doğru basarak gerdirir. Zımbanın yardımıyla sac parça dişi

parçadaki radius üzerinden akarak kalıp boşluğuna doğru girer ve plastik şekillendirme başlar. Erkek parçaya sarılmış sac merkeze doğru akışına devam ederek şekillendirme tamlanır. Bu işlem belirli bir derinlik ve yapıya sahip kapalı bir haline getirilmesi işlemidir.

Derin çekme işlemiyle sacda basma, eğme, çekme ve ütüleme gibi farklı biçimlendirme işlemleri meydana gelir. Ütüleme işlemi sırasında parçanın çapı değişmezken et kalınlığı azalmaktadır.

Derin çekme işleminde şekil 2.11’de belirtildiği gibi kalıplar arasında kalan sac parçada sürtünme, kalıp ağzı boyunca malzemede çekme, basma ve kayma gerilmesi, dışı kalıp radius bölgelerinde bükme gözlemlenmektedir (Arslan, 2017).

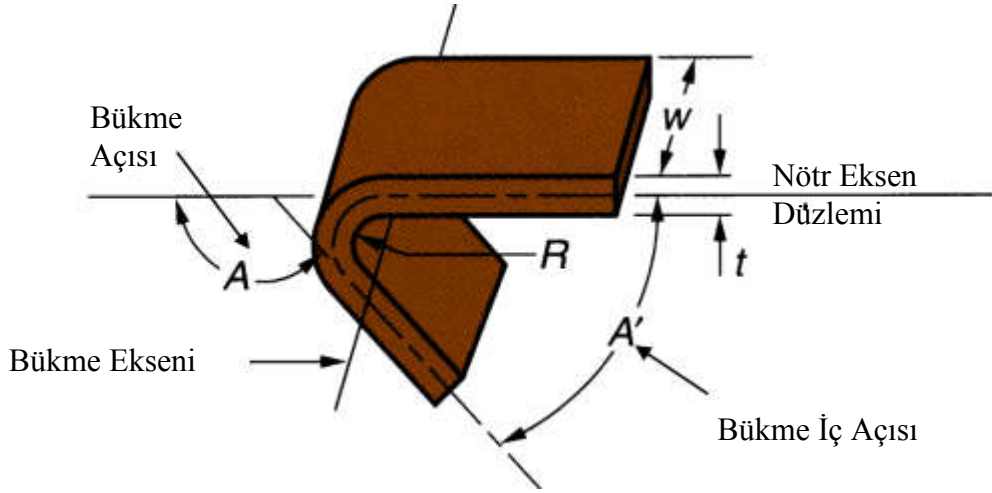


Şekil 2.11 : a) Derin çekme yöntemi, b) Derin çekme işleminde kuvvet ve gerilme bölgeleri.

Bu yöntem ile içecek kutuları, cephane kılıfları, otomobil gövde panelleri gibi silindirik ve kare kaplar veya daha karmaşık konkav parçaların üretilmesinde kullanılır (Çavuşoğlu, 2013).

2.3.2 Sac metal bükme yöntemi

Sac metal bükme işlemi talaş kaldırma operasyonu olmadan yapılan bir işlemdir. Sac dışı kalıbın üstüne yerleştirilir, erkek kalıp saca belli bir eksende basma kuvveti uygular (Şekil 2.12). Sac parça dışı kalıbın şeklini alır. Eğer basma gerilmesi aşılmazsa parça eski şekline geri döner. Basma gerilmesini aştığında akma gerilmesiyle sac plastik deformasyona uğrar .

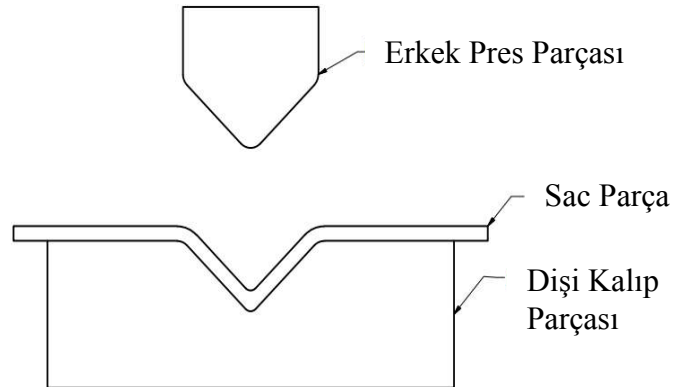


Şekil 2.12 : Bükme yöntemi.

Bükme işleminin birçok çeşidi vardır; V, U, kanal bükme, ofset bükme, oluklu bükme, boru bükme vb. çeşitleri vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı V bükme ve kenar bükme yöntemleridir (Sarıkaya, 2008).

- V bükme yöntemi

V bükme işleminde erkek parça, sac parçanın kalınlığı kadar dışı kalıba sac parçayı bastırır. Bastırma sırasında parça esneme yapar ve dışı kalıbın radyus kısımlarında sac parçanın iç yüzeyinde basma, dış yüzeyinde ise genişleme olur. Şekil 2.13'te V bükme yöntemini düzeneğinin bir örneği gösterilmiştir (Işıktaş ve Ay, 2013).

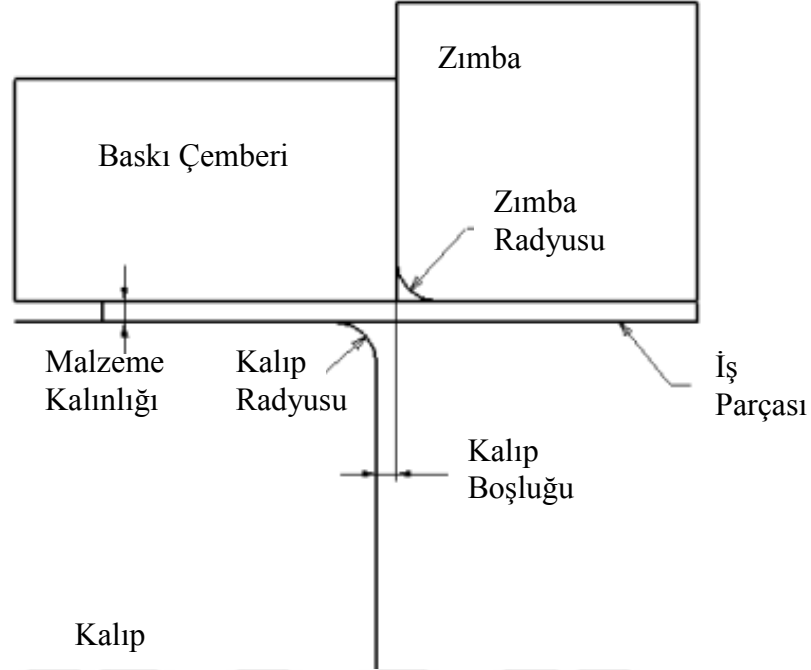


Şekil 2.13 : V bükme yöntemi.

- Kenar bükme yöntemi

Kenar bükme yönteminde bükme işlemi için sac parçayı tutan bükme çemberi, erkek parça (zımba), ve dişi kalıp bulunur. Şekil 2.14'de görüldüğü gibi dişi kalıpta kalıp radyusu ve erkek kalıpta zımba radyüsü bulunmaktadır. Bükme işlemi esnasında önce baskı plakası sac parçayı dişi kalıp üzerinde tutar ve erkek kalıp sac parçaya

baskı uygular ve plastik şekil değiştirme ile parça bükülür. Dişi parça ve erkek parça arasındaki boşluk sac kalınlığı kadar olmalıdır (Işıқтаş ve Ay, 2013).



Şekil 2.14 : Kenar bükme yöntemi.

Sac bükme işleminde bükülen parçada oluşan deformasyonlar ve gerilmeler malzemenin kalınlığına ve özelliklerine, uygulanan kuvvet değerine, zımba yarıçapına ve bükülme açısına bağlıdır.

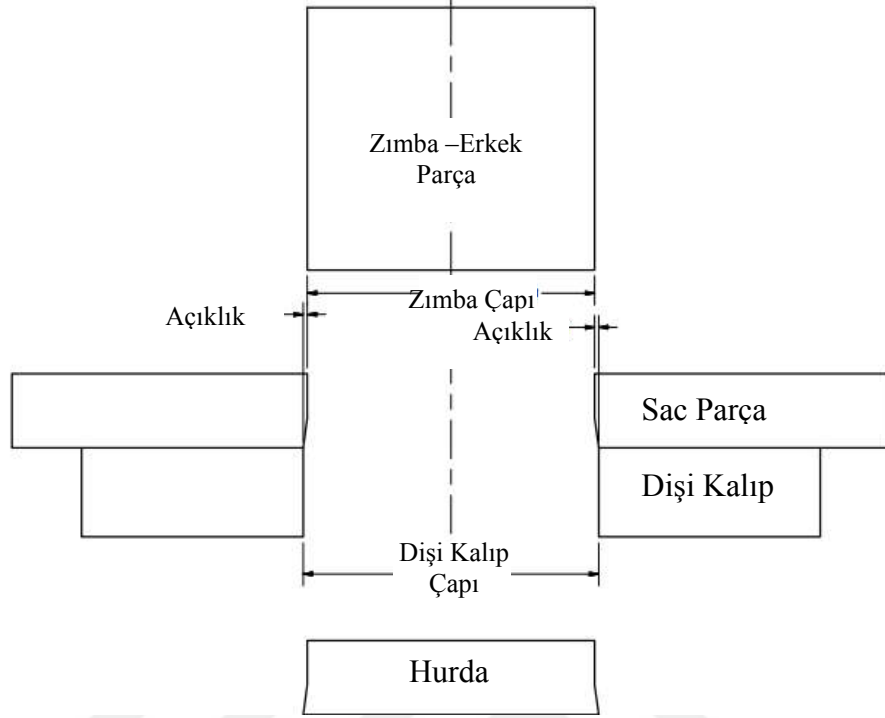
2.3.3 Sac metal kesme yöntemi

Sac metal şekillendirme yönteminde talaş kaldırmadan yapılan bir yöntemdir. Bir makas veya kesici takım ile parça şekillendirilir. Sac kesme işleminin erkek kalıbına zımba ve dişi kalıbına dişi kesici olarak adlandırılan iş takımları kullanılır.

Öncelikle iş parçası olan sac parça dişi kalıba konular. Zımba, sac malzemeye temas ettikten sonra aşağı doğru hareket ettirir ve kesilecek olan yüzey önce elastik daha sonra elastik sınırı aştıktan sonra deformasyon başlar. Plastik deformasyonda parça kesilir.

Zımbanın kestiği parça kalıp boşluğundan çıkar ve sac parçadan ayrılır. Kesilen parça oluşması için dişi ve erkek kalıp makaslama yaparak keser. Bunun için kesici takımı tasarımında bu da önemli bir parametredir. Kesme takımında ayrıca dişi kalıbında açılal boşluk derecesi, delik zımba çapı, delik kalıp çapı ve kesici takımların malzeme özellikleri önemlidir (Şekil 2.15). Kesilen malzemenin cinsi,

kalitesi, kalınlığı ve mekanik özellikleri kesilme işleminde önemli parametrelerdir (Akkurt,2012).



Şekil 2.15 : Sac kesme yöntemi.

2.4 Zıvanalı Geçme Yöntemi

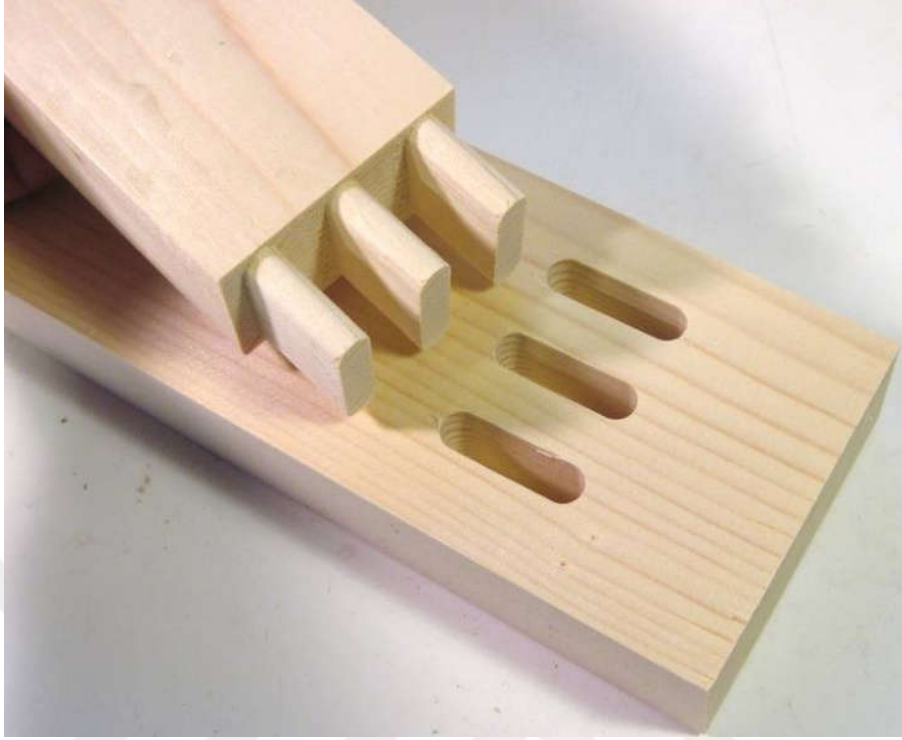
Ahşap mobilya sektöründe en eski bağlama yöntemi olarak bilinmektedir. Arkeolojik kaynaklardan Orta doğu, Asya ve Avrupa'da ev yapımında kullanılmış bir yöntemdir. Çin'deki arkeolojik kanıtlara göre ilk olarak zıvanalı bağlantı buralarda kullanılmıştır (Hyde, 2018).

Bu eski bağlantı yöntemi eski çağlarda çok sağlam bir metot olup sadece ağaç işlemlerinde değil aynı zamanda metal işlemlerinde ve ev duvarı yapımında da kullanılmaktadır. İki ahşap parçanın birbirine çapraz olarak bağlamanın en uygun yöntemidir.

2.4.1 Ahşap işlemlerinde zıvanalı geçme

Zıvanalı bağlantı yöntemi taş ve metal işlemlerinde de kullanılır fakat en yaygın olarak ahşap işlemlerinde kullanılmaktadır. Bir ahşap blok parçanın iç kısmı daire şeklinde veya dikdörtgen şeklinde boşaltılır ve bu parçaya mortise yani zıvana boşluğu adı verilir, diğer bir blok parçanın da bu boşluktan geçebilecek boyutta kesilir ve bu

parçaya tenon yani zıvana dili adı verilir. Şekil 3.1’de bu bağlantıya bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.16 : Zıvanalı bağlantı örneği.

2.4.2 Metal bağlantı işlerinde zıvanalı geçme

Zıvanalı geçme yöntemi geleneksel olarak demircilik sektöründe kullanılan bir bağlantı çeşididir. Sadece güçlü olmasının yanında tasarım açısından da etkileyici bir yapıya sahiptir.

Demircilik, antik çağda kullanılan bir zanaattır. Elektriğin bulunmasından önce demirin şekillendirilmesinde insan gücüyle çalışan çekiçler kullanılırdı. Kesme, yontma ve kaynak yapma işlemleri tamamen bir örs üzerinde defalarda dövülerek yapılırdı. Zıvanalı geçme yöntemi demircilik sektöründe ilk olarak parçanın bir lokal ısıtma işlemi uygulanır. Daha sonra bu kısım çekiç yardımıyla dövme işlemi yapılır. Dövme işlemiyle parça yanlara doğru şişer. Ve zıvana dili yapısı ve zıvana bitiminde omuz yapısı oluşturulur. Omuz yapısı sayesinde zıvana dişi parçası erkek parça üstüne tutunur ve zıvana boşluğundan zıvana dili geçer. Daha sonra dişi parça için zıvana boşluğu yapısı sıcak şekillendirme yardımıyla açılır. Ve zıvana dili bu aralıktan geçer. Bir balyoz yardımıyla, zıvana dili dövülür ve perçinleme işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3.2’de işlemlerle ilgili görsellere yer verilmiştir (Hyde, 2018).



a)



b)



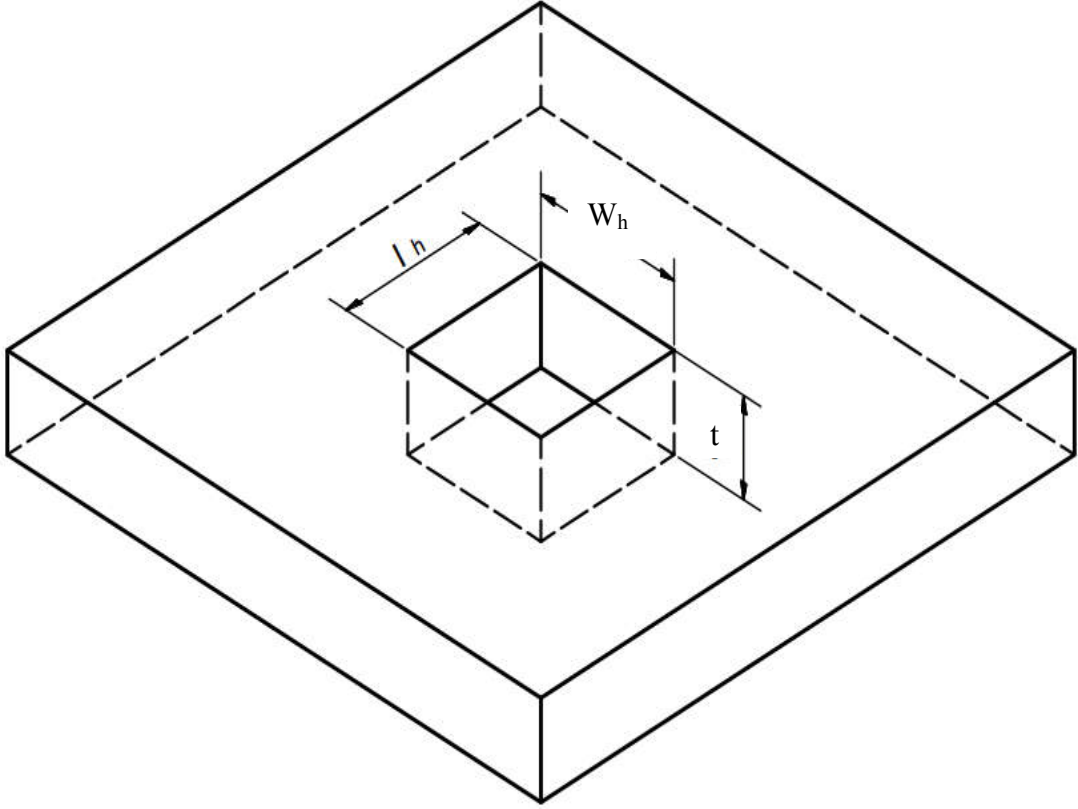
c)

Şekil 2.17 : a) Zıvana dilinin oluşturulması, b) Zıvana dili ve zıvana boşluğunun birbiri içersinden geçmiş durumu, c) Zıvana dilinin dövülerek iki parçanın zıvana geçme bağlantısının oluşturulmuş hali.

3. ANALİTİK MODELLER

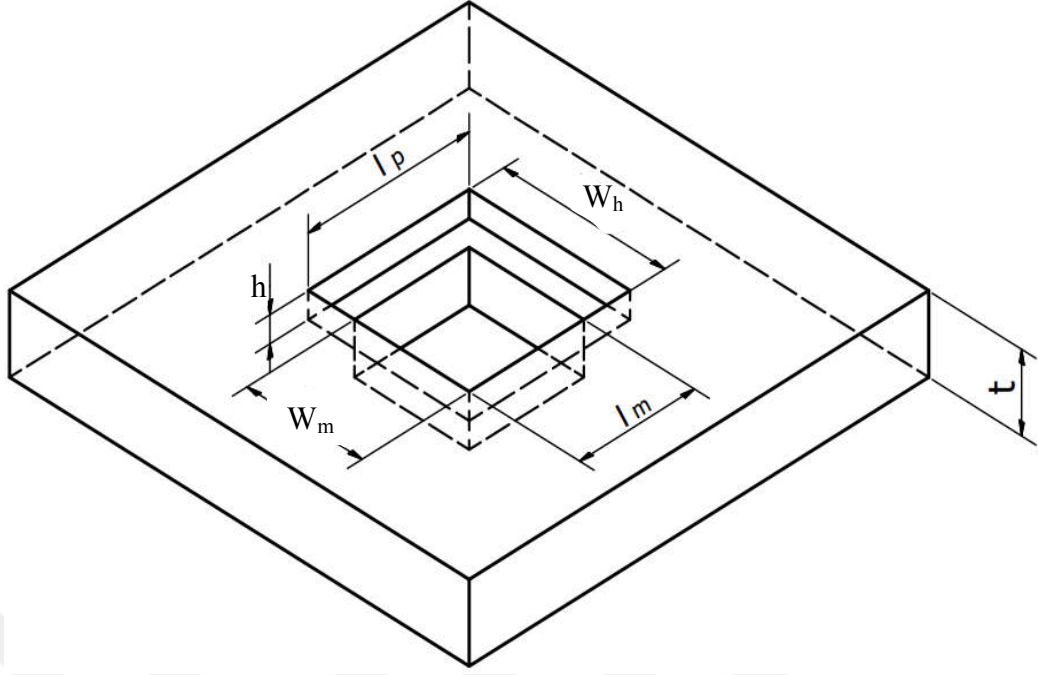
Bu çalışmada iki çeşit dişi zıvana boşluğu yapısı vardır. Şekil 3.1 deki gibi düz bir zıvana boşluğu bulunurken şekil 3.2'deki yapıda kademeli bir zıvana boşluğu bulunmaktadır. Yapılan iki sac parçayı sac-kütle şekillendirme ile birbirine dik olarak iki aşamada birleştirilmesi çalışmasında, bu iki farklı geometrik yapıyı kullanmışlardır. Bu çalışmada da bu kritik noktalar dikkate alınmıştır.

Şekil 3.1'de l_h zıvana boşluğu genişliği, W_h zıvana boşluğu genişliği ve t_m sac parça kalınlığıdır. Ayrıca W_t zıvana dilinin genişliğidir.



Şekil 3.1 : Model 1.

Şekil 3.2'de l_p büyük zıvana boşluğu genişliği, l_m küçük zıvana boşluğu genişliği, W_p büyük zıvana boşluğu genişliği ve sıkışma boşluğu, W_m küçük zıvana boşluğu genişliği, t_m sac parça kalınlığı, h kademe yüksekliği veya sıkışma yüksekliğidir.



Şekil 3.2 : Model 2.

Parçaların plastik deformasyon yaklaşımını etkileyen geometrik parametreleri yukarıda verilmiştir. Bu parametrelerin birbiriyle olan etkisi aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$W_h = W_m + \left(\frac{W_p - W_m}{t} \right) h \quad (3.1)$$

$W_t = W_m$; zıvana dili genişliği ve zıvana boşluğu genişliği birbirine eşittir.

$t \geq h$; sac parça kalınlığı, sıkıştırma yüksekliğinden büyük ve eşit olabilir.

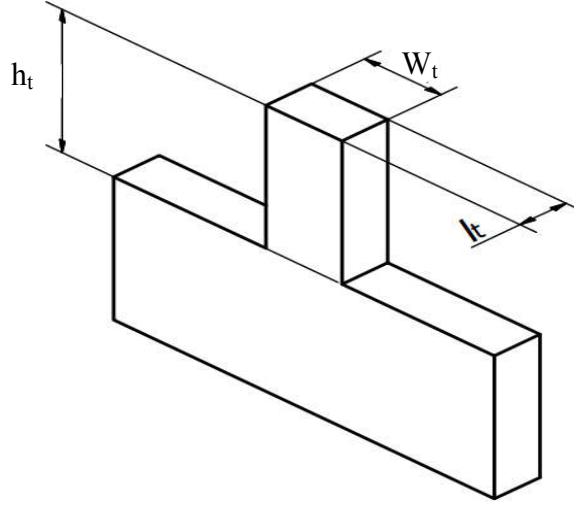
$W_h = W_m$; bu eşitlik iki farklı dişi zıvana boşluğunun limit durumudur.

$W_{p_{max}}$ sıkıştırma genişliği ile zıvana dilinin en fazla plastik deformasyonuna cevap verecek olan değerdir.

Dişi zıvananın hacim sıkıştırılmazlığını çözümü için başlangıçtaki dikdörtgen şeklindeki l_h uzunluğunu aşağıdaki ifade gibi belirlenir.

$$l_h = \frac{W_m}{W_h} l_m + \left(\frac{W_p l_p}{W_h t} - \frac{W_m l_m}{W_h t} \right) h \quad (3.2)$$

Küçük dikdörtgen boşluğu l_m ve zıvana dilinin plastik deformasyonla sıkıştırma yüksekliği l_h 'tır. Denklem 2'ye göre l_h ve h arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Şekil 3.3'de zıvana diline ait h_t yüksekliği, W_t genişliği ve l_t uzunluğu göstermektedir (Alves ve diğ, 2018).



Şekil 3.3 : Zıvana dili geometrik yapısı.

Zıvana dili preslendiği zaman malzemede bozulmalar ve plastik kararsızlıklar oluşup burkulmaya maruz kalır. Bunu için zıvana dilinin de geometrik parametreleri önemlidir.

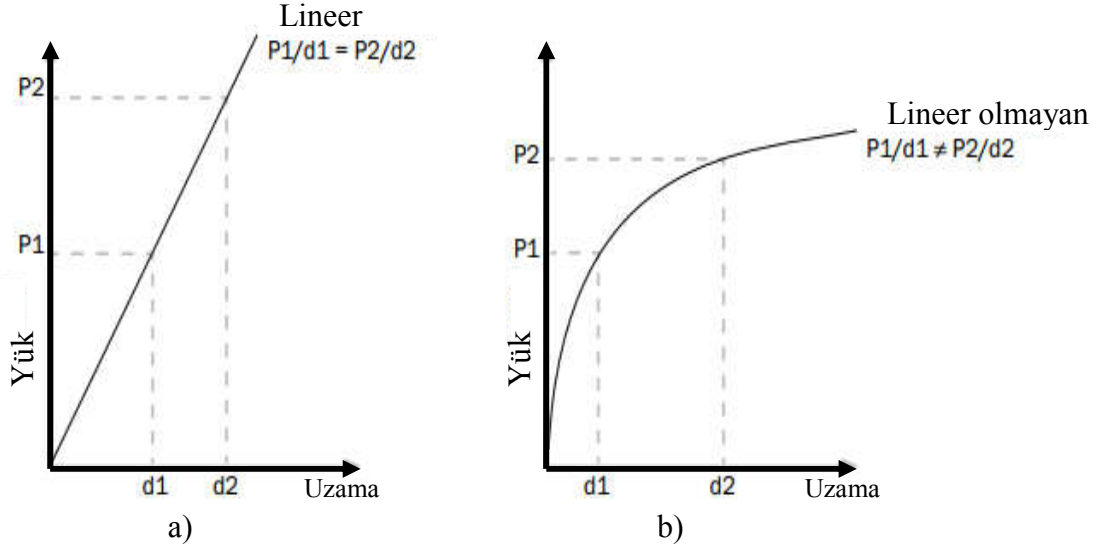
Bu koşullar altında dişi zıvananın kademeli dikdörtgen boşluğu, erkek zıvananın plastik deforme olmuş değerleri için önemlidir. Çünkü deformasyon anında veya sonrasında zıvana dili, dişi parçayı deforme edip karşı kısma geçebilir. Bu durumu aşağıdaki eşitlik ile vurgulanmıştır(Alves ve diğ, 2018).

$$h_t = \frac{W_p l_p}{W_t l_t} h \quad (3.3)$$

Burada $W_p l_p$ dişi zıvananın boşluğunun alanı, $W_t l_t$ ise zıvana dili kesit alanıdır. Yapılan bu çalışmada iki durum vardır; biri kademeli $W_p l_p > W_t l_t$ yapısı ve diğeri ise kademesiz $W_p l_p = W_t l_t$ yapısıdır (Alves ve diğ, 2018).

3.1 Malzeme Davranışı

Yapısal tepkiler örneğin deformasyon, stres, gerinim yükü büyüklükleri doğrusal olarak kuvvet, basınç, moment, tork ve sıcaklık gibi büyüklüklerle doğrusal bir orantıları varsa böyle bir yapıda lineer analiz olarak bilinir. Eğer göstermezse lineer olmayan bir analiz gösterir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi malzemenin lineer ve lineer olmadığı durumdaki halleri incelenmiştir.



Şekil 3.4 : a) Lineer sonuçlar, b) Lineer olmayan sonuçlar.

Lineerlik durumuyla ilgili 1600'lü yıllarda Robert Hooke, kuvvet ve yer değiştirme arasındaki ilişkiyi Hooke Kanunuyla basit ve anlaşılır bir eşitlikle açıklamıştır (Ayyıldız, 2006).

$$F = K \cdot u \quad (3.4)$$

Eşitlikte yer alan "F" kuvveti, "u" yer değiştirmeyi ve "K" ise lineer rijitliği ifade etmektedir. K değeri kuvvet ile yer değiştirme arasındaki eğimdir. Nonlineer sistemde K rijitlik sabiti değeri yoktur. K rijitliği kuvvetin bir fonksiyonu ve tanjant katılığı olarak bilinmektedir (Ayyıldız, 2006).

Çoğu zaman malzemenin çalışma koşullarında ya doğrusal değildir ya da yapının geometrisi kendisine doğrusal yanıt vermesini engellemektedir.

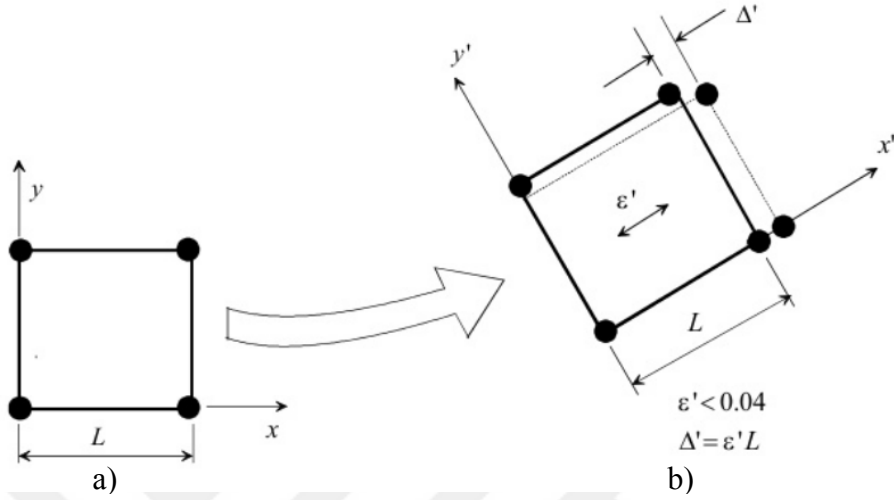
Lineer olmama durumu 3 temel konuda incelenebilir.

- Geometrik non-lineerlik
- Malzeme yapısı bakımından lineer olmaması
- Bağlantı türünden dolayı lineer olmaması

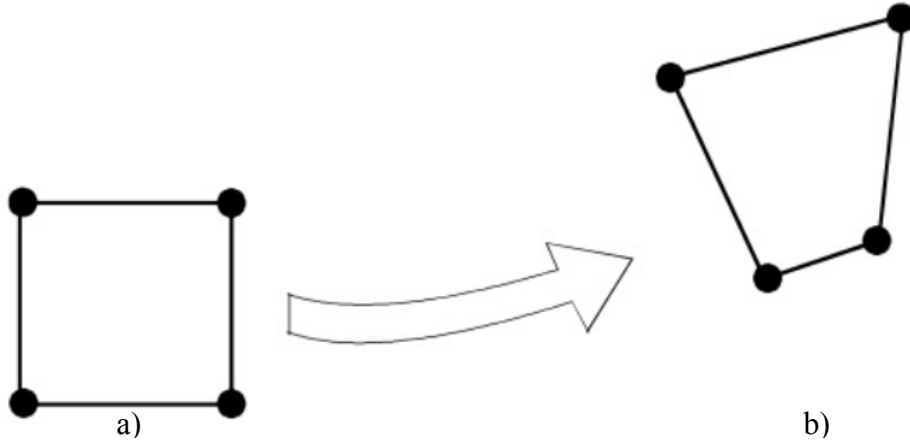
3.1.1 Geometrik nonlineerlilik

Geometrik nonlineerlik geometri kesitinin büyük deformasyonu hesaba katılır. Büyük deformasyonlar, geometrik burkulma ile de açıklanması şekil 3.5 ve şekil 3.6 da gibi gösterilmiştir.

Bir yapısal elemanın yüksek basınçlı bir strese ani olarak maruz kaldığında, bozulma noktasındaki gerçek stres değeri malzemenin dayanabileceği ultimate basınç stresinden daha azdır. Bu yüzden denge denklemleri deformasyona uğramış geometriye göre yazılmalıdır. Uygulanan yükler, basınç arttıkça yön değiştirebilir.



Şekil 3.5 : a) Hareketsiz malzeme, b) Büyük yer değiştirme ve küçük gerinme (lineer veya lineer olmayan malzeme davranışı).



Şekil 3.6 : a) Hareketsiz malzeme, b) Büyük yer değiştirme ve büyük gerinme (lineer veya lineer olmayan malzeme davranışı).

Lineer sonlu elemanlar analizinde, gerinim için x yönünde $\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ bu şekildedir.

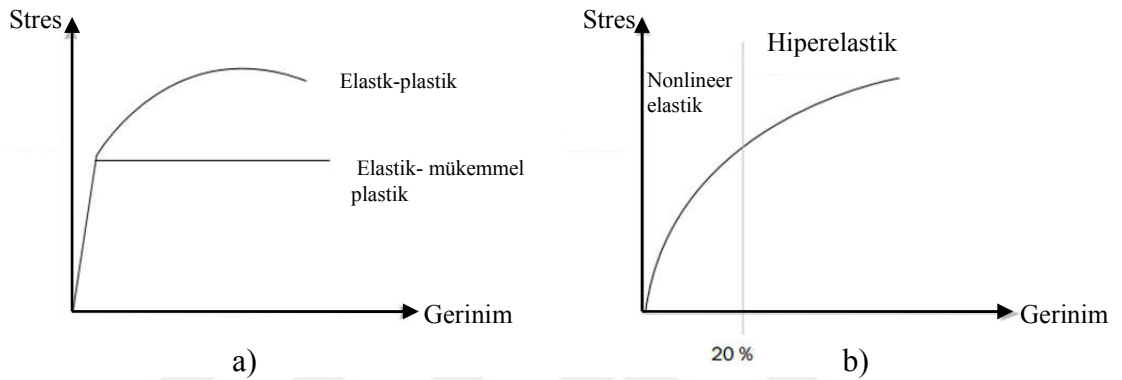
Büyük şekil değişikliğinde lineer olmayan durum için;

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} + \dots + [(\partial u / \partial x)_z + (\partial v / \partial x)_z + (\partial w / \partial x)_z] \quad (3.5)$$

formülü kullanılır. Bu durumda stres-gerinim arasındaki ilişki lineer olabilir ya da olmayabilir (Urquiza ve Hanchate, 2015).

3.1.2 Malzemenin nonlineerliği

Malzemenin nonlineerliği, bir malzemenin deformasyon eğilimine, deformasyon oranına, sıcaklığa ve basıncına bağlı davranışlarını içerir. Lineer elastik malzeme yaklaşımı en basit olanıdır. Eđer malzeme nonlineer elastik ise malzeme geri kazanılabilir, eđer plastik olması durumunda geri kazanılamazdır (şekil 3.7). Malzemeyi gerinim oranının malzeme oranı üzerinde önemli bir etkisi varsa visko-elastiklik ve visko-plastiklik dűřünülmeli gerekmektedir (Urquiza ve Hanchate, 2015).



şekil 3.7 : a) Elastik ve plastik malzeme davranışı, b) Nonlineer elastik ve hiperelastik malzeme davranışı.

3.1.3 Nonlineer sınır koşulları

Nonlineerlik iki parçanın arasındaki bağlantıya veya deformasyona bağlı yüklemeye bağlıdır. Sistemin deformasyon durumu ile değiştirilen sınır kısıtlamaları nonlineerliğin temel nedenidir. Başka bir parçayla temas olduğunda bir deformasyon işlemi esnasında gözlemlenebilir (Uçan, 2011).

3.1.4 Büyük gerinim ve büyük yer değiştirme davranışı

Büyük gerinim durumunda bir yapının hacim ve şekil değişiklikleri ihmal edilemez. Eleman seviyesindeki şekil değişikliklerinin incelenmesidir. Son eleman şeklinin başlangıç eleman şekline göre önemli ölçüde farklı olacak kadar çekilmeye, basılmaya ve kesilmeye maruz kalmasıdır. Bu yüzden gerçek iş ve gerçek kuvvet denklemlerinin birleştirilmesinde, gerçek yer değiştirme prensibi kontrol hacminin üzerinde olmalıdır.

Büyük yer deđiřtirmelerin geometrik uygunluk kořullarına etkisini dűřünerek bir yapısal analiz ile lineer olmayan çözümlerde daha gerçekçi sonuçlar elde

edilmektedir. Lineer olmayan statik analiz ve dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Lineer olmayan dinamik analiz yöntemleri ile gerçeğe yakın bir şekilde sonuçlar verir fakat yöntemlerin karmaşıklığından dolayı pratikte kullanımı zordur. Bu yüzden lineer olmayan statik analiz yöntemi kullanımı daha çok tercih edilir (Korkmaz ve Kayhan, 2008).

3.2 İmplicit Ve Eksplicit Yöntemler

İmplicit ve explicit zaman entegrasyonu yaygın kullanılan iki farklı çözüm tipleridir. İmplicit çözüm entegrasyonu lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanıldığında, yakınsama problemleri ortaya çıkar. Explicit zaman entegrasyonu kullanıldığı zaman geometrik, malzeme ve temas non-lineerliği hiçbir probleme yol açmadan işlenebilir. Explicit kodlar, sac şekillendirmede uygundur ve sıklıkla denemelerde kullanılır (Uçan, 2011).

Explicit sonlu elemanlar yöntemi, yüksek hızlı ve kısa süreli yükleri içeren problemlerde yaygın olarak kullanılır. Explicit yöntem ile ayrıca, dinamik geçiş analizleri, her çeşit lineer olmayan analizler, yapısal temas veya kopma problemleri, plastik veya hiper-elastik malzeme davranışları, fazla uzayan veya fazla dönen geometri analizlerinde kullanılır.

Explicit yöntemin bazı avantajları aşağıda verilmiştir;

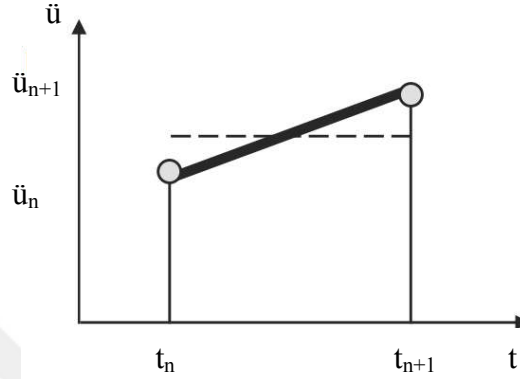
- Basit bir algoritması nedeniyle karmaşık lineer olmayan analizler kolaylıkla hesaba dâhil edilir.
- Direkt eliminasyon metotlarına göre çok az veri depolama yapar.
- Daha az kodlama gerektirdiği için yeni fikirleri test etmek için idealdir.

Explicit metodu çok küçük zaman aralıkları gerektiren durumlarda koşullu kararlıdır. Bu nedenle yuvarlama hataları nedeniyle doğruluk sorunlar oluşur. Ancak explicit iterasyonlar birçok sonlu elemanlar çözüm algoritmasından hızlı bir biçimde çözüme ulaşır. Bu nedenle, çok eleman içeren lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu çözüm yöntemi ile otomotivde çarpışma analizleri, devrilme problemleri, gemi sektöründe çarpışma ve bu gibi analizlerde kullanılmaktadır (Uçan, 2011).

Eksplicit analiz yönteminde zaman adımının çok küçük olması temas penetrasyonlarının çok fazla olmamasına neden olur. Bu nedenle explicit yöntemde temas yakınsaması ile ilgili genel olarak problem yaşanmaz (Uçan, 2011).

3.2.1 İmplicit zaman metodu

İmplicit zaman metodunda ivme sabit olarak kabul edilir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi hız zaman eğrisinde yer değiştirme ikinci türevi-zaman grafiğine yer verilmiştir.



Şekil 3.8 : Yer değiştirmenin ikinci türevi zaman grafiği.

Ortalama sabit bir ivme varsayımı vardır. Kuvvet denklemini t_{n+1} zamanında değerlendirilirse:

$$F_{n+1}^{\alpha} = [M]. (\ddot{u}_{n+1}) + [C]. (\dot{u}_{n+1}) + [K]. (u_{n+1}) \quad (3.6)$$

İvme ve hız ifadelerinin $n+1$ zamanına bağlı denklemleri aşağıdaki denklem 3.7 ve 3.8 deki gibidir.

$$\ddot{u}_{n+1} = \frac{4}{\Delta t^2} (u_{n+1} - u_n) - \frac{4}{\Delta t} \dot{u}_n - \ddot{u}_n \quad (3.7)$$

$$\dot{u}_{n+1} = \dot{u}_n + \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}_n + \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}_{n+1} \quad (3.8)$$

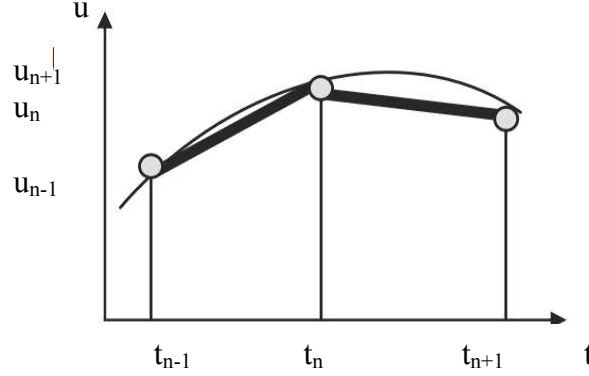
t_{n+1} zamanında bilinmeyen yer değiştirme çözümü aşağıdaki denklemdeki (3.9) gibidir.

$$\left(\frac{4}{\Delta t^2} \cdot [M] + \frac{2}{\Delta t} \cdot [C] + [K] \right) \cdot (u_{n+1}) = F_{n+1}^{\alpha} + [M]. \left(\frac{4}{\Delta t^2} \cdot (\alpha_n) + \frac{4}{\Delta t} (\beta_n) + (\gamma_n) \right) + [C] \left(\frac{2}{\Delta t} (\alpha_n) + (\beta_n) \right) \quad (3.9)$$

M, K ve C lineer analiz durumunda matris sabitleri zaman basamağında değerleri değişmez (Ayyıldız, 2016)

3.2.2 Eksplicit zaman metodu

Bu yöntemde aşağıdaki şekil 3.9'daki gibi yer değiştirme lineer olarak değiştiği varsayılır.



Şekil 3.9 : Yer değiştirme zaman eğrisi.

$$F_n^\alpha = [M].(\ddot{u}_n) + [C].(\dot{u}_n) + [K].(u_n) \quad (3.10)$$

İvme ve hız denklemleri:

$$\ddot{u}_n = \frac{1}{\Delta t^2} (u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}) \quad (3.11)$$

$$\dot{u}_n = \frac{1}{2\Delta t} (u_{n+1} - u_{n-1}) \quad (3.12)$$

t_{n+1} zamanında bilinmeyen yer değiştirme çözümü aşağıdaki denklemdeki (3.13) gibidir.

$$\left(\frac{1}{\Delta t^2} \cdot [M] + \frac{2}{\Delta t} \cdot [C] \right) \cdot (u_{n+1}) = F_n^\alpha - \left([K] - \frac{2}{\Delta t^2} \cdot [M] \right) u_n - \left(\frac{1}{\Delta t^2} \cdot [M] - \frac{2}{\Delta t} \cdot [C] \right) (u_{n-1}) \quad (3.13)$$

Explicit ve implicit çözüm yöntemlerini karşılaştırsak;

İmplicit yöntemi

- Doğrusal olmayan implicit analizlerde bir dizi iterasyon gereklidir. Newmark metodu ve Newton Raphson Metotları kullanılır.
- Yer değiştirme zamanın bir fonksiyonu değildir. Bu nedenle yer değiştirmenin türevleriyle elde edilen hız ve ivme sıfır kabul edilir. Oluşan bu terimler ihmal edilir.

- Bir problemi çözmek için rijitlik matrisinin tersini almak gerekir. Rijitlik matrisi ne kadar çok büyürse çözmek için gereken işlem gücü ve çözüm süresi artmaktadır.

Explicit yöntemi

- Kararlılık limiti nedeniyle çok küçük zaman adımları gereklidir.
- Rijitlik matrisinin $[K]$ tersini almayı gerek duymaz. Analizlerde zaman adımının büyüklüğü ile ilgili bir kısıtlaması yoktur.
- Yer değiştirme zamanın bir fonksiyonudur. Bu nedenle hız ve ivme ile birlikte kütle ve sönümleme de bu yönteme dâhil edilir.
- Çözümlemesi gereken denklem sistemleri yoktur.
- Bilgisayar işlemlerinde daha az bellek kullanılır.
- Lineer ve lineer olmayan çözümler arasında fark bulunmamaktadır.

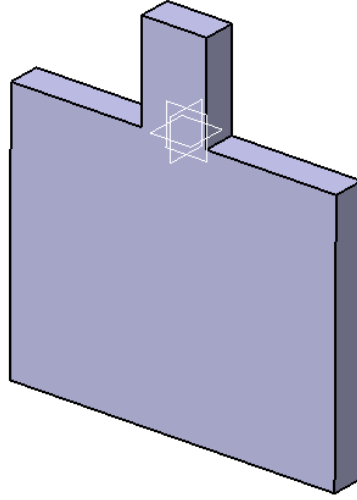
Bu tez çalışmasında explicit analiz yöntemi kullanılmıştır.

4. ANALİTİK ÇALIŞMALAR

Sac parça tasarımında genellikle kullanılan Catia V5R20 programı bu tez çalışmasında tercih edilmiştir. Parçalar Catia programında modellenip, step formatında kaydedilmiştir. Step formatı analiz programında çalıştırılması için yapılması gereken bir adımdır. Analiz programı olarak HyerWorks kullanılmıştır.

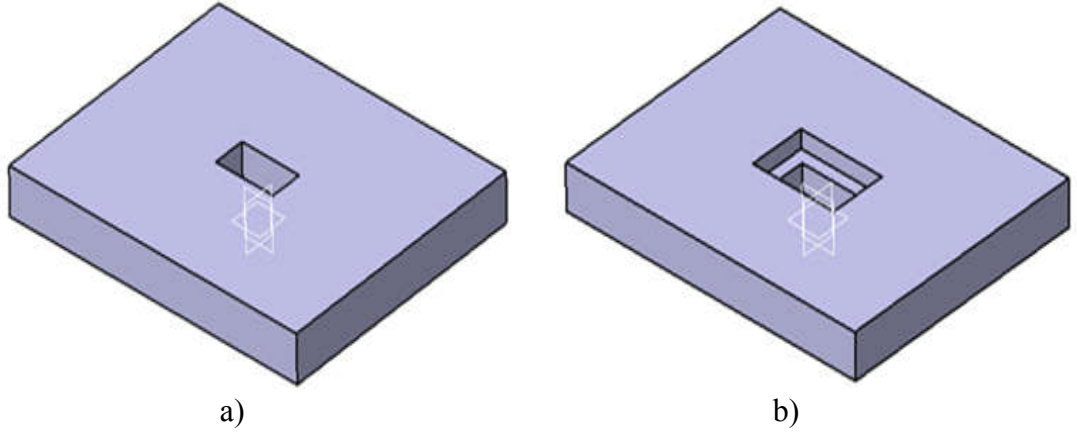
Tasarlanan parçalar;

- Erkek parça, zıvana dili (Tenon) olarak adlandırılır. İki tane parça tasarlanmıştır. Bu tenon parçasında bir kritik değer vardır. Şekil 3.3'teki belirtilen h_t değeri için 10mm ve 15 mm ölçüleri belirlenmiştir. Aşağıdaki şekil 4.1'de erkek parçanın modellenmiş hali gösterilmiştir.



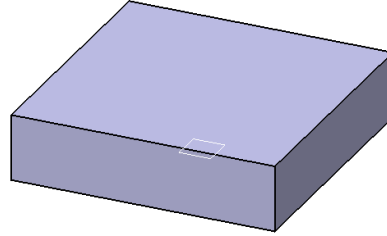
Şekil 4.1 : Zıvana dili parçası (Tenon).

- Dişi parça, zıvana boşluğu (mortise) olarak adlandırılır. Zıvana boşluğu yapısı için iki farklı model düşünülmüştür. Kademesiz ve kademeli boşluklar için iki parça tasarlanmıştır. Şekil 3.1 ve şekil 3.2'teki gibi geometrik boyutlara göre tasarlanmıştır. Şekil 4.2'deki parçaların ölçüleri aşağıda verilmiştir.
 - ✓ a parçasının ölçüleri: $l_h \times W_h = 5 \times 10 \text{ mm} \times \text{mm}$
 - ✓ b parçasının ölçüleri: $l_m \times W_m = 5 \times 10 \text{ mm} \times \text{mm}$, $l_p \times W_p = 9 \times 14 \text{ mm} \times \text{mm}$ ve $h = 2 \text{ mm}$ 'dir.



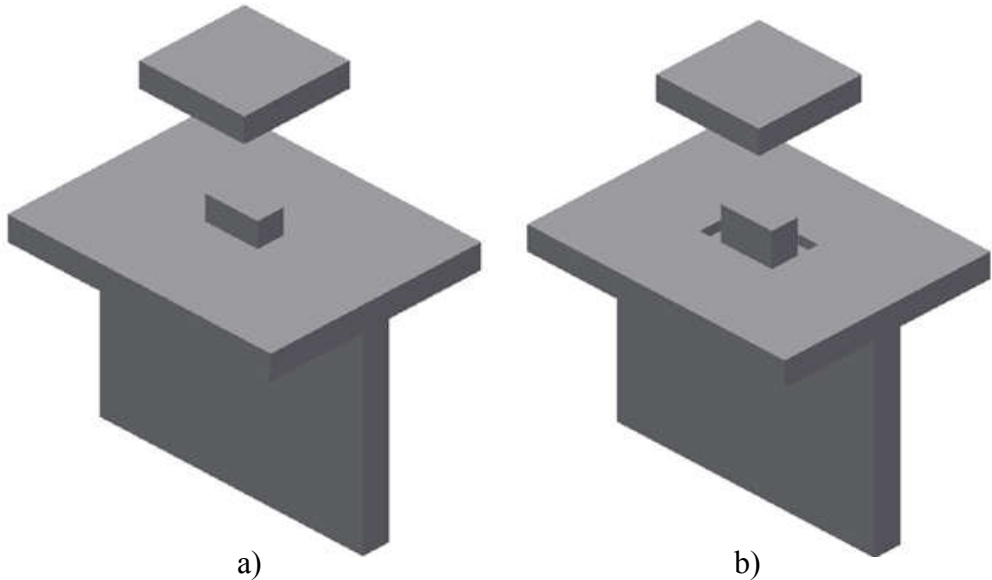
Şekil 4.2 : a) Kademesiz dişi parça, b) Kademeli dişi parça.

- Presleme parçası, iş parçası olarak kullanılmaktadır ve analiz sonucuna bakılmamaktadır. Şekil 4.3’de presleme parçası yer almaktadır.



Şekil 4.3 Presleme parçası.

- Şekil 4.4’te iki çeşit dişi parçası için örnek montaj yapısı verilmiştir.



Şekil 4.4 : a) Kademesiz dişi parçası, b) Kademeli dişi parça montajı.

Bu montaj yapıları step formatında kaydedilip hyperworks programında analizi için hazırlanmıştır. Bu sac parçaların kalınlıkları 5 mm’dir.

Malzeme olarak dişi parça alüminyum-5182 ve erkek parça elik St12 seçilmiştir.

Çizelge 4.1 : Parçaların malzeme özellikleri (Uçan,2011).

	Yoğunluk [kg/m ³]	Elastisite Modülü [MPa]	Akma mukavemeti [MPa]	Poisson Oranı (ν)	Pekleşme Parametresi (n)	Pekleşme katsayısı (K)
St12	7850	207000	280	0.28	0.2	648
Al-5182	2750	69000	130	0.33	0.279	558.4

Çizelge 4.1’de malzemelerin özellikleri verilmiştir. Bu tezde iki farklı malzeme için çalışma yapılmıştır.

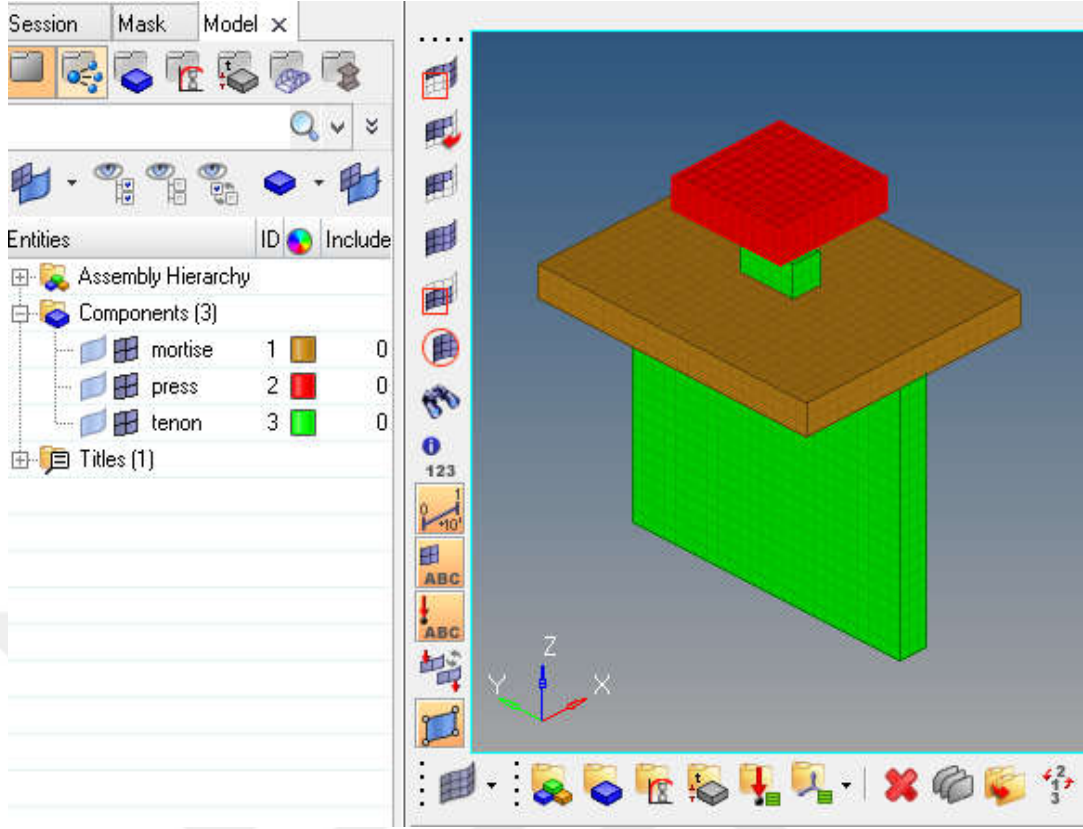
4.1 Mesh Yapısı

Sonlu elemanlı analizlerinin çözülmesi için parçalarında basitleştirilme işlemi yapmak gerekmektedir. Parçaların alt parçalara ayrılması sonlu eleman olarak adlandırılır ve alt parçalara ayırma işlemine mesh ağlarına bölme demektir. Sonlu elemanlar metodunda modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür ve bu elemanlar belli noktalardan birbirine bağlanmaktadır. Bağlandıkları bu noktaya node (düğüm) adı verilir. Sonlu elemanlar yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış koşulları, analiz denklemleri kullanarak bütün elemanlarda çözer. Model doğru bir yöntemle çok sayıda elemana bölüldüğünde doğru sonucu vermeye yaklaşır.

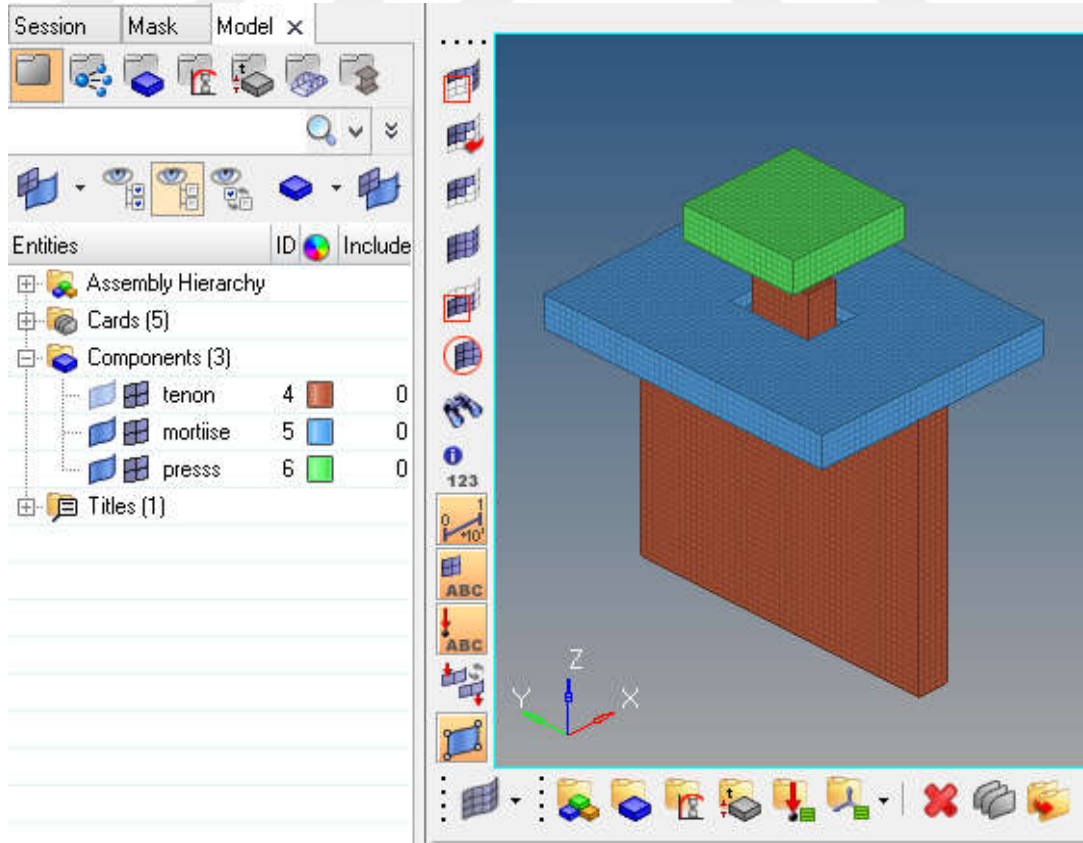
Parçalar CAD programında tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar çözen programlar için parçaları gereken formatta farklı kaydetmek gerekmektedir.Hyperworks parçaları kendine aktarmadan önce kullanıcıya hangi formatı destekleyebileceğini gösterir. Hyperworks programı catia v4/v5, unigraphics, pro-engineer wildfire, parasolid, iges, dxf,vb. formatı kullanabilmektedir. Parçalar HyperWorks’ün bir programı olan HyperMesh’te mesh atılmıştır.

Cad programında çizilen parçalar step formatında kaydedilmiş ve HyperMesh’in içine parçalar aktarılmıştır. Gerekli geometrik kontrol yapılmıştır. Bu tez çalışmasında parçalar 1x1 boyutunda volume tetra mesh atılmıştır. Şekil 4.4 ve şekil 4.5’te meshli resimleri eklenmiştir.

Toplamda 4 montaj bulunmaktadır. Şekil 6.5 ve şekil 6.6 için tenon parçasının 10 mm ve 15 mm montajları içinde hazırlanmıştır. Hazırlanan 4 montaj dosyası hypercrashta presleme için “.rad” formatında dışarı çıkartılmıştır.



Şekil 4.6 : HyperMesh ile mesh atılmış kademesiz dişi parçalı montaj.



Şekil 4.5 : HyperMesh ile mesh atılmış kademeli dişi parçalı montaj.

4.2 HyperCrash'ta Presleme İşlemi

Hypermesh'ten .rad formatında çıkartılan montaj dosyası daha sonra presleme analizi için HyperCrash programına aktarılmıştır.

4.2.1 Malzeme kartı oluşturulması

İlk olarak parçalar için malzeme kartı oluşturulmuştur. Bunun için elasto-plastik davranış Jhonson Cook modeli tercih edilmiştir.

- Johnson Cook malzeme modeli

1983 yılında, Johnson ve Cook arkadaşlar malzemenin akma mukavemeti ve pekleşme özelliklerini, yüksek şekil değiştirme sırasındaki davranışını ve yüksek sıcaklıktaki davranışını ifade eden bir denklem türetmişlerdir. Bu parametreleri elde etmek için standart çekme testleri ve basma testleri yaparak malzemenin pekleşme ve akma özelliklerini, yüksek sıcaklıkta çekme testiyle sıcaklık değerlerini elde etmek için çeşitli testler kullanmışlardır. Bu parametreler, birlikte etkilerinin dâhil edilememektedir (Sahu ve Dehi, 2017).

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_w}{T_m - T_w} \right)^m \right] \quad (4.1)$$

Burada denklem 4.1'deki σ malzeme akış gerilmesi, ε eşdeğer şekil değiştirme, $\dot{\varepsilon}$ eşdeğer şekil değiştirme hızı, $\dot{\varepsilon}_0$ referans şekil değiştirme hızı, T anlık sıcaklık, T_w iş parçası malzemesinin başlangıç sıcaklığı, T_m iş parçası malzeme ergime sıcaklığıdır.

Burada birinci terim $[A + B\varepsilon^n]$ şekil değiştirme sertleşmesini açıklamaktadır. Bu çarpandaki A değeri malzemenin akma gerilmesini ve diğer çarpan B ise malzemenin gerinim pekleşme katsayısını (strain-hardening coefficient), n ise gerinim sertleşme üssü (strain hardening exponent)'dür (Sahu ve Dehi, 2017).

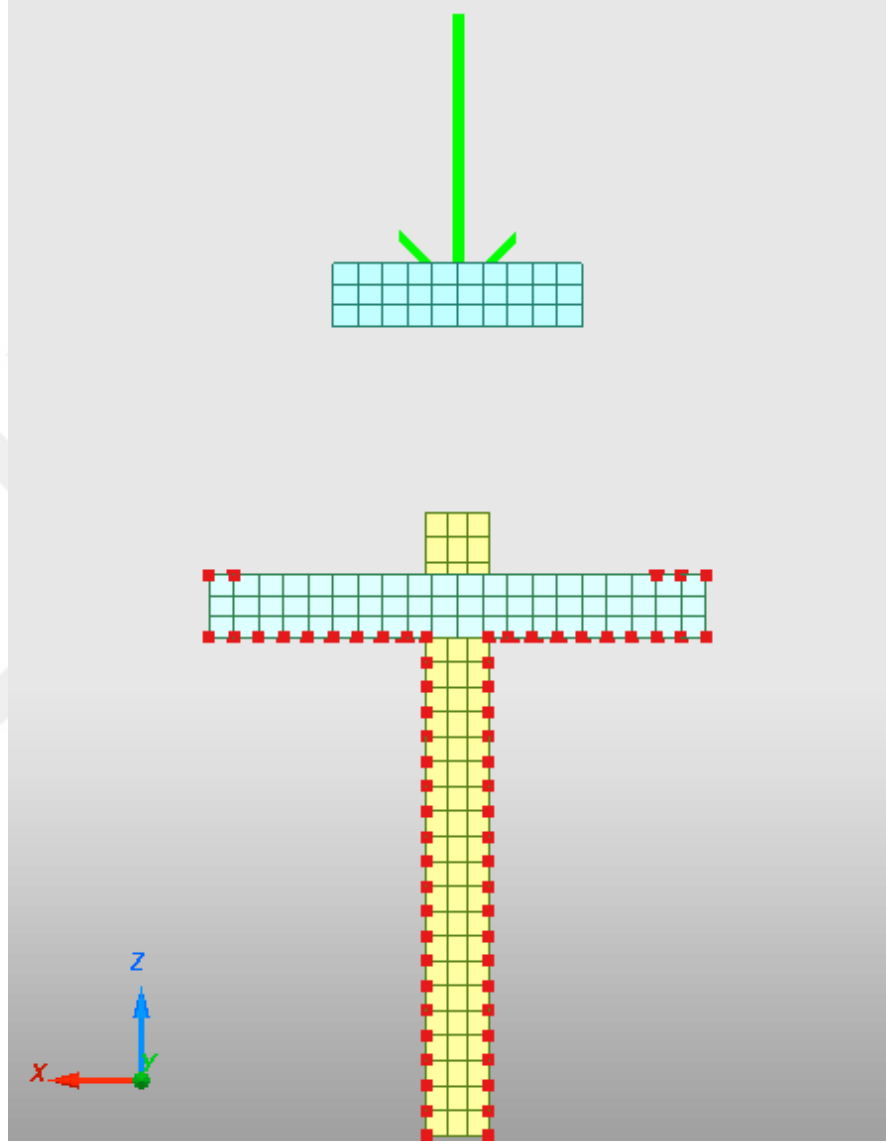
İkinci terim $\left[1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right]$ malzeme yüksek şekil değiştirme hızı ile yüklendiğinde akış gerilmesinin de doğru orantılı olarak artacağını açıklamaktadır (Sahu ve Dehi, 2017).

Denklemdaki üçüncü terim ise $\left[1 - \left(\frac{T - T_w}{T_m - T_w} \right)^m \right]$ sıcaklık artışıyla akış gerilmesinin ters orantılı olduğunu açıklar (Sahu ve Dehi, 2017).

Çizelge 4.1'deki değerler programda girilmiştir. Alüminyum parça mortise olarak bilinen dişi parçaya, çelik ise tenon olarak bilinen erkek parçaya tanımlanmıştır.

4.2.2 Sınır koşulları

İkinci işlem olarak sınır koşulları tanımlanmıştır. Şekil 4.7'deki nodlarda kırmızı ile işaretlenen noktalar, parçaların iş takımı tarafından tutulduğu bölgelere istinaden belirlenmiştir.



Şekil 4.7 : Sınır Koşulları.

Şekil 4.7'de yeşil renkli ok işareti pres parçasının hareket yönünü ifade etmektedir. Pres parçası sabit 10 mm/sn hızla hareket edecek şekilde programda ayarlanmıştır.

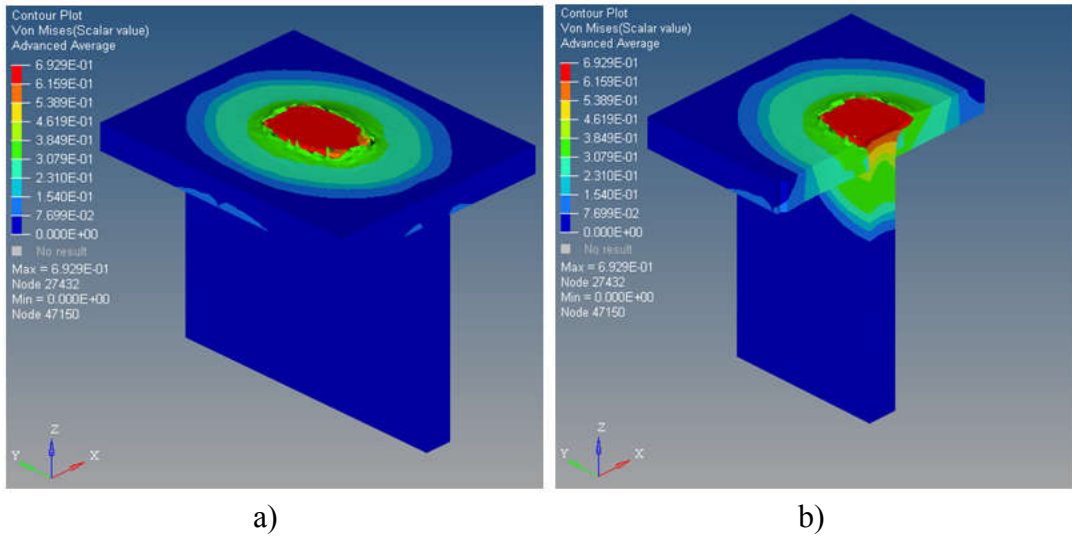
4.2.3 Parça özelliklerinin girilmesi ve kontak yüzeylerin tanımlanması

Bir analizde 3 parça bulunmaktadır. Sac parçalar kabuk eleman olarak değil normal katı modelleme olarak düşünülüp solid olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak solid parçanın kalınlığı 5 mm olan bir sac parçadır.

5. ANALİZ SONUÇLARI

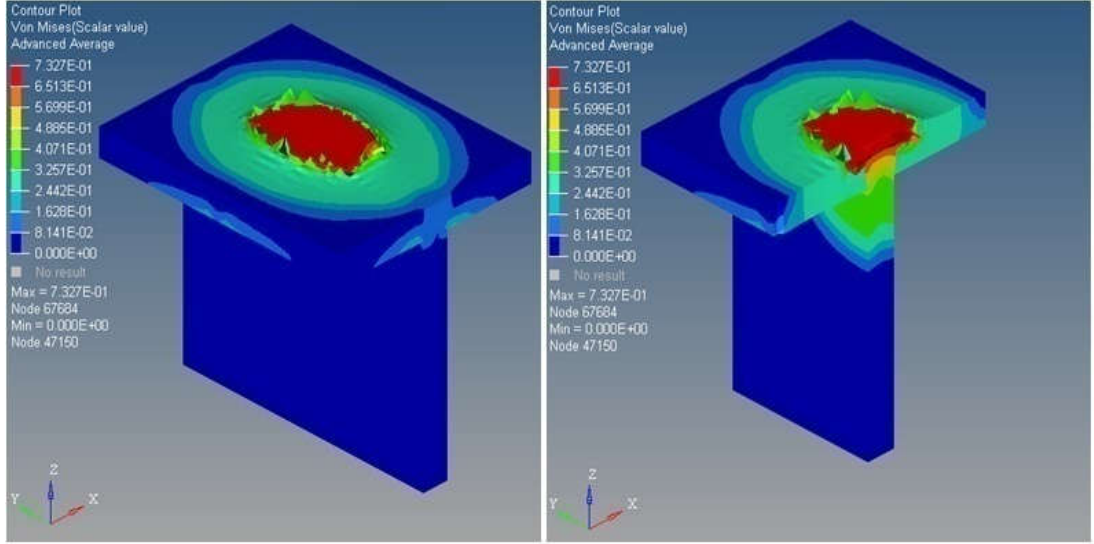
HyperCrash'ta hazırlanan analiz dosyası, rad formatında kaydedilmiştir. Daha Radioss programında analiz işlemi yapılmıştır. Program her bir analiz için ortalama 20-25 dakika sürmüştür.

- Kademesiz dişi parça (mortise) ve erkek parça (tenon) zıvana dili uzunluğu h_t değeri: 10 mm için aşağıdaki şekil 5.1'deki gibi değerler çıkmıştır. Analiz sonucu HyperView programında açılmıştır. Erkek parçanın zıvana silinde plastik şekil değişimi meydana gelmiştir. Zıvana dili parçası çelik olarak seçilmiştir. Çeliğin akma değeri 280 MPadır. Analiz sonucunda akma değeriyle karşılaştırıldığında plastik şekil değişikliğine uğramıştır ve dişi parçanın birleşim noktası da plastik şekil değişimine uğramıştır. Bu plastik şekillenmeyle birlikte iki parçanın birbirleriyle bağlantısı sağlanmıştır.



Şekil 5.1 : a) İzometrik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.

- Kademesiz dişi parça (mortise) ve erkek parça (tenon) zıvana dili uzunluğu h_t değeri: 15 mm için aşağıdaki şekil 5.2'deki gibi değerler çıkmıştır. Analiz sonucu HyperView programında açılmıştır. Zıvana dili uzunluğu değeri h_t 10mm'deki gibi burada da parçalar plastik deformasyona uğramıştır. İki parçanın birbirleriyle bağlantısı sağlanmıştır.



a)

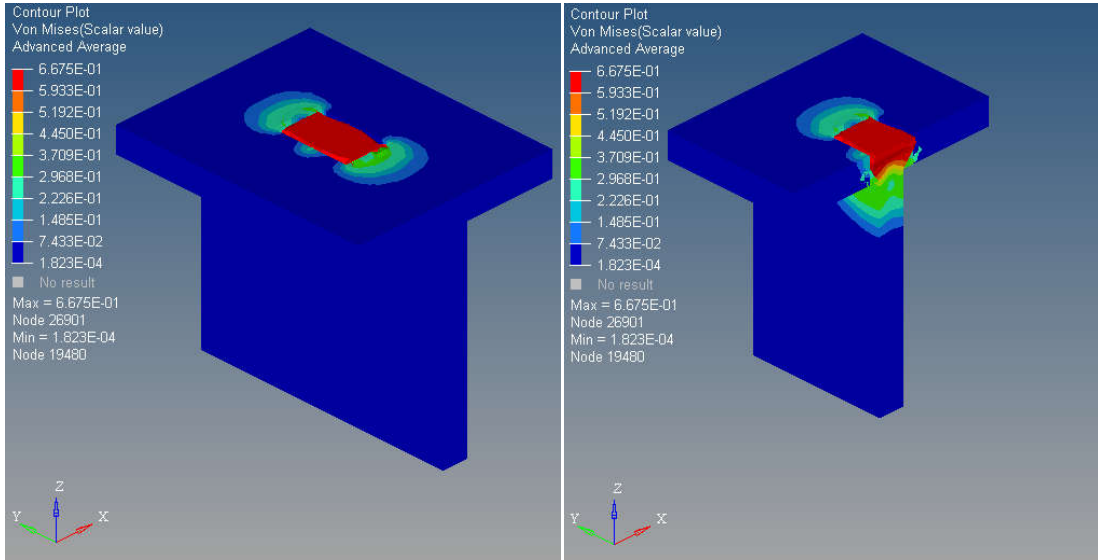
b)

Şekil 5.2 : a) İzometrik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.

Kademesiz parçalardaki iki farklı uzunluk için en fazla VonMises değeri erkek parçada zıvana dili uzunluğu h_t 15 mm de gözlemlenmektedir.

Kademeli analizi için hazırlanan iki analiz için aşağıdaki çalışmalar yapılmış ve Vonmises sonuçları elde edilmiştir.

- Kademeli dişi parça (mortise) ve erkek parça (tenon) zıvana dili uzunluğu h_t değeri: 10 mm için aşağıdaki şekil 5.3'teki gibi değerler çıkmıştır.

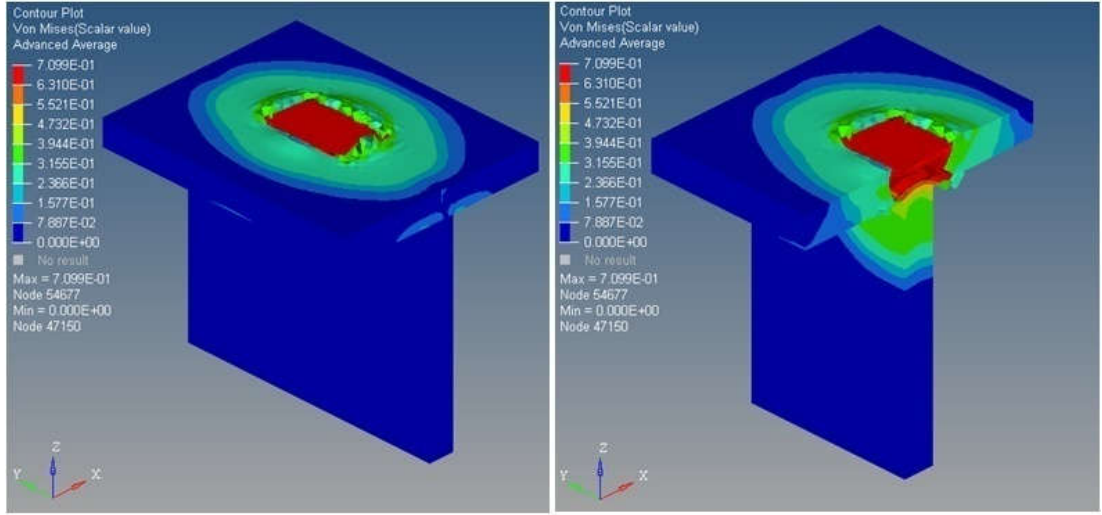


a)

b)

Şekil 5.3 : a) İzometrik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.

- Kademeli dişi parça (mortise) ve erkek parça (tenon) zıvana dili uzunluğu h_t değeri: 15 mm için aşağıdaki şekil 5.4'teki gibi değerler çıkmıştır.



a)

b)

Şekil 5.4 : a) izometrik görünüş, b) Ortadan kesit alınmış izometrik görünüş.

Bölüm 6 da presleme işlemi için çalışmanın yorumları yer almaktadır. Preleme işleminden sonra çekme testi için aynı sıralama tekrar yapılmıştır.

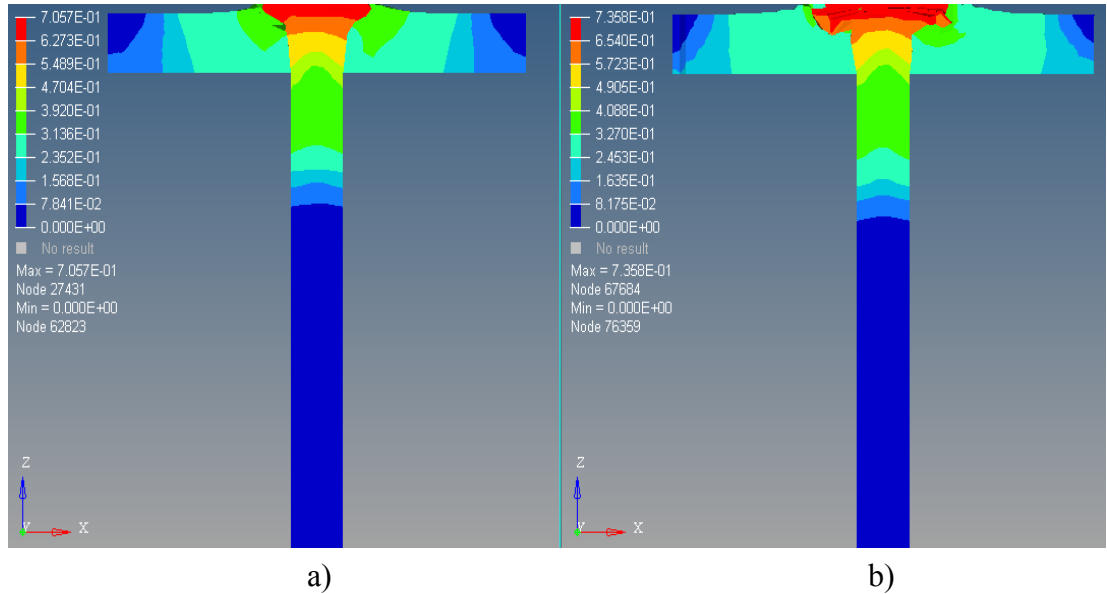
6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Presleme işlemi ve çekme testi dört düzenek için yapılmıştır. İlk olarak presleme işlemi için inceleme yapılmıştır.

6.1 Presleme Analizi Yorumu

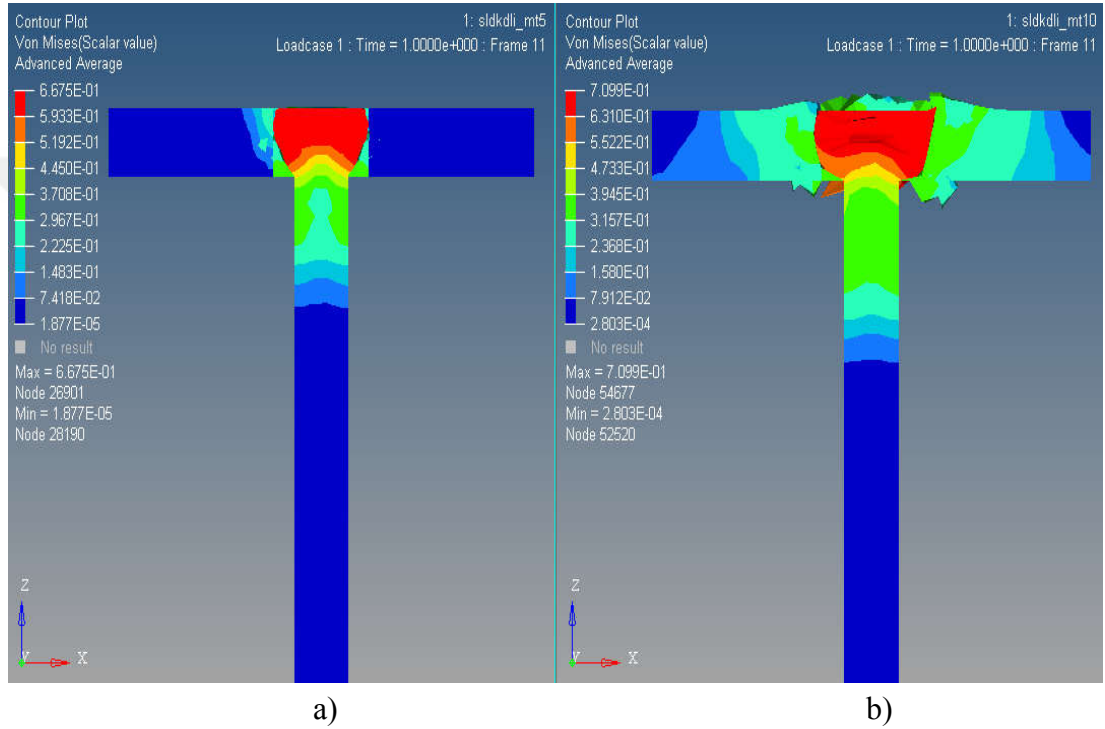
Kademesiz dişi parça ve erkek parçada h_t 'nin 10 mm ile 15 mm'lik sistemlerin şekil 6.1'de analiz sonuçlarının karşılaştırılması yer almaktadır. Soldaki şekilde $h_t=10$ mm, sağdaki 15 mmdir. 15 mm olan zıvana dili parçasının pres işlemi bittiği esnada 10 mm'ye göre daha fazla deforme olduğu gözlemlenmiştir ve zıvana dili daha fazla yüzey alanına dağılmıştır. Bu olayda dişi ve erkek parçanın lineer olmayan elasto-plastik davranışa göre şekil değiştirmesine bakarsak, 15 mm zıvana dili parçalı montaj daha avantajlı bir kenetleme işlemi olabilir. Bu analizi daha sonra presleme analizinden sonra çekme testi yapılarak iki parçadan hangisi uydulanabilir olduğu sonucuna bakılmıştır.

Her iki montaj yapısında parçalar akma mukavemetini aşmıştır, dişi ve erkek parça iş parçası sayesinde birbirine bağlanması daha rijit olmuştur.



Şekil 6.1: a) Kademesiz dişi parça ve $h_t=10$ mm, b) Kademesiz dişi parça ve 15 mm Von Mises değerleri.

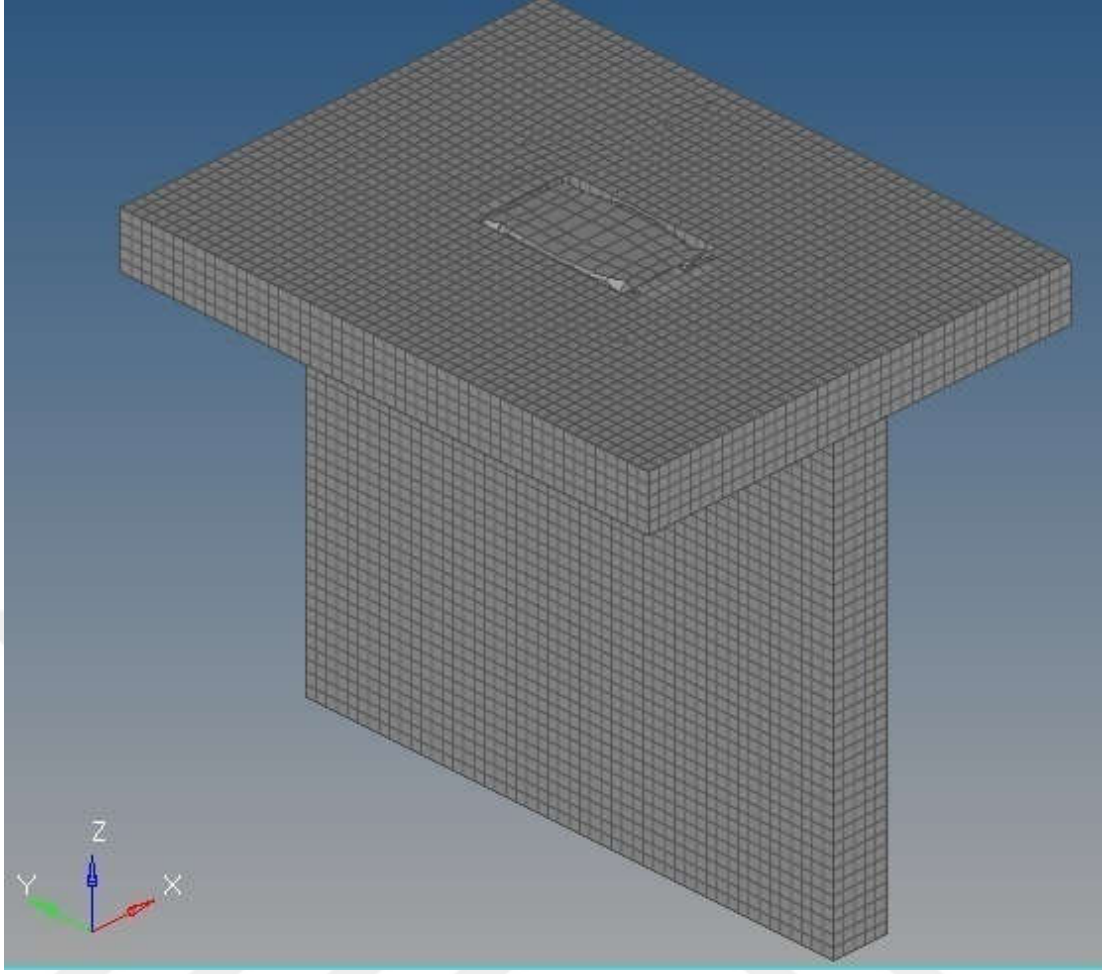
Kademeli dişi parça ve erkek parçada h_t 'nin 10 mm ile 15 mm'lik sistemlerin Şekil 6.2'de analiz sonuçlarının karşılaştırılması yer almaktadır. Soldaki Şekilde zıvana dili yüksekliği $h_t=10$ mm, sağdaki montaj düzeneğinde 15 mmdir. 15 mmlik parça pres işlemi bittiği anda 10 mm'ye göre hem dişi hem de erkek parça daha fazla deforme olur. aşağıdaki Şekle göre $h_t=15$ mm için kademe kısmı deforme olup kırılmaya uğramıştır. kademeli yapıda zıvana dili yüksekliği $h_t=15$ mm kullanıma uygun olmadığı ortaya çıkmıştır. Daha sora presleme analizinden sonra çekme testi yapılarak iki parçadan hangisi uygulanabilir olduğu soncuna daha net bakılmıştır.



Şekil 6.2 : a) Kademeli dişi parça ve $h_t=10$ mm, b) Kademeli dişi parça ve 15 mm Von Mises değerleri.

6.2 Çekme Testi

Presleme işlemi analizinde Şekillerin preslenmiŐ yani deforme olmuş halleri, çekme analizinde kullanmak için Şekil 6.3'teki gibi .h3d dosya formatı olarak çıkartılmıştır. Bu ıkarma işleminde parça deforme olmuş mesh yapısı kullanılıp tekrar bir mesh atılmamıŐtır. Mesh yapısı Şekil 6.3'te yapısı incelenmiştir ve çekme testi için programda tekrar çalıŐtırılmıŐtır. Montajlar hypermesh'te açılıp kontrol edilmiŐti. Kontrol işleminde sonra hypercrash formatında açılması için .rad formatında bir dosya olarak çıkartılmıştır. Daha sonra Hypercrash programı çalıŐtırılarak dosyalar içeriye aktarılmıştır.



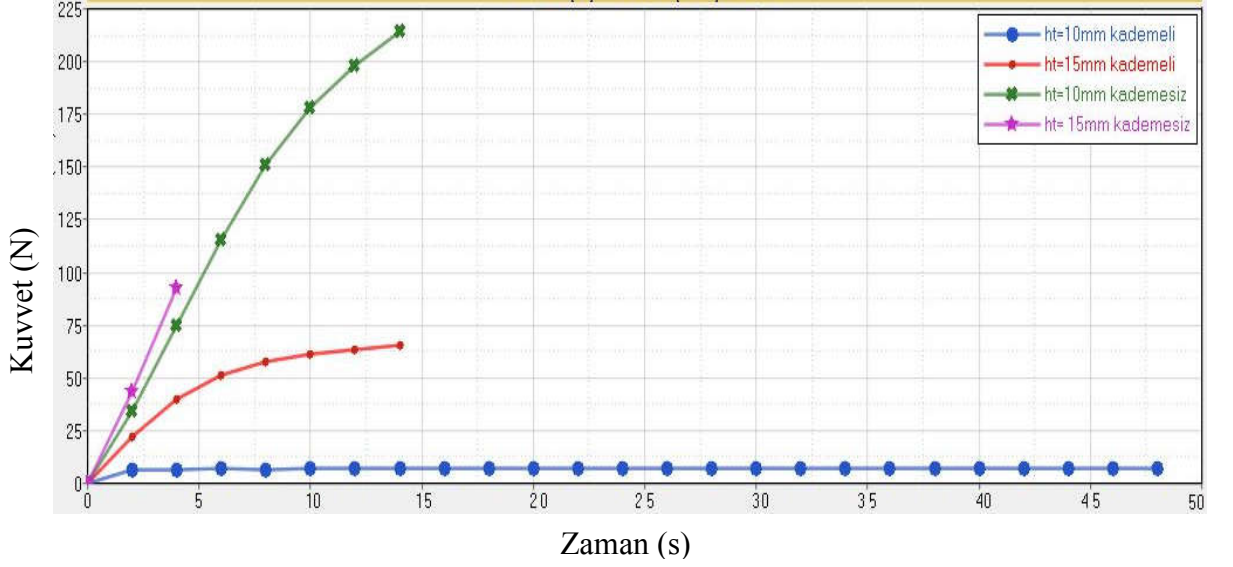
Şekil 6.3 : Pres analiz sonucunun dışarı çıkartılmış hali.

Dişi ve erkek parçaya tekrar aynı malzemeler ve parça özellikleri, kontak tanımı, sınır koşulları girilmiştir. Erkek parça sabit konumda kalması sağlanmıştır ve dişi parça sabit bir hızla çekilmiştir. 4 montaj için dosyalar hazırlanmış ve çekme analizi yapılmıştır.

6.3 Çekme Testi Analizinin Yorumu

Çekme testinin analizi için hypercrashta analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları hyperview programında grafiğe yansıtılmıştır. Şekil 6.4'te montaj dosyalarının sonuç değerleri bir grafikte toplanmıştır.

Çekme testi sonucuna göre en fazla çekme işi, kademesiz dişi parça ve $h_t = 10$ mm zıvana diline sahip erkek parçalı montajda gözlemlenmiştir. Kademesiz dişi parça ve $h_t = 15$ mm zıvana diline sahip erkek parçalı montajda daha kısa sürede kopmuştur.



Şekil 6.4 : Kuvvet-zaman grafiği.

Çekme testi sonucuna göre en fazla çekme kuvveti, kademesiz diş parça ve $h_t = 10$ mm zıvana diline sahip erkek parçalı montajda gözlemlenmiştir. Kademesiz diş parça ve $h_t = 15$ mm zıvana diline sahip erkek parçalı montajda daha kısa sürede kopmuştur. Kademeli diş parçalı zıvana dili yüksekliği $h_t=10$ mm olan parça ile kademesiz diş parçalı $h_t=10$ mm olan parça farklı sürede kopmuşlar fakat çekme kuvvetin yaptığı iş en fazla kademesiz olan da uygulanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre kademeli diş parçaların üretimi diğer diş parça tipine göre kolay ve mukavim görünmektedir. Üretim açısından 5 mm bir et kalınlığına sahip sac parçaya kademeli bir boşluk oluşturmak zaman ve maliyet gerektireceği ve çekme analizi sonuçlarına göre de kademesiz diş parçaların daha sağlam olduğu düşünülmüştür. Bu çalışma sonucuna göre kademesiz diş parça ve $h_t= 10$ mm olan montaj yapısı daha uygun sonucuna ulaşılmıştır.

Bir sonraki çalışmalar için kademesiz diş parça(mortise)nın kenar ölçerinde ve erkek parça(tenon)'nın h_t ölçüsünde optimizasyon çalışmaları yapılabilir. Böylelikle kenetlenmede en optimum yükseklik bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M.** (2012). *Makine Elemanları*. 1, 265-285, İstanbul , Birsen Yayınevi.
- Alves, L., Silva, C., ve Martins, P.** (2018). Two-Stage Joining Of Sheet Perpendicular To One Another By Sheet-Bulk Forming, *Journal of Materials Processing Technology*,253(1), 109-120.
- Arslan, H.** (2017). Çekme Kalıpları. Erişim adresi <http://www.hamitarslan.com/cekme-kaliplari.html>.
- Ayyıldız, A.** (2016). *Buzdolabı Düşürme Testinin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Nonlinear Analizi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi).Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bayram, H.** (2008). *Ekstrüzyon Yönteminde Sıcaklık, Ekstrüzyon Hızı ve Sürtünme Parametrelerinin Profil Kalitesine Etkisinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi).Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bragança, I., Silva, C., ve Alves, L.** (2016). Joining Sheets Perpendicular To One Other By Sheet-Bulk Metal Forming, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89, 1-4,. doi: 10.1007/s00170-016-9083-5.
- Sastra University, Department of Mechanical Engineering,** (2014). *Fundamental concepts of metal forming technology* [Power Point slides]. Erişim adresi. <https://nptel.ac.in/courses/112106153/>
- Çapan, L.** (2010). *Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri*. 5, 130-140, İstanbul, Çağlayan Kitapevi.
- Çavuşoğlu, O.** (2013). *Sac Metal Şekillendirme İşlemlerinde Pres Hızı ve Malzemenin Şekillendirmeye Etkilerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Danchenko, V.** (2007). Metal Forming. *National Metallurgy Academy of Ukraine* 183.
- Fidan, L.** (2006). *Saf Alüminyum ve Saf Bakırın Difüzyon Kaynağında Ara Fazların Oluşumu ve Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Gedikli, H.** (2000). *Metal Şekillendirme İşlemlerinde Sürtünme Katsayısının Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Groover, M.** (2010). *Fundamental of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems Fourth Edition*. Erişim adresi <https://books.google.com.tr/books?isbn=0470467002>
- Hagenah, H. ve Merklein, M.,** (2016). Introduction To Sheet-Bulk Metal Forming. *Academic Society for Production Engineering*,10(1),1-3,. doi:10.1007/s11740-016-0661-z.
- Hyde, D.** (2018). *Mortise and Tenon Joints*. Erişim adresi <http://www.verdigrismetals.co.uk/mortise%20and%20tenon%20joints.html>
- İşıktaş, A. ve Ay, İ.** (2013). Farklı Kalınlıklardaki Dkp Sacın Farklı Açılarda Yapılan V-Bükme İşlemindeki Geri Esnemelerinin Yapılan V-Bükme İşlemindeki Geri Esnemelerinin İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(3), 27-42.

- Mathur, K. ve Dawson, P.** (1989). On Modeling The Development of Crystallographic Texture In Bulk Forming Processes, *International Journal of Plasticity*, 5(1), 67-94.
- Koch, J., Merklein, M., Scheider, T., Opel, S., Vierzigmann, U.,** (2010). Manufacturing of Complex Functional Components With Variants By Using A New Metal Forming Process sheet-bulk metal forming. *International Journal of Material Forming*, 3, 347-350,. doi: 10.1007/s12289-010-0778-0.
- Korkmaz, A. & Kayhan, A.** (2008). Yer Değiştirme Esaslı Yöntemlerin Elastik ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması, *Trakya Üniversitesi Fen bilimleri Dergisi*,9(1), 7-13.
- Merklein, M., Allwood, J., Behrens, A., Brosius, A., Kuzman, K., Hagenah, H.,** (2012). Bulk Forming of Sheet Metal. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 61(2), 725-745,. doi:10.1016/2012.05.007.
- Merklein, M., Schneider, T., Gröbel, D., Löffler, M.,** (2015). Sheet-Bulk Metal Forming – Forming Of Functional Components From Sheet Metals, *MATEC Web of Conferences*, 21,1-13,. doi: 10.1051/20152101001.
- Opel, S. & Merklein, M.,** (2011). Investigation of Tailored Blank Production by The Process Class Sheet Bulk Metal Forming, *AIP Conference Proceedings*, 1315(1), 395,. doi: 10.1063/1.3552475.
- Özdemir, A.** (2010). *Sac Metal Ürünlerde Geri Esneme Miktarının Deneysel ve Sonlu Elemanlarla Tespiti, Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmin.* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Saha, P. ,** (2000). *Aluminyum Extrusion Technology*.1,87-100, Erişim Adresi <https://books.google.com.tr/books?id=KwN77NR1O8QC&pg=PA86&dq=Aluminyum+Extrusion+Technology+chapter+4&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjzqO3WysPgAhVHp4sKHVM3ACMQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Aluminum%20Extrusion%20Technology%20chapter%204&f> (Orijinal eser 2000’de basıldı).
- Sahu, S. & Dehi, P.,** (2017) Finite Element Analysis of AA1100 Elasto-Plastic Behaviour Using Johnson-Cook Model. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 5349-5353,. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.120.
- Sarıkaya, O.** (2008). *Analysis of Heat Treatment Effect on Springback in V-Bending.*(Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Schneider, T., Merklein, M., Gröbel, D., Löffler, M.,** (2015). Sheet-Bulk Metal Forming – Forming Of Functional Components From Sheet Metals, *MATEC Web of Conferences*, 21,1-13,. doi: 10.1051/20152101001.
- Silva, C., Alves, L., Martins, P.** (2015). A New Test for Determining The Mechanical and Fracture Behavior of Materials in Sheet-Bulk Metal Forming. *Journal of Materials: Design and Applications*, 231(8), 693-703,. doi: 10.1177/1464420715616140.
- Uçan, M.** (2011). *Bünye Denklemlerinin Sac Metal Şekillendirme Üzerindeki Etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Urquiza, A., ve Hanchate, V.** (2015) Practical Aspect of Finite Element Simulation. Erişim adresi <https://altairuniversity.com/free-ebooks-2/free-ebook-practical-aspects-of-finite-element-simulation-a-study-guide/> (Orijinal baskı 2015’te basıldı)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mücahit Tugay DEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri : 04/04/1993 ve Dalaman/MUĞLA
E-posta : mucahittugay.demir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans:** (2016-2019), Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ottonom Mühendislik Çözümleri, Tasarım Uzmanı, 2016-2018
- Aptiv (Delphi Automotive), Ürün Mühendisi, 2018-halen çalışıyor.