

T. C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KATMANLI SACLARIN GERİ ESNEME DAVRANIŞININ TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURAK YORULMAZ

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE ESENER

BİLECİK, 2023

10522724

T. C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇOK KATMANLI SACLARIN GERİ ESNEME DAVRANIŞININ TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURAK YORULMAZ

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE ESENER

BİLECİK, 2023

10522724

BEYAN

“Çok Katmanlı Sacların Geri Esneme Davranışının Tespiti” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

Burak Yorulmaz

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Tüm hayatımda her türlü zorlukta tercihlerime saygı duyarak ve her zaman bana destek olarak hayatıma yön veren başarılarımın en önemli sebebi ailem Hasan Yorulmaz, Ferihan Nurdan Yorulmaz ve Büşra Yorulmaz' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca bana en ufak bir kelime dahil öğreten tüm hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca bizlere sadece eğitim değil hayat konusunda da tavsiyelerini ve desteklerini eksik etmeyen Fulya Korhan, Cüneyt Şener, Furkan Gezer, Abuzer Çakallı, Gümrah Eralp, Metin Tokerer, Nuri Gün, Ercan Ersin, Gülten Ersin'e ayrı teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bizlere olan yaklaşımı ve tavsiyeleri ile içimizdeki cevheri çok iyi tespit edip bizleri parıldatan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Emre Esener'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmamın belirlenmesinden sonlanmasına kadar bu yolda bana göstermiş olduğu ışıklı yolda verdiği destekler ile emin adımlar attım ve sonuca vardım.

Bilime olan desteğiyle ve dünya görüşündeki yaklaşımları ile gerçekten farklı bir bakış açısına sahip tüm firma sahiplerine ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca ve kariyer planlamasında her zaman akıl danıştığım Oytaş Yönetim Kurulu Başkanı Osman Yıldız, Çilek Yapı Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Abdullah Burkay, Maraton Çatı Yönetim Kurulu Başkanı Mehmet Boran, İmortaş Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Ercan Fidan, May Fren Yönetim Kurulu Başkanı Taner Aydın, Bursa Kalıp Merkezi ve Destek Amortisör Yönetim Kurulu Başkanı Nurettin Özkan' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimde derslere gitmemde her türlü kolaylığı sağlayan Bayrak Lastik Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Zekeriya Bayrak' a teşekkürlerimi borç bilirim. Tez kapsamındaki numune üretiminde desteklerini eksik etmeyen İmortaş Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Ercan Engin Fidan, Fantürk Yönetim Kurulu Başkanı Salim Bekil, Çoskunöz Kalıp Makine Proses Müdürü Mustafa Mücahit Yenice' ye bilime desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

ÖZET

ÇOK KATMANLI SACLARIN GERİ ESNEME DAVRANIŞININ TESPİTİ

Yapılan çalışmada çok katmanlı sacların geri esneme davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda C75 çeliği, AISI 301 paslanmaz çelik ve Al 1030 alüminyum alaşımı sac metaller kullanılarak çok katmanlı sac malzemeler elde edilmiştir. Çok katmanlı sac malzeme üretiminde ara katmanlarda kauçuk kullanılmıştır. Farklı alternatiflerde iki ya da üç katmanlı olarak üretilen sac malzemelerin geri esneme davranışlarını incelemek amacı ile V kalıp eğme prosesi kullanılmıştır. V kalıpta eğme deneyleri sonrasında malzemelerin geri esneme miktarları açölçer kullanılarak tespit edilmiş ve ana malzemelerin geri esneme davranışları referans alınarak çok katmanlı sac malzemeler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çok katmanlı sac malzemelerde geri esnemeye alüminyum 1030 alaşımının kullanılmasının olumlu etkisinin bulunduğu, C75 ve AISI 301 çeliklerinin ise geri esnemeyi arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sac Metaller, V Kalıpta Eğme, Geri Esneme.

ABSTRACT

DETERMINATION OF STRETCH BACK BEHAVIOR OF MULTILAYER SHEETS

In this study, it is aimed to examine the spring-back behavior of multi-layered sheets. In this context, multilayer sheet materials were obtained by using C75 steel, AISI 301 stainless steel and Al 1030 aluminum alloy sheet metals. In the production of multi-layer sheet material, rubber is used in the intermediate layers. In order to examine the springback behavior of sheet materials produced in two or three layers in different alternatives, the V-bending process was used. After the bending tests in the V shape die, the amount of springback of the materials was determined using a protractor, and the multi-layered sheet materials were evaluated by taking the spring-back behavior of the main materials as a reference. As a result, it has been determined that the use of aluminum 1030 alloy has a positive effect on springback in multilayer sheet materials, while C75 and AISI 301 steels increase springback.

Keywords: Sheet Metals, V Bending, Springback.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bölüm Değerlendirmesi.....	10
1.2. Tezin Amacı	11
2. ÇOK KATMANLI MALZEMELER.....	12
2.1. Bimetaller	14
2.2. Kompozitler.....	15
2.3. Katmanlı Sac Metaller	17
2.4. Bölüm Değerlendirmesi.....	20
3. GERİ ESNEME (YAYLANMA) KAVRAMI	21
3.1. Bölüm Değerlendirmesi.....	29
4. UYGULAMA VE TEST	31
4.1. Numunelerin Hazırlanışı.....	38
5. SONUÇ.....	43
KAYNAKÇA	46

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Hafif Silahlı Sistemlerde Kullanılacak Alt Ürünün Malzeme Özelliklerinin Önem Sırası.....	2
Tablo 4.1. Test Kapsamında Hazırlanan Çok Katmanlı Sac Malzemeler ve Kalınlıkları.....	36
Tablo 4.2. Katman Planlama Tablosu	37
Tablo 5.1. V Kalıpta Eğme Sonrası Elde Edilen Geri Esneme Miktarları	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Malzeme Seçiminde Alüminyum veya Çelik Esaslı Malzeme yerine Magnezyum Esaslı Malzeme Kullanımındaki Ağırlık Kıyaslaması	3
Şekil 1.2. Hadde Ürünlerini Gösteren Üretim Şeması	4
Şekil 1.3. Otomotiv Gövde Sacları	5
Şekil 1.4. Üretimde Kullanılan Presler	5
Şekil 1.5. Preslere Bağlanan Sac Kalıbı.....	6
Şekil 1.6. Preslerde Üretilmiş Bir Ürün	6
Şekil 1.7.Yaygın Karşılaşılan Sac Metal Şekillendirme Kusurları	8
Şekil 1.8. Geri Esneme (Geri Yaylanma)	8
Şekil 1.9. SEY ile Çözümlemiş İncelme Dağılımı.....	9
Şekil 2.1. Savunma Sanayi Sektöründe Kullanılan Araçlar.....	12
Şekil 2.2. Heterojen Kalınlıklarda Katmanları Hazırlanmış Çok Katmanlı Ürün	13
Şekil 2.3. Bimetal Para.....	14
Şekil 2.4. Kompozit Katmanları	16
Şekil 2.5. Balistik Zırh Katmanları	16
Şekil 2.6. Taşyünü Panel Katmanları.....	18
Şekil 3.1. Sünek Bir Metaldeki Geri Esnemenin Akma Diyagramı Üzerinde Gösterilişi	21
Şekil 3.2. Geri Yaylanmış Bir Büküm Parçası a) Öncesi b) Geri Yaylanma Sonrası	22
Şekil 3.3. SEY ile Çözümlemiş Bükme İşlem	24
Şekil 3.4. (a) V Kalıp (b) Serbest V Kalıp (c) U Çekme Kalıp (d) Kare Çekme Kalıp (e) Kenar Bükme	26
Şekil 3.5.Tez Çalışması Kapsamında Sunulan Tasarım Prosedürü İş Akış Şeması	30
Şekil 4.1. İş Akış Şeması	32
Şekil 4.2. Lateks Toparlanan Ağaçlar	34
Şekil 4.3. (a) Tez Kapsamında 5 Katmanlı Tasarlanan Çok Katmanlı Sac Malzeme (b) Tez Kapsamında 3 Katmanlı Tasarlanan Çok Katmanlı Sac Malzeme	37
Şekil 4.4. Yapışma Yüzeyi Taşlanmış Sac Metal	38
Şekil 4.5. Alkol İle Temizlenen Yüzey	39
Şekil 4.6.Fırça ile Bağlayıcı Uygulanması.....	39
Şekil 4.7. Tamamlanmış Sac Katmanı	40
Şekil 4.8. Birleştirme Kalıbı Tasarımı	40

Şekil 4.9. Üretilen Birleştirme Kalıbı	40
Şekil 4.10. (a) Kalıp Yuvasına Yerleştirilen İlk Katman (b) sac metal Katman Aralarına Yerleştirilen Kauçuklar (c) Kalıp Yuvasına Yerleştirilen Son Katman (d) Kapatılan Kalıp	41
Şekil 4.11. Pres İşleminin Gerçekleştiği Pres ve Kalıp.....	41
Şekil 4.12. a) Nihai Sac Numunesi Yandan Görünüşü (b) Nihai Sac Numunesi Üstten Görünüşü	42
Şekil 5.1. V-Kalıpta Eğme Deney Düzenegi	43
Şekil 5.2. Deney Sonrası Örnek Bir Numune Geometrisi	44

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

AISI: American Iron and Steel Institute - Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

SEY: Sonlu Elamanlar Yöntem

MM: Milimetre

°: Derece

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze gelişen tüm bilimsel faaliyetlerin gündelik hayatın içine girmesi mühendislik yöntemleri ile sağlanmıştır. Mühendislik, temel bilimlerin de yardımıyla gündelik hayat ve bilim arasında köprü kurar Bu köprünün kurulması beraberinde mühendislik isterleri kavramını ortaya çıkarmıştır. Mühendislik isterleri, gelişen teknoloji ile gündelik hayatın değişimine bağlı olarak sürekli şekil değiştiren bir dinamiktir. Mühendislik isterlerin sürekli iyileştirilmesi, dinamik gündelik hayat ve gelişen teknoloji mühendislik alanındaki gelişimin hız kesmeden devam etmesini sağlamaktadır. Mühendislik isterleri göz önüne alındığında bir ürünün üretilebilir olması, tedarik sürecinin hızlı ilerlemesi, minimum maliyetli ve uzun ömürlü olması gerekmektedir. Aynı zamanda ürün kullanıldığı sistemde maksimum verimde ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayacak parametreleri karşılamalıdır. Örneğin herhangi bir sistemdeki ürünün mühendislik isterleri düşünüldüğünde üzerine uygulanan yüklere karşı mukavemet karşılaması, sert veya yumuşak olması, ürün ömrü, korozyon dayanımı, elektrik iletkenliği veya yalıtkanlığı, radyo frekansları geçirir veya geçirmez olması, ışığı iletmesi veya yansıtması, yüksek veya düşük sıcaklıkta çalışma koşulları vb. gibi cevaplar verilebilir.

Mühendislik isterinin türüne göre ürün üzerinde değişiklikler yapılarak isterin karşılanma durumu vardır. Ancak yapılan değişikliğe karar vermek için optimizasyon yapılmalıdır. Optimizasyonu sağlayacak kısıtlar iyi belirlenmeli ve sistemsel olarak düşünülmelidir. Örneğin bir ürün çalıştığı sistemdeki mühendislik isterleri gereği belli bir yükü güvenli bir şekilde kaldırmalıdır. Bu yüke karşı dayanım, ürünün yüzey alanını artırarak sağlanabilir ancak sistemdeki boşluk gereği yüzey alanı belli bir değeri geçemez. Yüzey alanındaki kısıt gereği kısıtlı yüzey alanında istenilen mukavemeti sağlayacak daha dayanımlı bir malzemedan ürün üretilmesi gerekir. Ürünlerin malzeme seçimi yapılırken mühendislik isterlerinin diğer parametrelerini de karşılaması gerektiği unutulmamalıdır. Örnekte olduğu gibi mühendislikte ürün üzerindeki optimizasyonlarda tasarımsal değişiklik kısıtları gereği malzeme değişikliğine gidilmesi muhtemel bir durumdur ve bu durum için uygulamalar mevcuttur. Malzeme ürünün mekanik özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Dolayısıyla ürünün malzemesinin iyi belirlenmesi gerekir.

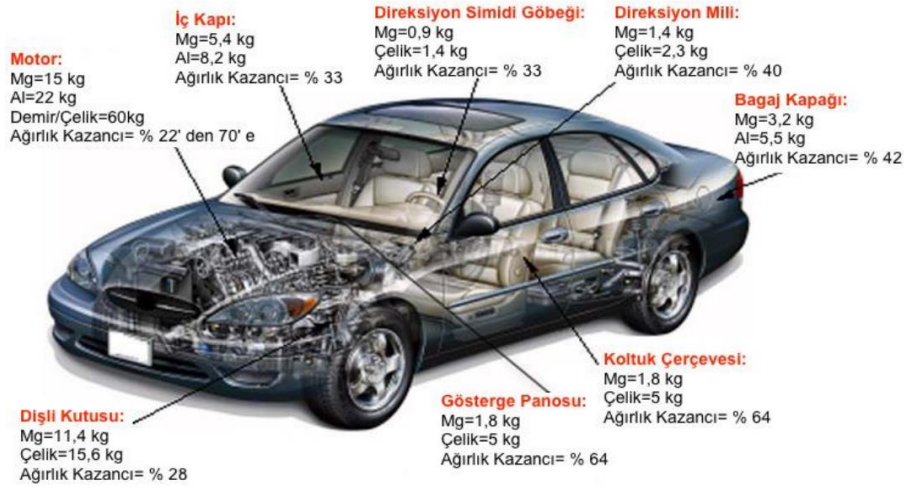
Karşlı ve Küçükömeroğlu yaptığı çalışmada (Karşlı ve Küçükömeroğlu, 2017: 1-10) hafif silah sistemi için malzeme seçimi yapmıştır. Çalışmasında malzeme seçimi yaparken sistemdeki mühendislik isterlerinin önem sırasına göre bir tablo hazırlamış ve seçtiği malzemenin uygunluğunu kanıtlamıştır. Malzeme seçimin önem sırası Tablo 1.1 'de verilmiştir. Malzeme seçim evresi literatürde çeşitli yaklaşımlarla ele alınmaktadır, bunlardan incelenen modeller arasında; sıralama metodu (ranking methods), katalog tabanlı metod (index-based methods) ve fayda-maliyet analizi gibi diğer sayısal metodlar (other quantitative methods like cost-benefit analysis) kullanan modellere ulaşılmıştır (Sezgin ve Çelebi, 2011: 215-222). Yapılan her modelin sistem ve mühendislik isterleri çerçevesinde yapıldığı gözlemlenmiştir. Tablo 1' de bir sistemde kullanılacak bir alt ürünün mühendislik isterlerinin önem sırası verilmiştir.

Tablo 1.1 Hafif Silahlı Sistemlerde Kullanılacak Alt Ürünün Malzeme Özelliklerinin Önem Sırası

	MUKAVEMET	ELASTİSİTE MODÜLÜ	DARBE DAYANIMI	MALİYET	AŞINMA DİRENCİ	SERTLİK	SICAKLIKTA KARARLILIK	SU EMME DİRENCİ	KOROZYON DİRENCİ	YOĞUNLUK
MUKAVEMET		+	-	-	-	-	-	-	-	-
ELASTİSİTE MODÜLÜ	-		-	-	-	-	-	-	-	-
DARBE DAYANIMI	+	+		-	-	-	-	-	-	-
MALİYET	+++	+++	+++		+++	++	+++	++	++	+
AŞINMA DİRENCİ	+	+	+	-		-	-	-	-	-
SERTLİK	++	++	++	-	++		++	-	-	-
SICAKLIKTA KARARLILIK	++	++	+	-	+	-		-	-	-
SU EMME DİRENCİ	++	++	+++	-	+	+	+		-	-
KOROZYON DİRENCİ	+++	+++	++	-	+	+	++	+		-
YOĞUNLUK	+++	+++	++	-	++	++	++	+	+	
TOPLAM	17+	18+	14+	0	11+	6+	10+	4+	3+	1+

Kaynak: (Karşlı ve Küçükömeroğlu, 2017: 2)

Literatürde yapılan her çalışmada malzeme seçiminin doğru yoldan ürüne dolaylı yoldan ise sisteme etki ettiği vurgulanmaktadır. Malzeme seçimini belirleyecek mühendisin sistemi iyi incelemesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Malzeme seçimi kritik ve hassas bir konudur. Malzeme seçimi hassasiyeti anlaşılması açısından bir otomobilde alüminyum veya çelik esaslı malzeme yerine magnezyum esaslı malzemeler tercih edildiğinde ağırlık oranındaki artış Şekil 1.1' de gösterilmektedir. Magnezyum esaslı ürünlerin üretim yöntemleri ve maliyeti göz ardı edilmemelidir.

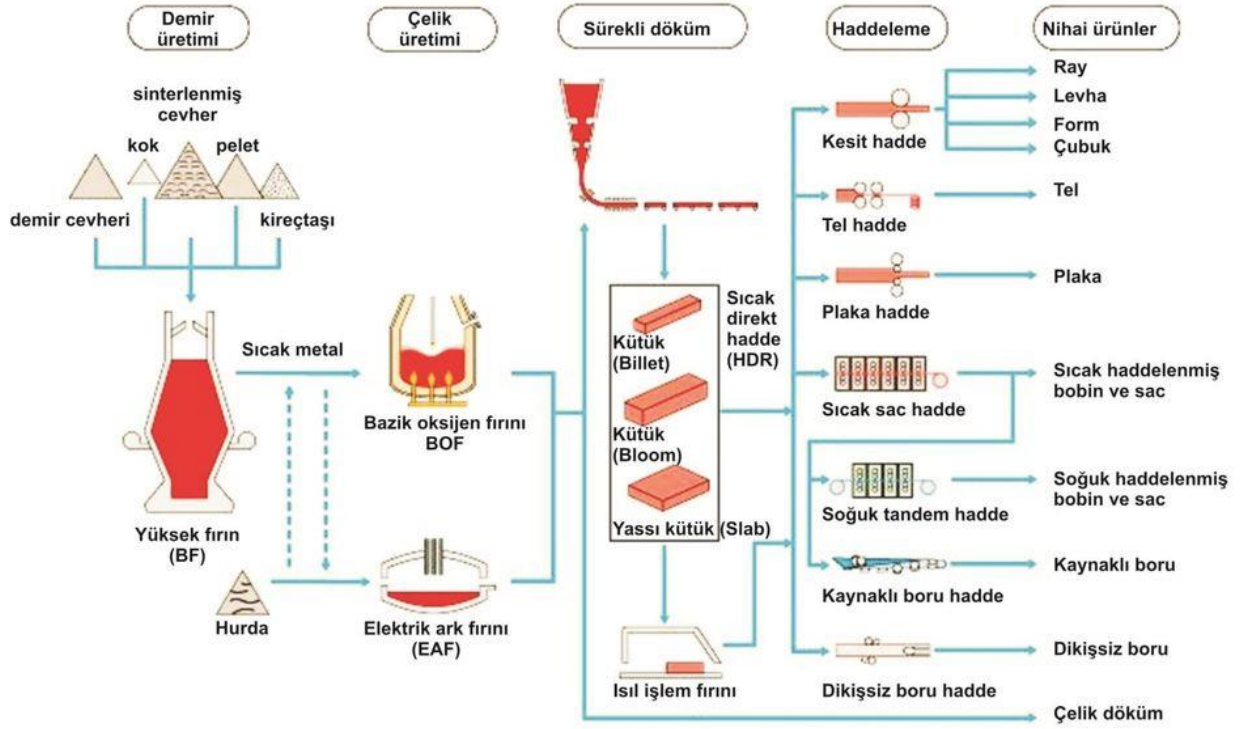


Şekil 1.1 Malzeme Seçiminde Alüminyum veya Çelik Esaslı Malzeme yerine Magnezyum Esaslı Malzeme Kullanımındaki Ağırlık Kıyaslaması

Kaynak: (Kulekci, 2008: 851-865)

Mühendislik alanında çalışan uygulamalı bilimcilerin çoğu, kariyerlerinin herhangi bir aşamasında malzemeleri içeren bir tasarım problemi ile karşı karşıya kalır. Çoğu zaman, bir malzeme problemi mevcut binlerce malzeme içinden doğru olanı seçme işlemidir. Malzemelerin seçiminin kolaylığı için malzemeler ana gruplara ayrılmıştır. Malzemeler genel özelliklerine göre metal, seramik, polimer ana gruplarının yanında ileri malzemelerden seçim yapılmaktadır. Ancak istenen bütün özelliklere tam olarak sahip bir malzemenin bulunması nadir karşılaşılan bir durumdur. Bu nedenle, bazen bir özelliğin sağlanması durumunda diğerlerinden bir parça ödün vermek gerekebilir. Her malzeme grubunun güçlü yanları bulunmaktadır ve buna göre seçim yapılmaktadır (Callister, 1985: 1-18).

Metallerin yoğunlukları diğer gruplara göre daha yüksektir. Rijitlik, dayanım, sünekliği iyidir ve kırılmaya karşı dirence sahiptir. Yapısal uygulamalarda kullanımı yüksektir. Elektrik ve ısıyı iletir ve görünür ışıklara karşı opak davranır (Callister, 1985: 347-403). Metaller isterleri iyi bir şekilde karşılaması, üretim yöntemlerinin kolaylığı ve maliyetlerinin düşük olması açısından birçok alanda tercih edilen ürünlerdir. Genel hatlarıyla metallerin üretimi metal cevheri ya da hurda metal malzemenin geri dönüşümü sonucunda üretilmektedir. Sıvı çeliğin elde edilmesi işleminin ardından döküm yöntemiyle ulaşılan ürün, ana ürün veya yarı mamuldür. Sektörde her ürüne özel döküm yapılması maliyet açısından ve tolerans açısından ihtiyaçları karşılamamaktadır. İhtiyaçlara yönelik işlenebilir kütük (formuna göre billet, bloom, slab) adı verilen yarı mamul ürünler üretilir. Yarı mamul ürünler çeşitli imalat yöntemleri ile nihai yarı mamul ürüne ulaşır. Demir cevherinin nihai yarı mamul ürüne dönüşüne kadar olan işlem adımları Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Hadde Ürünlerini Gösteren Üretim Şeması

Kaynak: (Mekanik Kumpas, 2019)

Plastik şekil verme, kaynakla birleştirme, dövme, ekstrüzyon ve talaşlı imalat kütüklere uygulanabilen imalat yöntemleri işlemleridir. İmalat aşamasında çoğu zaman bu yöntemlerden ikisinin veya daha fazlasının birbiri ardınca uygulanması gerekmektedir. Kütüklere uygulanan haddeleme prosesi sonucunda sac malzemeler üretilmektedir.

Sac metal kalınlığı 0,1 mm ile 6 mm arasında imal edilmiş metal parçalardır. Sac levha ise kalınlığı 6 mm'den kalın olan sac metal parçalara denir. Günümüz mühendislik isterleri zemininde yapılan bilimsel çalışmalar sac malzemelerin birçok sektördeki sistemler için kullanılması uygun bir malzeme olduğunu savunmaktadır. Saclar, üretilebilir veya hızlı bir şekilde tedarik edilebiliyor olması, minimum maliyetli olması, kullanıldığı sistemde maksimum verimde ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayacak parametreleri karşılaması nedeniyle mühendislikte iyi bir tercih sebebidir. Saclar, ağırlık/dayanım oranını kullanılacağı sisteme göre iyi bir şekilde karşılar. Dayanımları yüksek, yüzey kalitesi iyi, düşük maliyetlidir. Soğuk şekil verme prosesi için uygundur. Özellikle otomotiv sektöründe karmaşık geometriler, düşük maliyet ve hızlı üretim isterleri neticesinde sac metal formlama işlemleri vazgeçilmez bir konumdadır. Şekil 1.3' te otomobil gövde saclarında kullanılan formlanmış saclar görülmektedir.



Şekil 1.3. Otomotiv Gövde Sacları

Kaynak: (Wikipedia, 2010)

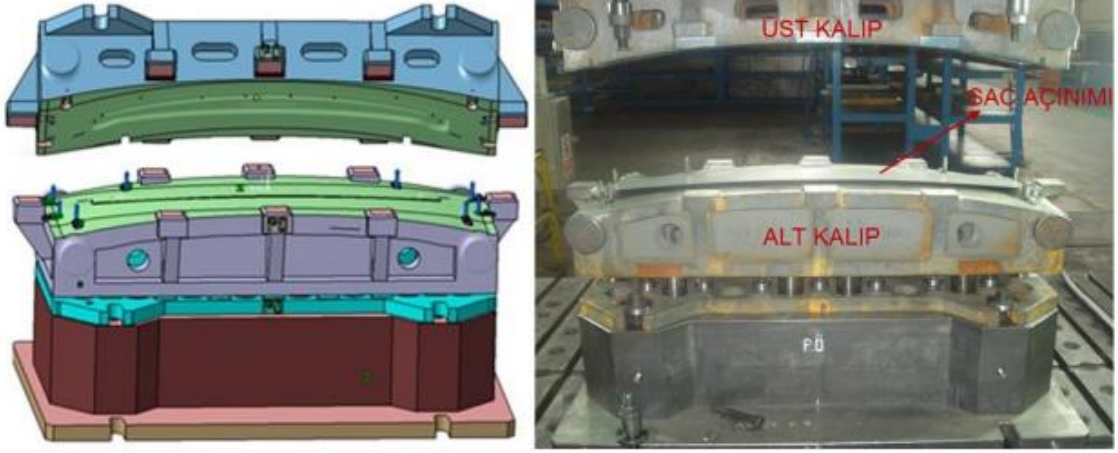
Bu gibi mühendislik isterleri düşünülerek kullanım alanlarına göre çok çeşitli malzemelerden farklı kalınlıklarda saclar araştırılmıştır. Sac metaller hava, kara, deniz araçları, makine, beyaz eşya, enerji, inşaat, otomotiv gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Ürün imalatçısı işleyişe göre sacı bütün olarak alıp istediği ölçülere sac makası ile kesme, lazer ile kesme, su jeti ile kesme, talaşlı imalat gibi yöntemler ile getirir. Bazı seri üretim preslerde kullanılan saclar bir rulo etrafına sarılarak haddelenir ve imalatçı bu şekilde satın alır. Şekil 1.4.' te seri imalat pres makinesi ve rulo sac gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Üretimde Kullanılan Presler

Kaynak: (İlhan, 2018)

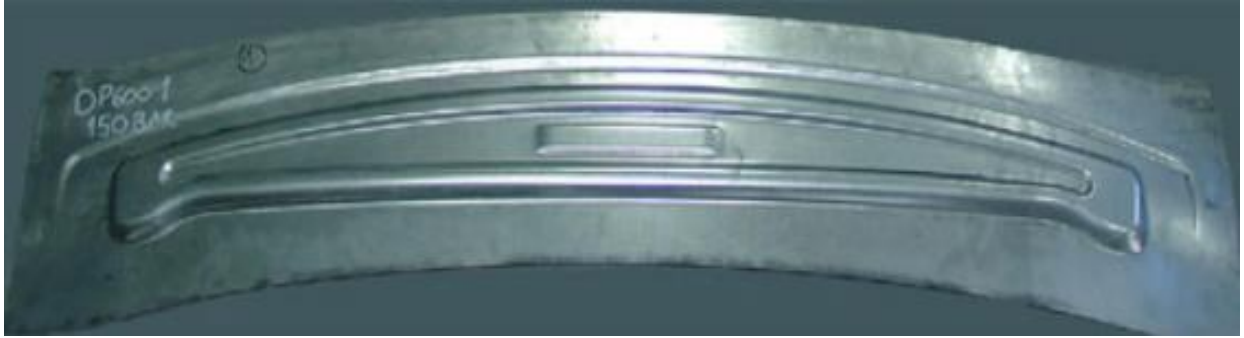
Seri imalat preslerine bağlanması için sac metal formlama işlemlerinde, üretilecek parça geometrileri ve toleranslarına göre kalıp tasarımı yapılmaktadır. Şekil 1.5.' te otomotiv sektöründe kullanılan bir kalıbın görseli mevcuttur. Kalıplar preslere bağlanarak üretim denemeleri sonucu ürün elde edilir. Preslere bağlanan kalıpların üretimi seri üretime uygun olacak şekilde yapılır.



Şekil 1.5. Preslere Bağlanan Sac Kalıbı

Kaynak: (Esener, 2015)

Şekil 1.6.' da preslere bağlanan kalıplardan üretilen nihai ürünler görülmektedir.



Şekil 1.6. Preslerde Üretilmiş Bir Ürün

Kaynak: (Esener, 2015)

Sac metalden nihai ürün sürecine kadar geline bu süreçte otomotiv kalite standartlarına uyum için iyileştirmeler ve çalışmalar devam etmektedir. Otomotiv sektöründeki artan rekabet ile birlikte, otomotiv üreticileri pres ve kalıp teknolojilerine yatırım yapmakta, inovatif çözümler ile verimliliklerini ve yeteneklerini arttırmak istemektedirler. (Baki vd., 2018: 68-85) Otomotivdeki rekabetçilik gereği her yıl yeni model bir aracın geliştirildiği düşünüldüğünde araçlar sürekli olarak yenilenmektedir. Yenilen araçların parçaları formları değişmektedir dolayısı ile sac malzemelerin şekil verilebilirliği için çalışmalar sürekli devam etmektedir. Şekil verilebilirlik için birçok parametre mevcuttur. Bu parametreler şekil verme prosesi sırasında oluşabilecek hataları engellemek üzerine belirlenmiştir ve araştırmalar ile belirlenmeye devam etmektedir. Şekil verilebilirlik parametrelerinden biri olan malzeme parametresi otomotiv sektöründe yeni malzemeler araştırılmasına neden olmuştur.

Otomotiv sektörünün dinamikleri gereği kullanılacak malzemenin hızlı bir şekilde üretimi (pres üretimi için şekil verilebilirlik) yanında dayanım, maliyet, kalınlık veya dış

kısmında kullanılacak ise görsel kaygılar dikkat edilmesi gereken hususlardır. Sektörlerin bu gibi ihtiyaçlarına yönelik sac metal teknolojisi ve malzeme bilimi gelişimine devam etmektedir.

Sac metal sektöründeki sorunlardan biri sac metale şekil verilebilirlik sorunudur. Sac metallerde şekillendirme, metallerde yapılan kesme ve şekillendirme işlemlerine verilen genel isimdir. Sac metallerde şekillendirmeye örnekler; kesme, delik delme, u bükme, v bükme, çekme, derin çekme, form verme işlemleridir.

-Kesme: Nihai ürün üzerindeki boşluklar için sac metal üzerinde kesme veya delik açmak için presleme işlemlerdir.

-Bükme: Bir eksen etrafında sacı germe işlemidir.

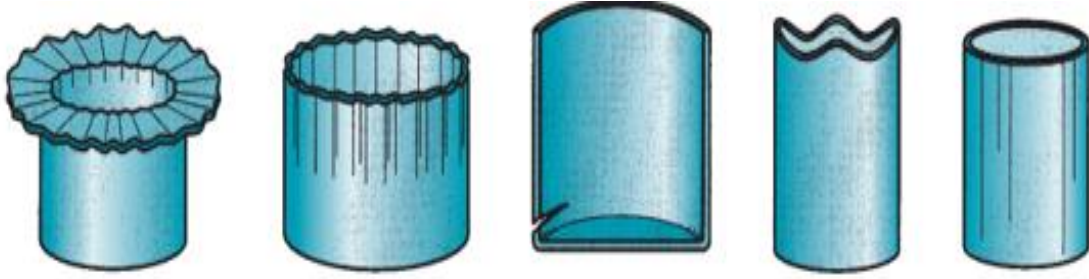
-Çekme: Sacı dışbükey veya içbükey şekle dönüştürmek için kullanılmaktadır.

Sac metal şekillendirme işlemleri her biri farklı parametreler içeren bir imalat prosesidir. Bu nedenle her farklı işlem ayrı olarak incelenmelidir. İmalat esnasında karşılaşılan sorunlar benzer parametrelere bağlı olabilir ancak bir bütün olarak incelenmelidir. Her imalatta olduğu gibi imalat esnasında karşılaşılan hataların sebepleri detaylı araştırılmalı, parametreler arasındaki bağlantılar tespit edilmelidir.

Endüstride birçok alanda kullanılan sacların imalatları sırasında oluşabilecek hatalar genellikle kalıp kaynaklı hatalardan oluşmaktadır. İnsan kaynaklı oluşabilecek hatalar günümüzde makineleşmenin etkisi ile minimuma indirilmiştir. Yeni nesil takım tezgahları sayesinde yüksek hassasiyetli kalıplar üretilmektedir.

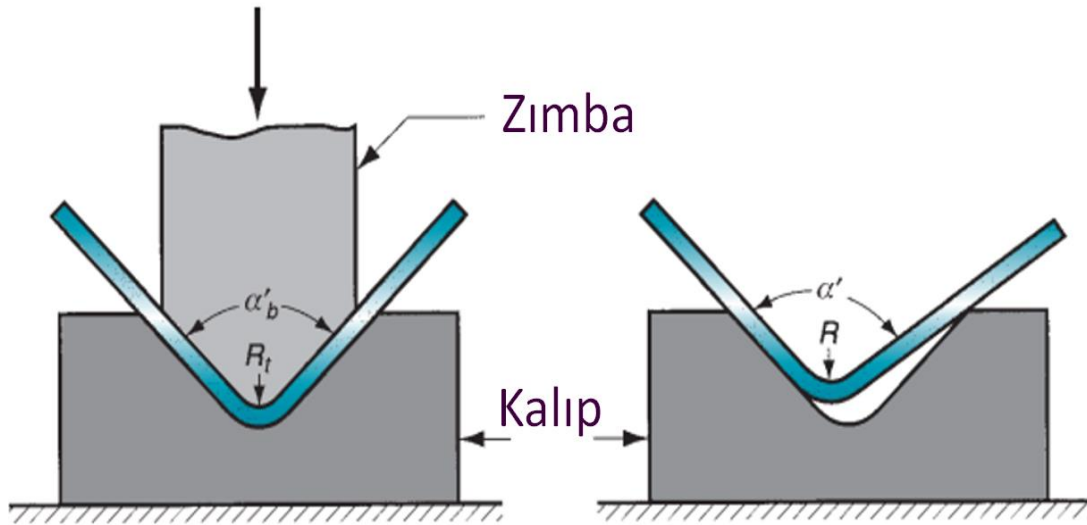
Otomotiv sektöründe şekil verme proseslerinin karmaşıklığına, sürekli güncellenen parça geometrileri ve parçalar da eklendiğinde bu kapsamda proses tasarımı gerçekleştirilen metot mühendisliğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Seri üretimin bulunduğu endüstrilerde, üretimin devamlılığı açısından proses tasarımlarının oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sac metallerin geometrik yapıları ve montaj proseslerinden dolayı, tasarım ve metot mühendislerinin, istenilen ölçü toleranslarına ve parça yüzeyine sahip bir şekilde ürünü şekil verme hataları olmadan verebilecek bir kalıp takımını tasarlamaları ve üretmeleri gerekmektedir. (Esener vd., 2018: 79-89)

Sac metal şekillendirme imalatında kırışıklık, yırtılma, kulaklanma, çizilme, incelme ve geri yaylanma gibi durumlar sık karşılaşılan sorunlardan bazılarıdır. Hatalar sonucunda parça geometrisinde bozulmalar gözlemlenir ve nihai ürüne ulaşılamaz. Şekil 1.7.'de soldan sağa sırasıyla Flanşta Kırışıklık(Buruşma), Duvarlarda Kırışıklık (Buruşma), Yırtılma, Kulaklanma, Çizilme hataları görülmektedir. Şekil 1.8.' de da geri yaylanma(geri esneme) gösterilmektedir. Şekil 1.9.' da sac metal şekil verilmesi ile nihai üründe oluşabilecek incelmelerin incelendiği SEY analiz sonucu görülmektedir.



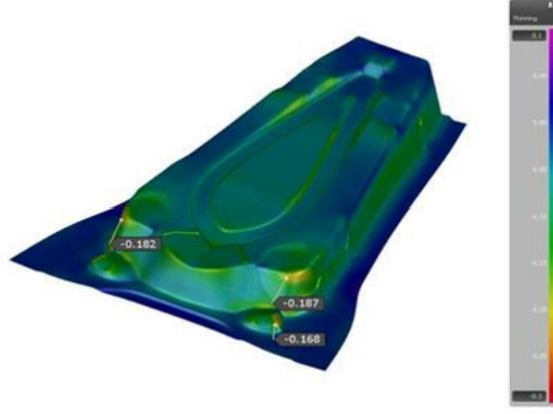
Şekil 1.7. Yaygın Karşılaşılan Sac Metal Şekillendirme Kusurları

Kaynak: (Groover, 2010: 461)



Şekil 1.8. Geri Esneme (Geri Yaylanma)

Kaynak: (Groover, 2010: 452)



Şekil 1.9. SEY ile Çözümlemiş İncelme Dağılımı

Kaynak: (Çelik, 2020)

Sac metal imalatı parametrelerindeki problemlere çözüm bulmak işlem adımları uzunluğu ve geometrinin karmaşıklığından dolayı güçtür. Bu gibi durumlarda mühendislikte pratik ve doğru çözüme ulaşabilen yöntemlere başvurulur. Bu hataların imalattan önce tespit edilerek önüne geçmek bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemleri analizi yardımıyla mümkündür. Sonlu elemanlar analizinin de en önemli çıktısı tahmin hassasiyetidir. Tahmin hassasiyetine etki eden parametreler proseten bağımsız durumda olan ve modelleme adımlarını oluşturan sonlu elemanlar hesaplama parametreleridir. Simülasyon hassasiyetinin yanı sıra özellikle seri imalat endüstrisi açısından simülasyon çözüm süresi bir diğer kritik parametredir. Sonlu elemanlar analizlerinde verimin yükseltilebilmesi için hassasiyetten ödün vermeden minimum sürede çözümün tamamlanması gerekmektedir (Vatansever ve Esener, 2019): 92-108). Hızlı çözümlere yönelik malzeme değişkenliklerinde zaman alan karmaşık modeller yerine malzemenin etkisi belirlemek amaçlı benzetim modellemeleri yapılarak analize gidilir.

İmalat aşaması öncesinde hataların önüne geçmenin bir diğer yöntemi ise benzetim modelleri kullanarak test yapılması, ardından malzeme davranışlarını inceleyerek gerçek zamanlı bir sonuç elde edilmesidir. Aynı zamanda yapılan testlerin sonunda elde edilen çıktılar sonlu elemanlar analiz programına aktarmak simülasyonun doğruluğunu arttırmaktadır. SEY uygulamalarını mühendislik alanında birçok alanda görmek mümkündür. Mekanik araştırmalar sonucu sistemlerdeki mukavemetin zayıfladığı bölgeler araştırılmaya devam etmektedir. Sistem üzerinde mukavemet zayıflıkları veya mekanik yorulmaların tespiti için birçok mühendislik metoduna başvurulabilir. Bu yöntemlerden en hızlısı bilgisayar destekli sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanmaktır. Günümüzde mühendislik alanında her sektörde kritik tasarım ürünlerin analizi bu şekilde yapılmaktadır.

Bilgisayar destekli SEY programı, yapılan tasarımın sistem üzerindeki bölgesel zayıflıkları gösterir. Dayanımsal zayıflıkları gidermenin bir yolu da ürünü kalınlaştırmaktır. Ancak ürünü kalınlaştırmak ağırlığın artmasına, sistemin büyümesine neden olmaktadır. Tasarımın kalınlaşması ürünün sistem üzerinde diğer tasarım ürünleriyle çarpışmasına neden olabilmektedir. Kalınlaşma ile ürünün ağırlığının artmasından dolayı sistemin hareketini gerçekleştirmek için daha fazla enerji verilmesine neden olabilmektedir. Bu tarz bölgeler için bölgesel dayanım araştırmaları yapılmaktadır. Bölgesel zayıflıkların güçlendirilmesi adına mühendislik sistemlerinde yeni ürünler, yeni üretim yöntemleri ve yeni malzemeler bulunması kaçınılmazdır. Günümüzde sistemlerdeki mühendislik isterleri gereği yeni ürünlerin isterleri karşılaması kontrol edilir, analiz edilir, test edilir ve uygunluğuna karar verilir.

Sistemlerde kullanılacak bir ürün birden fazla mühendislik isteri gerektirdiği durumlarda bir isteri sağlarken diğer isterde zayıflık gösterebilir. Sistem üzerindeki zayıflığın nedeni parçanın boyutundan parçanın üretim yönteminden, parçanın sisteme bağlantı yönteminden kaynaklı olduğu görülmektedir. Yöntem ve sistem mükemmel tasarlansa bile parçanın doğası gereği mekanik özelliklerinden bazıları yeterli, diğer özelliklerinin yetersiz geldiği durumlarla karşılaşma ihtimali bulunmaktadır. Malzeme kaynaklı durumlarda zayıflık gösteren malzeme, güçlü özellikler barındıran malzemeler ile desteklenerek yeni malzeme grupları(çok katmanlı malzemeler vs.) elde edilir. Mühendislik isterleri gereği bulunan malzemelerin üretilebilirliği ve maliyetlerinin düşürülmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Gündelik hayatta ürünün kullanımının artması ile talep artmakta ve üretim hızlandırılarak arz artırılmaktadır. Geliştirilen bir malzeme ve beraberinde getirdiği mühendislik isterlerinin uygunluğu sayesinde başka çalışmalara ışık tutulmaktadır ve bilimsel gelişmeler devam etmekte; veya standartta kullanılan bir sistem geliştirilebilmekte veya iyileştirilebilmektedir.

1.1. Bölüm Değerlendirmesi

Sonuç olarak, mühendislik sistemlerindeki mühendislik isterleri doğrultusunda geçmişten günümüze ve geleceğe yönelik birçok araştırma yapılmaktadır. Bu bölümde literatürde bu zeminde hazırlanan çalışmalar incelenerek sac metallere için gereksinimler belirtilmiştir. Gereksinimler belirlenirken sac metal parçaların imalattan nihai ürüne geçene kadar tüm aşamaları gözlenmiştir. Yeni malzemeler keşfedilmesi ihtiyacı üzerinde durulmuştur. Bu doğrultuda ihtiyaca yönelik yapılan çalışmalardan biri de çok katmanlı malzemeler araştırmaktadır. Özellikle sac metal teknolojisi dinamikleri gereği isterler ve imalat kusurları göze alındığında çok katmanlı sac metallere başvurulmaktadır.

1.2. Tezin Amacı

Sürekli gelişen ve değişen sistemlerin tercih edilen alt ürünlerinde ürünlerin mühendislik isterleri ile birlikte sistemin gereksinimlerini karşılamadığı durumlar gözlemlenmektedir. Sistemdeki ürünlerin hafifletilmesi sağlanırken mekanik özelliklerinin korunması hatta geliştirilmesi istendiği durumlarda mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla yapılan sistem parçalarının kalınlaştırılması sistemin genişlemesine ve ağırlığının artmasına sebep olması nedeniyle sistemde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bunun yerine parçada malzeme değişikliğine gidilmektedir. Birçok sistemin alt ürünü olan sac metallerde üretim yöntemleri gereği farklı malzemeler ile çalışmak için sınırlı bir alan mevcuttur.

Bu yüzden sac metallerde yeni malzemeler ile çalışmanın alternatifi olarak çok katmanlı sac metallere tercih edilmektedir. Tez çalışması kapsamında imal edilmiş çok katmanlı kauçuk, paslanmaz veya alüminyum katmanları içeren numuneler ile sistemlerde kullanılan saclar yerine bu ürünün kullanılabilirliği test edilmesi hedeflenmektedir. Bu zeminde sac metallere şekil verilirken imalatta sık karşılaşılan hatalar incelenmektedir ve incelenen hataların imal edilmiş çok katmanlı sacda etkisi incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. ÇOK KATMANLI MALZEMELER

Çok katmanlı malzemeler en az iki farklı malzeme veya ikiden fazla en az ikisi farklı malzemenin birleşmesi ile oluşur. Bu birleşmede her malzeme bir katmanı temsil eder. Katmanlarındaki malzeme değişiklikleri ile ürünlere farklı özellikler kazandırılır. Bir üründe birden fazla malzeme özelliği istenilen durumlarda sıkça kullanılır. Bu nedenle çok katmanlı malzemeler özel kullanım alanlarında veya yüksek mekanik özellikler gereken proseslerde kullanılır. Üretim yöntemleri diğer ürünlere göre maliyetlidir. Özellikle uçak, uzay, savunma sanayi sektörlerinde koşulların özel olması nedeni ile tercih edilmektedir. Şekil 2.1.' de gösterilen savunma sanayi sektöründe kullanılan araçların görevleri gereği dayanıklı ve hafif olması istenirinden dolayı dış gövdelerinde çok katmanlı malzemelerin kullanıldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 2.1. Savunma Sanayi Sektöründe Kullanılan Araçlar

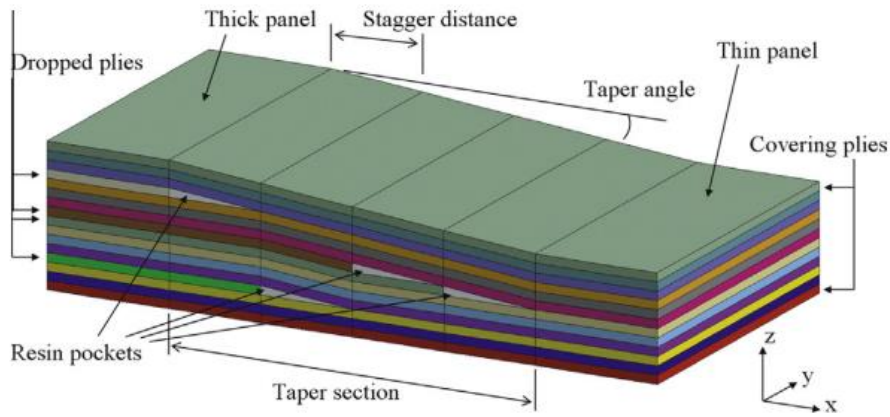
Kaynak: (Savunma Sanayii Dergilik, 2019)

Çok katmanlı malzemeler içerdikleri malzemelerin mekanik özelliklerini taşırlar. Çok katmanlı malzemelerde eklenen katmanlar ana malzemeleri güçlendirerek yeni bir kimlik vermesine neden olmaktadır. Geçmişten günümüze çok katmanlı malzemeler incelendiğinde benzer sistemlerde oluşan sorunlardan kaynaklı geliştirilen ürünler olduğu görülmüştür. İlave edilen her katman mekanik özelliklerden birini çok yükseğe çıkarmakla beraber diğer bir mekanik özellikten taviz verilmesine neden olabilir. Ancak katmanlar arası malzeme ilavesi ile bazı mekanik özelliklerde iyileştirme yapılabilmektedir.

Katman sayısındaki artışın dezavantajı ise kalınlık ve ağırlık artmasına neden olduğu göz ardı edilmemesi gereken bir noktadır. Her katman arasında bir bağ kurulması parça bütünlüğü açısından gereklidir. Her katmanın birbirine iyi bir şekilde bağlanmaması, ürün üzerine gelen yükler sonucunda ürünün dağılmasına yani ürünün özellikleri kaybetmesine neden olmaktadır. Katmanlar arası bağlar farklı yöntemler ile yapılır. Şekil bağı verilerek, mekanik geçme yaparak veya kimyasal bağ kurarak katmanlar oluşturulur. Kimyasal bağ kurularak oluşturulan ürünlerde malzemeler arasındaki uyum incelenmelidir.

Son zamanlarda ise farklı elyaf kumaşlar veya ince alaşımlı metal malzemelerin arasına, bal peteği, oluklu levhalar veya endüstriyel yapıda metalik ya da polimer esaslı köpük malzemeleri yerleştirilerek yeni çok katmanlı malzemeler üretilmektedir. (Geren vd., 2017: 13-22)

Çok katmanlı malzemelerde optimum ürün elde edilmesi bu malzemelerin avantajlarından biridir. Tüm ürün homojen bir kalınlığa sahip olmadan bölgesel kalınlaştırmalar ile heterojen kalınlığa sahip ürün elde etmek mümkündür. Bölgesel kalınlaşmalar kalınlaşma istenilen bölgelerde, katman sayısı (serim sayısı) artırılarak yapılmaktadır. Her serim bir laminasyon olarak tarif edilir ve bilgisayar destekli SEY programı ile sistem analize edilerek laminasyon planları belirlenir. Böylelikle optimum kalınlık ve ağırlıkta ürünler üretilir. Şekil 2.2.' da heterojen optimum kalınlığa sahip çok katmanlı ürün gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Heterojen Kalınlıklarda Katmanları Hazırlanmış Çok Katmanlı Ürün

Kaynak: (Irisarri vd., 2014: 556-569)

Çok katmanlı ürünlerin elde edilmesinde farklı çeşit malzemeler kullanılmasındaki tek kısıt malzemeler arası uyumdur. Çok katmanlı malzemeler malzemeler arasındaki bağ veya malzeme çeşitlerine göre gruplandırılmaktadır.

2.1. Bimetaller

Çok katmanlı bir ürün olan bimetalik malzemeler; farklı iki metalin üstün karakteristik özelliklerini tek bir tasarımda toplamak amacıyla, bu iki farklı metalin çeşitli yöntemlerle birleştirilmesiyle üretilen makro kompozit malzemelerdir (Su, 2001). Günümüzde bimetalik malzemeler birçok endüstri alanında sıkça başvurulan, alternatif bir malzeme haline gelmiştir. Elektrik-Elektronik sektörü başta olmak üzere, motor yatak sacları, buhar tuzakları, sensörler, termostatlar, termometreler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, alüminyum ile kaplanmış çelik tellerde; çelik teller dayanım ve yüksek mukavemet özellikleri sağlarken, alüminyum ise elektrik iletkenliği ve korozyon direnci gibi özellikleri sergileyerek üstün performanslı bir bimetal malzeme meydana getirmektedir. Daha somut bir örnek vermek gerekirse; şuan ki madeni paraların büyük bir kısmı bimetalik malzemelere örnek olarak verilebilir. (Öztürk, 2020) . Şekil 2.3 'te Bimetal para örnekleri bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Bimetal Para

Kaynak: (Öztürk, 2020)

Mevcut üretim yöntemlerinin birçoğu bimetal malzeme üretiminde de kullanılabilir. Sürekli döküm, statik döküm, kaplama, hassas döküm, santrifüj döküm, ekstrüzyon vb. üretim yöntemleri ile üretimi gerçekleştirilebilir (Çetintav, 2014).

Kazanowski (Kazanowski) ekstrüzyon kalıplarının ömrünü artırmak için bir kalıp içine yuva açarak, yuvanın içine tungsten karbür bir parça ekledi. Tungsten karbür sertlik ve aşınma direnci ve tokluk sağladı. Böylelikle ekstrüzyon kalıplarının ömründe artış gözlemlendi.

Mehnen ve diğerleri (Mehnen, vd., 2000: 779-781) çalışmasında bükme miktarının tespiti için bimetal manyetostriktif amorf şerit (AR) hazırlayıp bükme prosesine uygulamıştır.

Chitkara ve Aleem (Chitkara ve Aleem, 2001: 2857-2882) çalışmasında simetrik eksenli bimetal tüplerin ekstrüzyon esnasındaki deformasyonu simüle etmiştir. Tek katman içi boş tüpler ile kıyaslamıştır.

Hwang ve Hwang (Hwang ve Hwang, 2002: 226-233) bimetel çubuk ekstrüzyonu sırasında konik bir kalıp içindeki plastik deformasyon davranışını incelemiştir.

Nowotynska ve Smykla (Nowotynska ve Smykla, 2009: 1943-1949) bimetel malzemeler ekstrüzyon yöntemi ile üretirken ekstrüzyon kalıplarının parametrelerinin deformasyona etkisini incelemiştir.

Khosravifard ve Ebrahimi (Khosravifard ve Ebrahimi, 2010: 493-499) bakır tele alternatif bir ürün geliştirdi. Bakırın yüksek yoğunluğu ve fiyatındaki dalgalanmalarından dolayı bakır tel yerine farklı bir ürün üzerine araştırma yaptı. Alternatif olarak hafif olması ve fiyatının düşük olması nedeniyle alüminyum kullanılması düşünüldü. Ancak alüminyumun oksit sorunu vardı. Bu nedenle Al/Cu kaplı bimetelik bir tel üretme fikri önerildi. Üretilen Al/Cu malzemesi bakırdan %40-60 daha hafif ve %30-40 daha ucuz bir üründür.

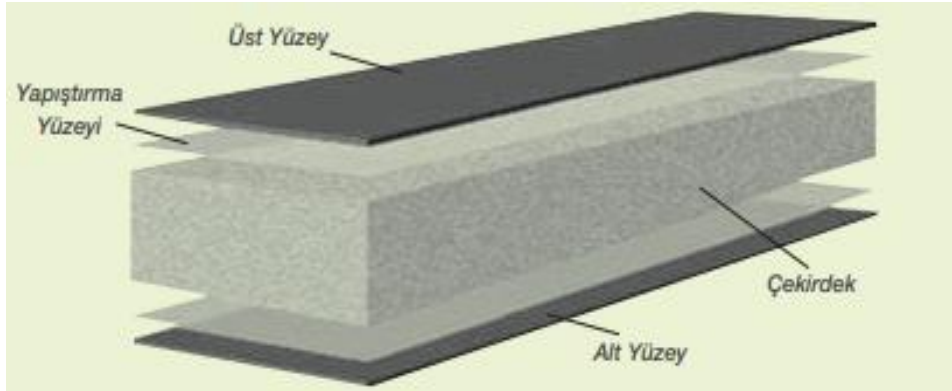
Çetintav (Çetintav, 2014) çalışmasında bimetelik parçalar tasarlayarak üretilip, dövme işlemini deneysel olarak uyguladı. aynı koşullar ile analitik hesaplama ve FEM simülasyonu yaklaşımları yapmıştır.

Yıldırım ve Kaya (Yıldırım ve Kaya, 2022: 1) çalışmasında patlamalı kaynak yöntemi kullanılarak üretilen bakır-titanyum bimetelik malzemelerin birleştirme arayüzeyini incelemiştir.

2.2. Kompozitler

Çok katmanlı bir ürün olan kompozitler, iki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özelliği çıkarmak için, mikro, mezo veya makro seviyede heterojen birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir. (Park, 2018: 1-30) Kompozit malzemelerin diğer malzemelere karşı avantajları arasında hafiflik, esneklik, değişik formlara kolay dönüşebilir, yüksek yorulma kabiliyeti, darbe ve korozyon dayanımına sahip olmaları, rutubete karşı dirençli, kolay taşınabilir, uzun süre muhafaza edilebilir, boyutlarının stabil olması, kolay işlenebilir olması, geri dönüşümü kolaylığı olarak sayılabilir. Kompozit malzemelerin kullanımını kısıtlayan bazı dezavantajları da mevcuttur. Örnek vermek gerekirse kompozit üretiminin yüksek maliyetli olması, hasar görmüş kompozit yapıların onarımının daha zor olması doğal ürün olmaması hammaddenin pahalı olması gibi faktörler dezavantaj olarak sıralanabilir (Arslan ve Kaman, 2002: 113-123).

Kompozitler yüksek çekme ve basma dayanımına sahip ürünler olduğunda özellikle havacılık, uzay, denizcilik, savunma sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır. Öte yandan inşaat sektörü, otomotiv, beyaz eşya sektörlerinde de kullanılmaktadır. Çeşitli üretim yöntemleri ile üretilenler de temelinde birbiri üzerine yapıştırıcı kullanılarak serim yapılarak üretilirler. Üst yüzey, alt yüzey ve arasında bulunan katmanlardan oluşur. Şekil 2.4. te Bir kompozitin katmanları gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Kompozit Katmanları

Kaynak: (Güler ve Ulay, 2009: 78-92)

Savunma sanayi sektöründe zırhlama için kullanılan balistik kompozit dayanımı yüksek ve enerji sönmüleyen bir üründür. Her bir katman ürüne farklı bir mekanik özellik ekler. Ürün incelendiğinde Kontrplak, Alüminyum 5052(Bal Peteği Form), Kevlar elyaf katmanlarından oluşmaktadır. Şekil 2.5.' te Balistik zırh katmanları görülmektedir.



Şekil 2.5. Balistik Zırh Katmanları

Kaynak: (Özgültekin, 2012)

Çok katmanlı malzemeler üzerine literatürde araştırmalar devam etmektedir.

Tokuno ve İkeda (Tokuno ve Ikeda, 1991: 323-335) kompozit çubukların ekstüzyon işlemindeki deformasyonunu incelemiştir.

Zahidpoor ve arkadaşları (Zabihpoor, vd., 2007: 1831-1842) karbon-cam elyafından oluşan hibrit yüzey tabakaları ve pvc köpük çekirdek malzemesinden oluşan sandviç üretim çekme yükleri altında grafiğini çıkarmıştır.

Atas ve Sevim (Atas ve Sevim, 2010: 40-48) cam elyaf ve balsa ağacı ile pvc köpük kullanarak darbe yükleri altında hasar durumunu incelemiştir.

Bey ve arkadaşları (Bey, vd., 2012: 1178-1184) farklı açısız dizilişlerde cam elyafı ve pvc köpük malzemelerinden sandviç panel üretti ve numuneleri 3 nokta eğilme testine tabi tuttu.

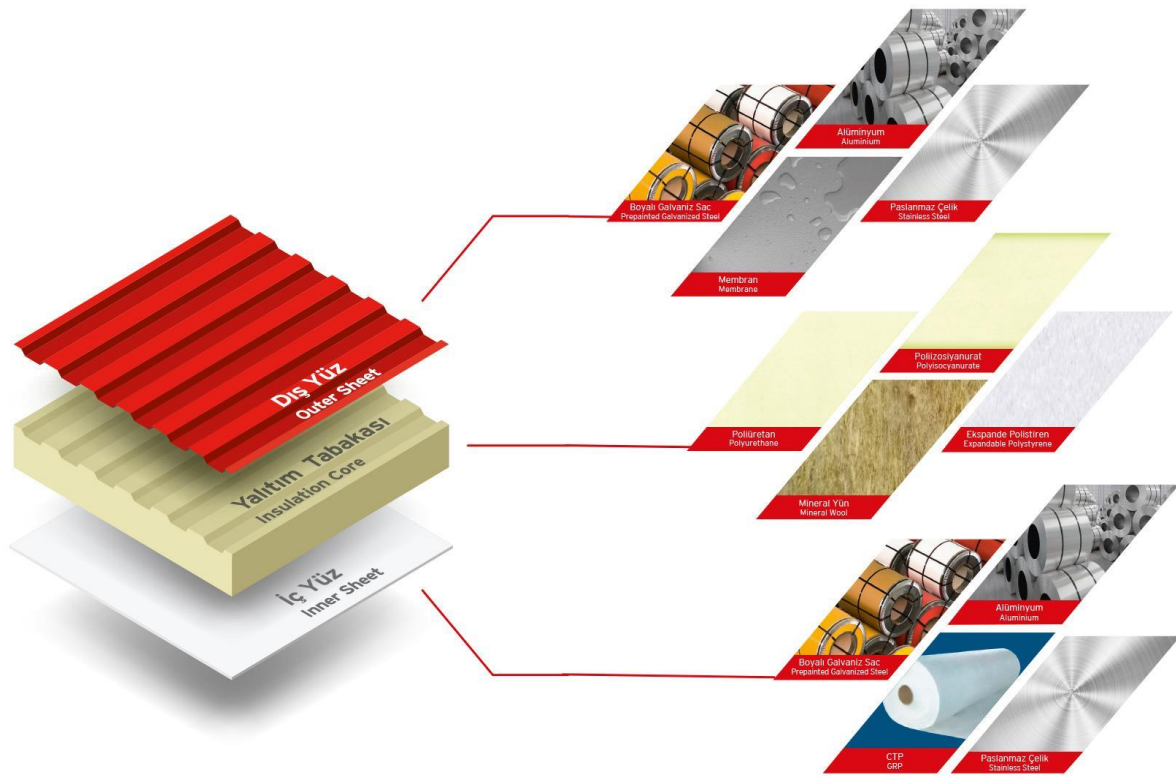
Zhou ve arkadaşları (Zhou, vd., 2012: 1781-1790) farklı tür polimer köpükler ile üretilen sandviç panelleri düşük hız darbe testine tabi tuttu ve batma direncinin köpük türüyle ilişkisini ortaya koymuştur.

Özdemir ve arkadaşları (Özdemir, vd., 2015: 1315-1329) pvc ve pet köpük malzemeyi çekirdek malzeme olarak kullanarak bunların farklı kalınlıklardaki etkilerini incelemiştir.

2.3. Katmanlı Sac Metaller

Çok katmanlı bir ürün olan katmanlı sac metaller, katmanlı sandviç malzeme olarak da tanımlandığı görülmektedir. Çok katmanlı sac metal üretiminde iki farklı malzemenin özelliklerinden faydalanılmaktadır (Oyaa, vd., 2009: 1926-1933). En az iki sac veya levha malzeme arasına çeşitli yöntemlerle birleştirilen farklı malzeme veya malzemeler ile oluşturulan ürünlerdir. Ürünün amacı homojen tek katmanlı sac veya levhalara göre daha iyi malzeme özelliklerine sahip bir ürün elde etmektir.

Katmanlı sac malzemeler ile çok daha hafif, daha rijit, aynı zamanda dayanıklı düşük maliyetli hibrit malzemeler üretilmesi hedeflenmektedir. Genellikle içerisinde barındırdığı malzemelerin özellikleri tüm katmanlı malzemelerde olduğu gibi birbirlerinin eksiklerini tamamlar. Örneğin; inşaat sektöründe daha sık kullanılan ve çok katmanlı sac metal ürünü olan yalıtım katmanı içeren sandviç paneller ısıyı iyi absorbe ettikleri için kullanılmaktadır. Ürün, katmanları Şekil 2.6.' da belirtildiği gibi metal dış yüzey, yalıtım malzemesi ve iç yüzeyden oluşur. Yaz kış ısı farkı ve depremsel oynamalardan kaynaklı tek katmanlı paneller üstündeki matkap delikleri yerleri büyür ve sıvı sızmasına neden olur. Paneller arasında eklenen yalıtım malzemesi sızdırmazlık sağlayarak tek katman panelin eksilerini tamamlar.



Şekil 2.6. Taşyünü Panel Katmanları

Kaynak: (Teknopanel, 2022)

İnşaat sektörü dışında havacılık, elektrik, otomotiv, enerji, petrol, petrokimya, konteynerler ve basınçlı kaplar gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Çeşitli özelliklere ulaşmak için farklı katmanların kombinasyonu birçok sektörde talep görmektedir. Bazı endüstriyel parçalar, tek katmanlı malzeme ile gerekli tüm özellikleri sağlayamaz. Sandviç levhalarda katmanların birbirine bağlanması ve metal şekillendirme prosesi kullanarak üretilmesi önemli bir konudur (Mollapour, vd., 2018: 36-53).

Çok katmanlı saclar, katmanlar arasında germe, soğuk kaynak gibi işlemler uygulanarak metalurjik bağlar oluşturulur. Çok katmanlı malzemelerde bölgesel kalınlaştırmalar imalatları açısından uygun değildir. Saclar üretim yöntemleri gereği tek bir kalınlıkta çıkmaktadır ve bölgesel kalınlıklar verilmesi özel bir üretim yöntemi ile olmaktadır.

Otomotiv sektörü dinamikleri açısından farklı kalınlıklar veya farklı malzemeler ile oluşturulabilecek çok katmanlı sacların bu açıdan uygun olmadığı görülmektedir. Ancak otomotiv sektöründe genel boyutlar genişlediğinden, emniyet ve konfor konusunda artan talepleri karşılamak amacıyla çok sayıda elektrikli ve elektronik bileşen dâhil edilmiştir. Bunun getirisi olarak otomobillerin ağırlığında artış meydana gelmiştir. Daha yüksek ağırlık yakıt tüketiminin artmasına yol açtığından, ek bileşenlerin ağırlığını tazmin etmek için araçlarda beyaz gövde (body in white) daha hafif olması gerekmektedir. Beyaz gövde sac metallerin fazla bulunduğu bir bölgedir. Bu nedenle araç üretimlerinde beyaz gövdede sadece daha yüksek mukavemet veya sertliğin gerekli olduğu alanlarda tailor saclar kullanılmaktadır (Merklein, vd., 2006: 151-164). SEY analizi ile bölgesel zayıflıkları belirlenen bölgeler için geliştirilen tailor saclar, bölgesel mukavemet sağlamaktadır. Tailor saclarda bütünlük kaynak veya haddeleme ile sağlanır. Genellikle otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. İki sacın birleştirilmesi kaynak ile sağlanıyor ise kaynaklı tailor sac (tailor-welded) olarak adlandırılır. Ancak farklı metal sacı birleştirirken kaynak metalurjisi iyi incelenmelidir. İki sacın birleştirilmesi haddeleme yöntemi ile gerçekleşiyor ise bu ürünler haddeli tailor sac (tailor-rolled) olarak adlandırılır.

Çok katmanlı metaller üzerine literatürde birçok araştırma bulunmaktadır.

Atkins ve Weinstein (Atkins ve Weinstein, 1970: 641-657) çok katmanlı metallerde sıkıştırma, haddeleme, çekme ve ekstrüzyon yöntemi sırasında oluşabilecek deformasyonların araştırması yaptı.

Durban (Durban, 1984: 649-666) çok katmanlı metal sacların, tellerin ve boruların çekme ve ekstrüzyon esnasındaki plastiste davranışını analiz etti.

Yuan (Yuan, 1996: 254-264) tarafından yapılan çalışmada, kompozit sac malzemelerde geri yaylanmayı azaltmaya araştırılmıştır. Geri yaylanmayı tespit etmek için bir matematiksel model çözümü önermiştir.

Jemal ve arkadaşları (Jemal, vd., 2022: 012012) çok katmanlı sac metalin SEY analizi ile sıcak haddelenmesini analiz etmiştir.

2.4. Bölüm Değerlendirmesi

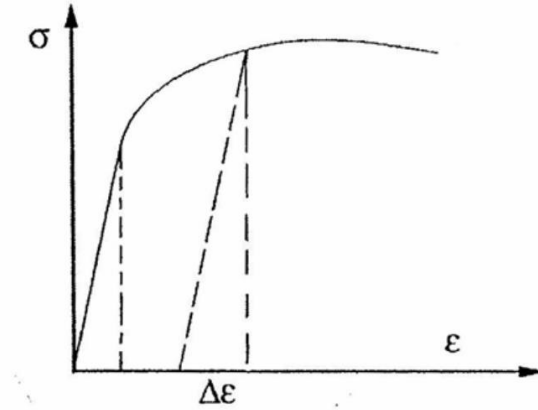
Sonuç olarak literatürdeki araştırmalar ve incelenen çok katmanlı malzemelerde katmanların malzemesinin seçimi yapılırken belirli mekanik özelliklerin ve konfigürasyonların ele alındığı görülmektedir. Araştırılan ve incelenen ürünlerde eklenen katmanlar ürüne dayanım, sertlik, darbe direnci, ömür, termal veya ses yalıtımı gibi konularda iyileştirmeler yapmıştır. Tüm iyileştirmeler sağlanırken sistemsel isterler göz önünde bulundurulmuştur. Özellikle ağırlık veya kalınlık parametreleri kısıtlarına dikkat edilmiştir. Bu gibi konular ile eş zamanlı mühendislik isterleri gereği ürünlerde maliyet ve üretim yöntemleri, katmanlar arası bağların kurulması için gerekli koşulların sağlanması konuları üzerinde durulmuştur.

Verilen örneklerde ve literatürdeki çalışmaları incelendiğinde çok katmanlı ürünlerin uygulamalarda sistemin gereksinimlerine optimum bir şekilde görevini yerine getirdiği görülmüştür.

3. GERİ ESNEME (YAYLANMA) KAVRAMI

Preslerde üretimde yüksek basınç etkisi nedeni ile sac malzemeler üzerinde çeşitli deformasyonlar görülür. İmalatta oluşan en önemli sorunlardan biri geri esneme (yaylanma) hatasıdır. Geri yaylanmanın telafisi oldukça güç olduğundan imalat aşamasından önce çözülmesi gereklidir. Bu yüzden geri yaylanma kavramı iyi anlaşılmalı, iyi analiz edilmeli ve doğrulanmalıdır.

Geri esneme, şekil verme işlemini takiben yük boşaltımı sırasında metal levhanın şeklinin elastik olarak değişime uğraması olarak tanımlanmaktadır (Hoffman, 1998). Bu değişim detaylı incelendiğinde; sac malzeme yüksek çekme, germe ve bükme kuvvetleri altında almış olduğu formu bu kuvvetler üzerinden kalktıktan sonra, malzemenin elastik özelliklerinden dolayı parça geometrisinde meydana gelen büyük oranda elastik ender olarak da elastik-plastik değişim olarak tanımlanan bir geometrik değişim gerçekleştirir. Bu duruma örnek olarak sünek bir metalin akma diyagramında yükleme kaldırıldıktan sonra malzemenin uzama miktarındaki düşüş gösterilebilir (Arslan, 2007).



Şekil 3.1. Sünek Bir Metaldeki Geri Esnemenin Akma Diyagramı Üzerinde Gösterilişi

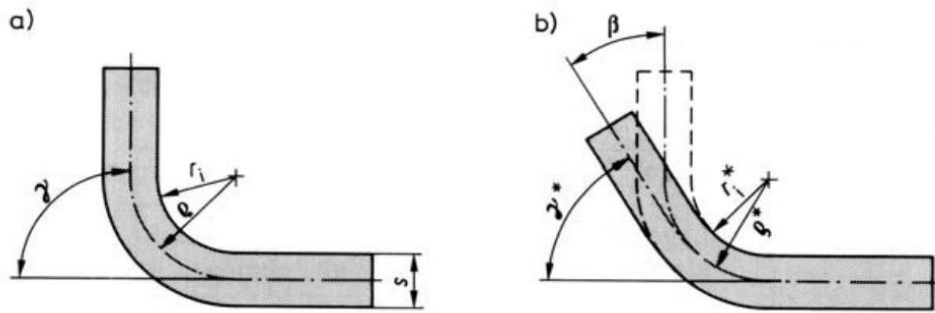
Kaynak: (Arslan, 2007)

Bu düşüş sac metallerde de şekillendirme işleminde sac metal üzerinden kalkan yük neticesinde sac metalin şekil verilmeden önceki haline geri dönme eğilimini açıklamaya yardımcıdır. Malzemenin doğası gereği gerçekleşen bu eğilim sac parçalarda istenilen formun çıkmasına engel olan bir hata türüdür. Geri yaylanma veya geri esneme olarak adlandırılan bu hata türü birçok parametreye bağlıdır.

Geri esnemenin elastikiyet modülü, akma gerilmesi, pekleşme özelliği gibi malzeme parametreleri ile uygulanan kuvvet, sacın kalınlığı, kalıbın açısı, zımba yarıçapı, kalıp açıklığı gibi işlem parametrelerinin, geri esnemeye karmaşık bir şekilde etki ettiği bilinmektedir (Tekaslan, vd., 2008: 231-238). Parça tutucu kuvvet, malzeme kalınlığı, sürtünme gibi etmenler de geri esneme davranışı üzerinde rol oynamaktadırlar (Esener, 2015). İlave olarak geri esnemeye; işlem parametreleri (sıcaklık vb.), malzeme üzerinde zımba yükünün beklediği zaman aralığı (ütüleme süresi) etkilemektedir (Tekaslan, vd., 2006: 251-258). Geri esnemeye etki eden parametrelerin malzeme veya sac şekillendirme yöntemi kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu yüzden geri esneme tespiti için malzeme parametreleri ve sac şekillendirme yöntemi hakkında detaylı bilgilere sahip olunması şarttır.

Sac şekillendirme, sac metallerin belirli standart ölçüler dahilinde kesilmesiyle gerçekleşmektedir. Ardından sac metale şekil verme, kesme, delik açma gibi işlemler için preslere bağlı kalıplar üzerinde uygun prosese yönelik aksiyonlar alınıp nihai geometriye ulaşmaktadır.

Sac metale şekil verme süreci ise iki adımda incelenebilir. Bunlardan birinci adım; şekillendirilmemiş sac parçasının (taslak) kalıp geometrisinin şekline getirilmesidir. Bu adım şekillendirme ya da yükleme adımı olarak adlandırılabilir. İkinci adım; yüklemenin kaldırılması ile serbest kalan şekillendirilmiş parçanın üzerindeki artık gerilmelerin etkisiyle son şekillendirme formunun elde edilmesi (geri esneme) olarak adlandırılır. (Karafillis ve Boyce 1992: 113-131) Her büküm işleminde geri esneme meydana gelir, başka bir deyişle planlanan büküm açısında sapma oluşur (Tschaetsch, 2005). Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Geri Yaylanmış Bir Büküm Parçası a) Öncesi b) Geri Yaylanma Sonrası

Kaynak: (Tschaetsch, 2005)

Geri esneme, ürüne kalıplama sırasında verilen şekil ile kalıplama sonrası elde edilen şekil arasındaki fark oluşturmaktadır. Bu fark geri esneme miktarını tanımlar. Geri esneme miktarı bazı parametreler ile değişkenlik gösterebilir. Malzeme, proses, kalıp gibi parametrelerin değişkenliği göz önüne alınarak çok sayıda deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleriyle bilgisayar destekli sayısal analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu yöntemler ile geri esneme miktarı belirlenir ve hataların minimuma indirecek telafi çalışmaları gerçekleştirilir. Kalıp imalatı zaman ve maliyet gerektiren bir süreç olduğundan telafilerin kalıp imalat aşamasından önce tasarım aşamasında olması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Tasarım aşamasında hataları minimize indirilmesi hedeflenmektedir. İmalat aşamasında bu tarz problemlerin önüne geçmek hem zor hem de maliyetlidir.

Tasarım aşamasında, sac metal imalatı hataları parametreleri ortaya konulduğunda problemlere çözüm bulmak işlem adımları fazla ve uzun olduğundan veya geometrinin de karmaşıklığından dolayı güçtür. Çok karmaşık matematiksel problemlerin hızlı çözülmesi bilgisayarın hayatımıza girmesi ile kolaylaşmıştır. Bilgisayar aynı zamanda değişkenlere farklı değerler atayarak elde edilen konfügrasyonların hızlı çözülmesine vesile oldu. Mühendislik problemlerindeki değişken sayılarının fazla olması ve değişkenlerin birbirine bağımlı olması bilgisayar programcılığındaki algoritmaların kurulması anlamına geliyordu.

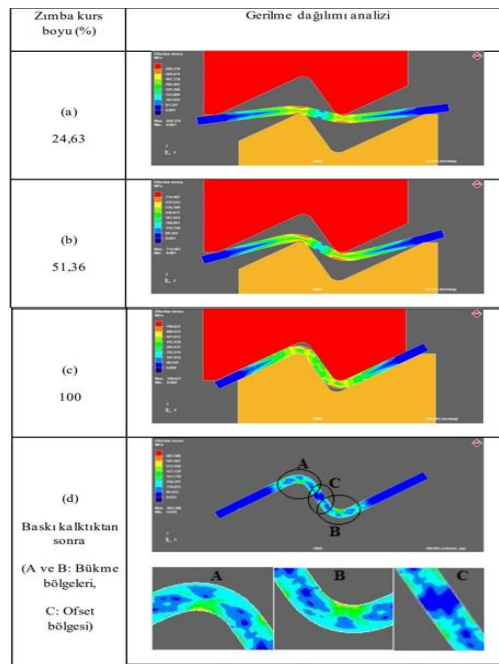
Kurulan algoritmalar mühendislik problemlerinin hızlı çözülmesine yani mühendislik analiz programlarının doğmasına sebep oldu. Mühendislik analiz programları malzeme, kuvvet, geometri gibi değişkenleri hızlı bir şekilde değiştirip çözümlenmektedir.

Bilgisayar teknolojisinin gelişimine paralel olarak proses tasarım aşamalarında genellikle bilgisayar destekli mühendislik araçları kullanılmaktadır. Bu kapsamda sonlu elemanlar analizleri mühendislik problemlerinin çözümünde en çok kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Gürsoy ve Esener, E. 2019: 1-11). SEM; karmaşık tasarım problemlerinin daha basit alt problemlere ayrılarak belirli yük ve sınır koşullarında her birinin kendi içinde çözülmesiyle simule edilip tam sonucun bulunduğu bir çözüm şeklidir. Tasarımın modellenmesi, karmaşık bölgenin sonlu elemanlar olarak ifade edilen geometrik basit alt bölgelere yani elemanlar denen parçalara ayrılmasıyla yapılır. Elemanlar sonlu sayıda bilinmeyen içerir. Her elemanın yüklemeye vereceği tepkiyi belirten bir denklemi vardır. Bu elemanların tepkilerinin toplamı, tasarımın vereceği tepkiyi oluşturur. Her eleman içindeki tanım denklemlerinin düğüm noktalarında bulunan değerlerin elde edilmesi, problemin çözümünde yeterlidir (Topçu ve Taşgetiren, 1998).

Sonlu elemanlar yöntemini diğer nümerik yöntemlerden farklı kılan kimi avantajlı özellikler bulunur. Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir parçanın geometrisi tam olarak temsil edilebilir. Birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolay bir şekilde incelenebilir. Farklı malzeme ve geometrik özellikleri bulunan parçalar analiz edilebilir. Sebep-sonuç ilişkisi olan problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Bu nitelikle birlikte problemlerin anlaşılması ve çözülmesi basitleşir. Sınır şartlarının uygulanabilirliği kolaydır (Topçu ve Taşgetiren, 1998).

Sonlu elemanlar yönteminin bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Örneğin çatlama, kırılma davranışı ve temas problemleri gibi bazı karmaşık olayların uygulanmasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Malzeme parametreleri gibi giriş bilgileri iyi tanımlanırsa gerçeğe yakın sonuçlar alınabilir. Yani programın verileri hatasız olmalı ve iyi kontrol edilmelidir. Sonlu elemanlar analizlerinden doğru sonuçlar alabilmek için özellikle sürekli ortamın çok sayıda elemana bölünmesi gereklidir.

Bu metottan elde edilen sonuçlar dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Ayrıca bu yöntemin kullanılmasında, genellikle büyük bilgisayar belleğine ve zamana ihtiyaç duyulmaktadır. (Uslu, 2014) Sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmiş bir bükme işleminin deney cihazındaki kalıbın kurs yoluna bağlı bükme sonuçları Şekil 3.3' te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. SEY ile Çözümlenmiş Bükme İşlem

Kaynak: (Taşdemir, 2020: 1571-1579)

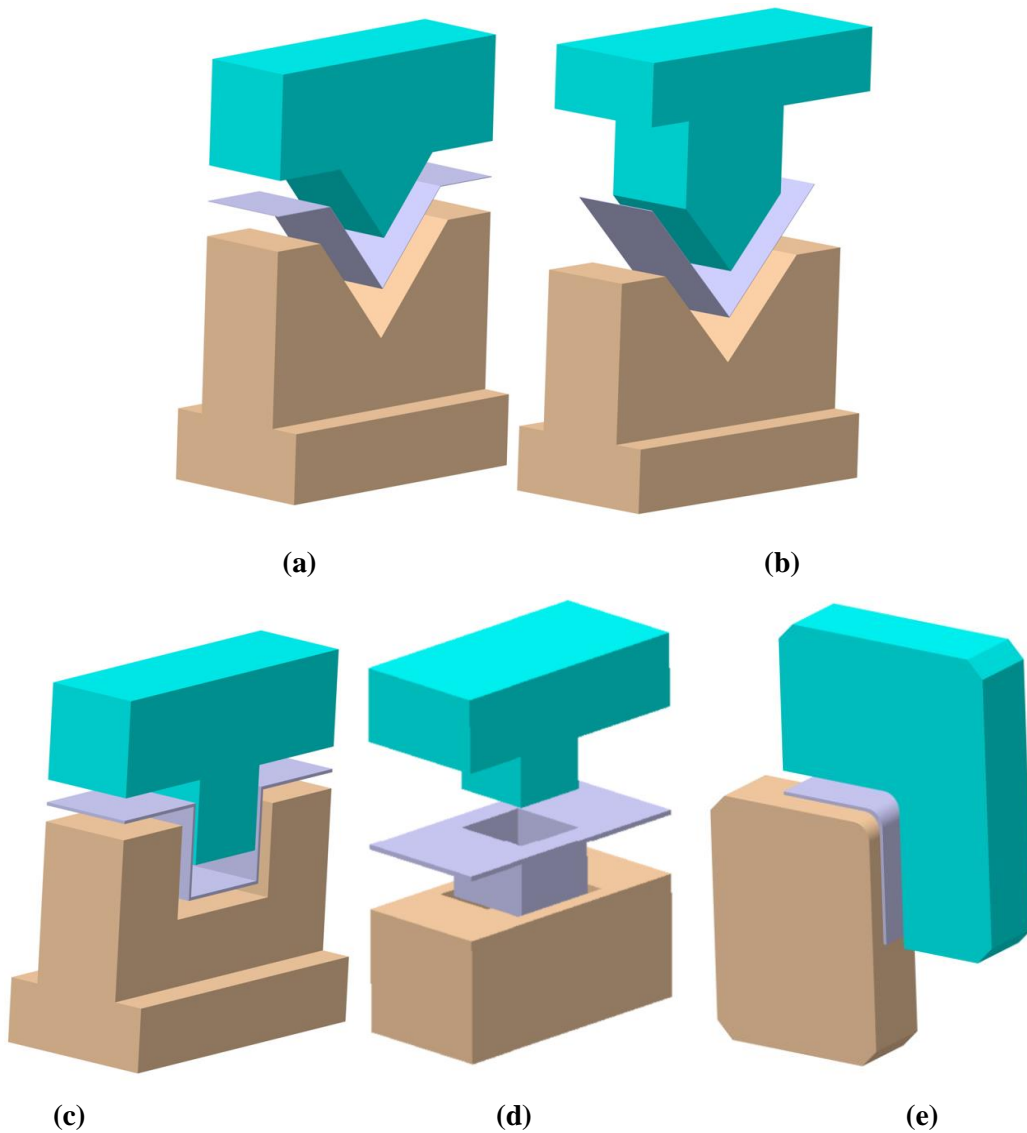
Sonlu elemanlar yöntemindeki belirsizliklerini azaltmak adına literatürde birçok araştırma mevcuttur. Çalışmalar bilgisayar ortamındaki parametreleri iyileştirmektedir. Sonlu elemanlar analizinin en önemli çıktısı tahmin hassasiyetidir. Tahmin hassasiyetine etki eden parametreler prostesten bağımsız durumda olan ve modelleme adımlarını oluşturan sonlu elemanlar hesaplama parametreleridir. Simülasyon hassasiyetinin yanı sıra özellikle seri imalat endüstrisi açısından simülasyon çözüm süresi bir diğer kritik parametredir.

Sonlu elemanlar analizlerinde verimin yükseltilebilmesi için hassasiyetten ödün vermeden minimum sürede çözümün tamamlanması gerekmektedir. (Vatansever ve Emre, 2019: 92-108) SEY analizinde parametreleri hassasiyetten ödün vermeden azaltmak çözümleme süresini minimuma indirmek için önemli bir kriterdir. Sac metal sektöründeki kullanılan ve araştırılan malzemeler göz önüne alındığında geometriye özel her malzeme için test yapmak zaman ve maliyet kaybıdır. Aynı zamanda parça geometrilerindeki farklılık nedeni ile karşılaşılan problemler, malzeme etkisi nedeniyle karşılaşılan problemlerin tespitinde yanlısamaya neden olabilmektedir.

Malzeme değişkenliği parametreleri çok fazla olan analizlerde zaman alan karmaşık modellerden sac metal şekillendirme benzetim modelleri yapılarak test edilip malzeme değişkenlikleri etkisi belirlenebilir. Benzetim modelleri gerçek zamanlı bir test cihazında deney yapılarak test edilen malzeme özelliklerini içeren sonuçları SEY analiz programına aktarılıp testte doğruluk sağlanır. Böylelikle gerçek zamanlı bir sonuç elde edilir. Sac metal şekillendirme prosesine göre farklı benzetim kalıpları ile benzetim testleri yapılır. Bu yöntemler sonucunda alınan verilere göre sac şekillendirebilirliği ile ilgili tespitler yapılır. Geri esnemenin tespiti nasıl bir telafi yapılacağı yönünde karar vermemize yardım eder. Bu yüzden geri yayılmanın tespitinin deneysel çalışmalara dayandırılması önemlidir. Yapılan testlerde parametreler değiştirilerek nihai ürünü hızlı ve uygun çıkarmak adına adımlar atılır. Geri esnemenin tespiti ve telafi yöntemleri alanında, farklı geometrilerde, yöntemlerde veya malzeme çeşitlerinde çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. Özellikle malzemelerin plastik şekillenme davranışını belirlemek adına benzetim testleri yol gösterici olmaktadır. Benzetim testlerinde karmaşık şekil verme prosesleri yerine temel bükme problemlerine ya da daha basit şekil verme problemlerine indirgeyen geometriler geliştirilmekte ve bu geometrilerle test numuneleri hazırlanarak denemeler yapılmaktadır.

Geri esneme davranışı, proses şartları dışında temel olarak malzeme özelliklerine bağlı olduğundan, her malzemenin geri esneme davranışı farklılık göstermektedir. Malzemelerin geri esneme davranışını belirlemek adına çeşitli testler yapılmaktadır. Bu testler, karmaşık şekil verme proseslerini, temel bükme problemlerine ya da daha basit formlama problemlerine indirgeyen testlerdir ve benzetim testleri olarak adlandırılmaktadır. (Esener, 2015)

V kalıpta bükme, V kalıpta serbest bükme, U kanal çekme, kare çekme, kenar bükme gibi testler benzetim testleri grubundadır. Bu testler sonrasında malzemenin geri esneme davranışı ve şekil verilebilirliği hakkında bilgiler edinilmektedir. Şekil 3.4.' te V kalıp serbest V kalıp, U kanal çekme kalıp, kare çekme kalıp ve kenar bükme kalıp görselleri görülmektedir.



Şekil 3.4. (a) V Kalıp (b) Serbest V Kalıp (c) U Çekme Kalıp (d) Kare Çekme Kalıp (e) Kenar Bükme

Basit şekillendirme işlemlerinden biri olan bükme işlemi, sac malzemenin bir eksen çizgisi etrafında döndürülerek şekillendirilmesidir. Bükme, sac malzeme şekillendirme işlemleri içinde en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Bükme işleminin, serbest bükme, V kalıpta bükme, kenar bükme gibi sac malzemenin şekline ve üretim durumuna göre çeşitli operasyonları vardır.

Geri esneme tespitinde V kalıp ile benzetim testi yapıldığı birçok çalışmada görülmektedir. Genellikle nümerik kontrollü hidrolik preslerde yapılır, doğru sonuçlar alınması hedeflenir. Belirli bir açıda üretilen V kalıpta standartlara uygun hazırlanan numunelere şekil verilir. Preslenen ürünler ölçüm kontrolü yapılarak geri esneme tespiti yapılır. Numuneler değişken parametrelerde üretildiğinden numuneler arasında bir kıyaslama yapılır.

V Bükmede, malzeme parametreleri (malzeme türü, kalınlık, anizotropi, akma dayanımı, Young modülü, pekleşme vb.), proses parametreleri (ütüleme süresi, bükme sıcaklığı, sürtünme, bükme kuvveti vb.) ve kalıp parametreleri (bükme açısı, bükme radyüsü vb.) gibi çok sayıda parametrenin dikkate alınması gerekmektedir. (Aslan ve Karaağaç, 2014: 255-263)

Karşılaşılan sac imalat hatalarından biri olan geri yaylanma hatasının tespitinden sonra önüne geçmek için literatürde birçok çözüm ile karşılaşılmaktadır. Geri yaylanma hatasının telafisi için yapılması gereken aksiyonlar ise güç olduğu için geri yaylanma davranışı SEY ve/veya benzetim testi yöntemleri ile gözlemlenir. Geri yaylanma parametreleri değiştirilerek geri yaylanmayı minimuma indirmek için optimizasyon çalışmaları yapılır. Birçok sayıda parametre dikkate alınması gereklidir.

Gerek deneysel gerek sonlu elemanlar yöntemiyle analiz çalışmalarından elde edilen geri esnemeye etki eden faktörler aşağıda verilmiştir. Bu faktörlerin, kalıp tasarımı esnasında ve proses şartlarının tanımlanmasında dikkate alınması, geri esneme açısından başarılı sonuçların elde edilmesine imkan sağlayacaktır.

- Sac malzeme kalınlığının ve bükme açısının artışının geri esneme miktarını arttırdığı,
- Zımbanın sac üzerinde bekleme süresinin (ütüleme süresinin) geri esnemeyi azalttığı,
- Sürtünmenin geri esnemeye etkisinin çok az olduğu,
- Otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan yüksek gerilimli sac malzemelerin yüksek gerilimlerinden dolayı geri esneme miktarlarının yüksek olduğu,

- Yüksek gerilimli sac malzemelerde ılık şekillendirme şartları altında, bükme modundaki değişikliklerden dolayı geri esnemenin azaldığı ve sıcaklık artışı ile geri esnemenin azaldığı,
- Bükme radyüsündeki azalmanın geri esnemeyi azalttığı,
- Dik anizotropik R değerindeki artışın bükülebilirliği geliştirdiği ancak, büyük dik anizotropik değeri R'nin geri esneme oranını arttırdığı,
- Akma dayanımındaki ve pekleşmedeki artışın geri esneme miktarını arttırdığı,
- Bükme kuvvetinin artması ile geri esnemenin azaldığı, yapılan çalışmalardan elde edilmiştir.

(Aslan ve Karaağaç, 2014: 255-263)

Genellikle geri esneme tespiti ve geri esneme telafisi alüminyum veya çelik sac ürünler üzerinden yapılmıştır. Alternatif saclar üzerinde geri yaylanma tespitleri de mevcuttur. Literatürde geri esneme ve telafisi ile ilgili çalışmalar şu şekildedir:

Wang ve arkadaşları (Wang, vd., 1993: 45-54) serbest bükme ve kalıpla bükme işlemleri ile U kalıp, V kalıp ve silme (sıyırma) kalıplarının simülasyonu için Bend adında bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır.

Inamdar ve arkadaşları (Inamdar, vd., 2002: 459-46) tarafından yapılan çalışmada farklı takım geometrisi kombinasyonlarını kullanarak beş farklı malzemede V bükme benzetim testi yapıldı ve geri yaylanma analizleri gerçekleştirildi.

Liu ve Wang (Liu ve Wang, 2004: 599-604) Metal-Polymer-Metal Laminasyonlu malzemenin geri yaylanmasının modellenmesi çalışmasında iki dış sac levha tabakasından ve bir polimerik merkez çekirdekten oluşan malzemenin geri yaylanma kavramını araştırmıştır. Malzemenin mükemmel ses yalıtımı özellikleri sunduğunu ve gürültü azaltmanın istendiği uygulamalarda kullanılabilir olduğunu tavsiye etmiştir.

Yanagimoto ve arkadaşları (Yanagimoto, vd., 2005: 213-216) tarafından yapılan çalışmada yüksek mukavemetli saclar ile sıcak sac şekillendirme deneyleri gerçekleştirildi. Geri yaylanma miktarı üzerinde şekillendirme sıcaklığının etkisini incelendi.

Bruni ve arkadaşları (Bruni, vd., 2006: 373-376) ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sonlu elemanlar metodu ile magnezyum alaşımli sac malzemeye 90°'lik bir V kalıp bükme işlemini analiz edildi ve sonuçlar yapılan deneyler ile kıyaslandı.

Tekaslan ve arkadaşları (Tekaslan, vd., 2006: 251-258) tarafından yapılan çalışmada 0.5 mm kalınlığındaki ince sacların geri esneme miktarının belirlenmesi araştırıldı.

Yu (Yu, 2009: 846-850) bir çalışmasında plastik deformasyon sırasında elastik modülün değişimi ve geri esnemeye etkisini incelemiştir.

Toros ve arkadaşları (Toros, vd., 2009: 1-9) 5754-O Al-Mg alaşımında ön gerilmenin geri esnemeye etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi çalışmasında magnezyum-alüminyum alaşımının geri esneme davranışını incelemiştir.

Mohammadi ve arkadaşları (Mohammadi, vd., 2011: 225-235) çok katmanlı sac bükmede kalınlık dağılımının ve ayar koşulunun geri esnemeye etkisi çalışmasında iki katmanlı kaplamalı saclar ve üç katmanlı sandviç sacların geri esnemesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiştir.

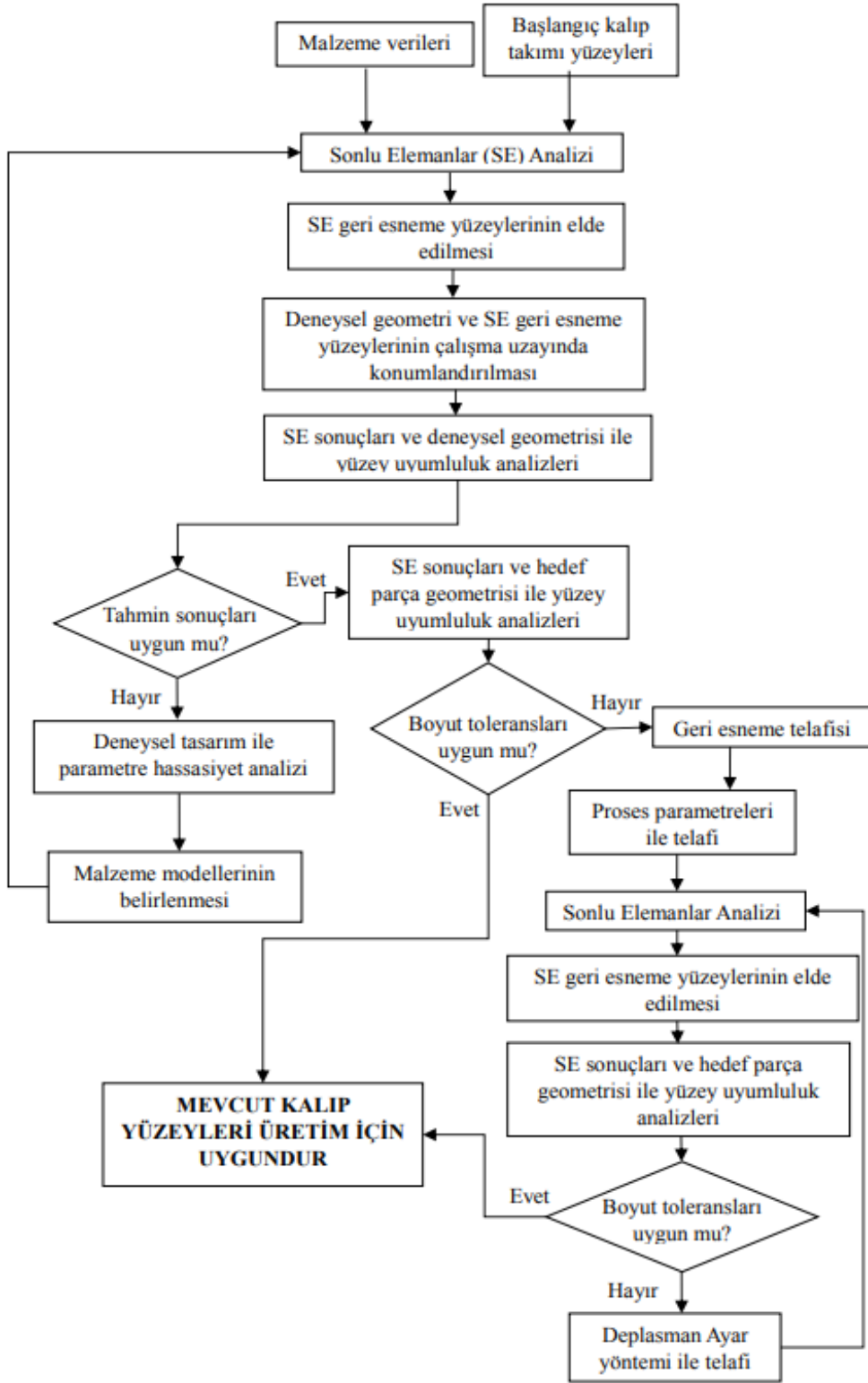
Basmacı ve Sayın (Basmacı ve Sayın, 2019: 147-154) bakır sac levhaların “V” bükme yöntemi ile şekillendirilmesiyle oluşan geri esneme miktarının deneysel olarak incelenmesi çalışmasında bakır levhaların geri esneme davranışını incelemiştir.

Aydın ve Karaağaç, (Aydın ve Karaağaç, 2019: 1456-1465) DP600 ve HSLA300 sac malzemelerde geri esneme davranışlarına proses parametrelerinin etkisinin deneysel araştırılmasını yapmıştır. Araştırma sonunda ütüleme süresinin 10 saniye artmasıyla elastik gerilmelerin kalıcı gerilmelere dönüşmesinden dolayı geri esneme açısının DP600 sac malzemedeki ortalama % 14,8, HSLA sac malzemedeki ise ortalama %9,7 azaldığını tespit etmiştir.

3.1. Bölüm Değerlendirmesi

Sonuç olarak; sac malzemelerde geri esneme kavramı incelenmiş olup, geri esnemeye etki eden parametreler belirtilmiştir. Geri esnemenin tespitinde hangi yöntemler kullanıldığı incelenmiştir. Geri esnemeye etki eden malzeme değişikliğinde geri esneme miktarının belirlenmesi için benzetim testlerinin önemine değinilmiştir. Maliyet ve zaman kayıplarından dolayı geri esneme tespitinin tasarım aşamasında yapılmasının önemine değinilmiştir. Literatürde geri esneme ile yapılan çalışmalar incelenmiş elde edilen bilgiler doğrultusunda tez çalışması kapsamında test prosedürü hazırlanmıştır.

Esener'in (Esener, 2015) tez kapsamında hazırladığı sac malzemelerde geri esnemenin tespiti ve telafisini içeren iş akış tablosu geri esneme tespitinden nihai ürüne ulaşana kadar geçecek olan tüm aşamalar içermektedir. İlgili tablo Şekil 3.1.'de verilmektedir. Konuyla ilgili bu bölümde bahsedilen tüm aşamalar bölümde belirtilen aşamaları özetler niteliktedir.



Şekil 3.5. Tez Çalışması Kapsamında Sunulan Tasarım Prosedürü İş Akış Şeması

Kaynak: (Esener, 2015)

4. UYGULAMA VE TEST

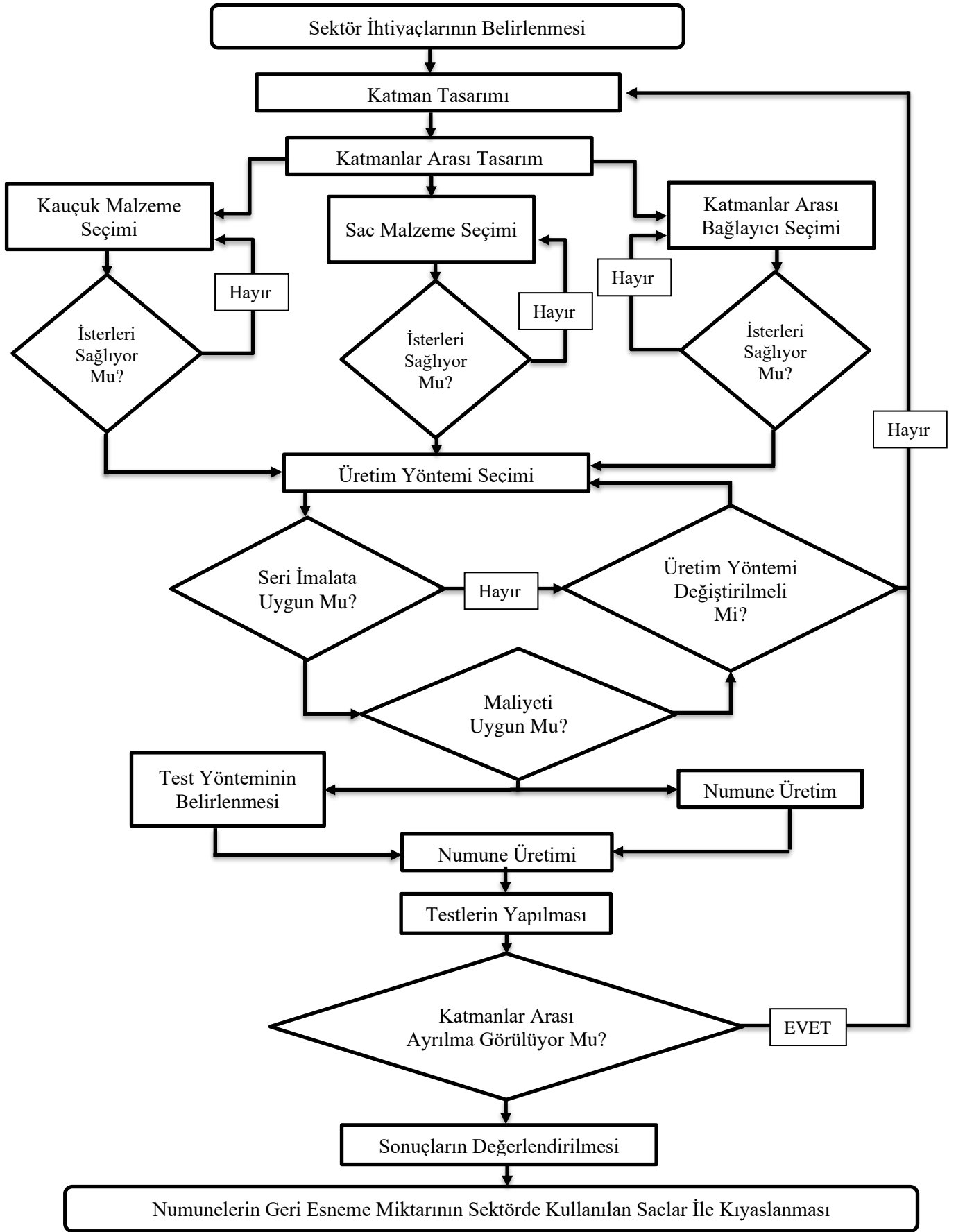
Tez çalışması kapsamında katmanları çeşitli malzemelerden oluşan çok katmanlı (multilayer) malzemeler sıcak preslerde üretimi gerçekleştirildi. Daha önce denenmeyen geometrilere, yeni bir malzeme üretimi yöntemi olduğundan dolayı kontrollü deneme üretimleri gerçekleştirildi. Deneme üretimlerinin sonuçları yorumlanarak üretim yöntemi veya üretim parametreleri değiştirilerek daha iyi bir ürün elde edilmesi amaçlandı. Hedeflenen optimum kalınlıktaki ve sağlamlıkta çok katmanlı ürüne erişildiğinde test için belirlenen malzeme gruplarına göre numuneler üretildi. Numunelerde soğuk şekil verme işlemi esnasında sıkça karşılaşılan geri esneme davranışının tespiti için V kalıp benzetim test yöntemi ile geri esneme davranışı tespit edildi. Böylelikle denemesi yapılan çok katmanlı malzemenin normal saclara göre kıyaslanması ve uygulanabilirliği hakkında literatüre bir kazanım yapılması hedeflendi.

Tez kapsamının amacı tasarlanan ve üretilen çok katmanlı malzemedeki otomotiv, havacılık, savunma sanayi, beyaz eşya vb. alanda kullanılan tek katman şeklinde saclara alternatif oluşturmaktır. Elde edilen üründe mekanik dayanım değerleri incelenirken üretim esnasında tek katman sacların üretiminde sıkça karşılaşılan geri esneme hatası da üretilen çok katmanlı saclarda etkisinin tespit edilmesi hedeflendi.

Tezin amacıyla göz önünde bulundurulmuş sektörlerde kullanılan sistemlerde; sistem istekleri ve mühendislik istekleri belirlendi ve bu doğrultuda tez çalışması kapsamında aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınarak numune üretimi yapıldı.

- Sac malzeme seçimi,
- Kauçuk malzeme seçimi,
- Katman tasarımı ve üretim yönteminin seçilmesi,
- Sac kalınlıklarını ve kauçuk kalınlıklarını minimum seviyede tutmak, (Benzer alanlarda kullanılan tek katmanlı sacın kalınlığını geçmemek)
- Seçilen katman malzemelerine göre numune grupları oluşturulması,
- Numune üretiminden sonra uygulanabilir, seri üretilebilir olması,
- Benzetim testlerinde kauçuk malzeme ile sac arasında ayrılma olmaması.

Şekil 4.1’ de tez çalışmasının iş akış şeması verilmektedir.



Şekil 4.1. İş Akış Şeması

Çok katmanlı sac malzemenin üretiminden ve tasarım aşamalarından önce bu aşamaların girdisi olan malzeme seçimi konusu önem arz etmektedir. Yani tasarıma ve imalat uygun bir malzeme seçimi göz önünde bulundurulması gerekir. Tez kapsamında çok katmanlı sac malzemenin katmanlarının tasarımı ve katmanlarında bulunacak malzeme seçimleri yapılırken bu malzemelerin özelliklerinin yanında üretilebilir olması gerektiği keşfedildi. Bir katmanın malzemesinin özelliklerinden zayıf yönlerini diğer katmanlarda bu zayıf özelliği daha iyi olan malzeme seçilerek çok katmanlı ürünü kuvvetlendirmek amacıyla tercih edildi. Tez kapsamında seçilen malzemelerde, diğer seçilecek malzemeler üretimi esnasında arasında oluşacak bağ değerlendirildi. Seçilebilecek üretim yöntemleri ile katmanların malzemelerinin arasındaki bağ iyi bir şekilde olması hedeflenmiştir. Göz önünde bulundurulan hususlar doğrultusunda malzeme özellikleri yanında üretim yöntemi göz önünde bulundurularak katman tasarımı tamamlandı.

Malzeme seçiminde dayanım ve kalınlık parametreleri hedeflerimiz olan spesifik mukavemetleri yakalamamız açısından önemli parametrelerdir. Hazırlanan numunelerde paslanmaz çelik, C75 çeliği ve alüminyum alaşımı kullanılarak çok katmanlı sac metal malzemeler üretilmiştir.

Tez kapsamında paslanmaz çelik malzemesinin tercihinde etkili olan kuvvetli özellikleri şu şekildedir;

- Süneklik,
- Mükemmel korozyon dayanımı sayesinde açık havada temas kısımlarında kullanılabilmesi.
- Hazırlanan çok katmanlı malzemenin hava ile temas eden katmanı paslanmaz çelik kullanılması ile çok katmanlı malzemeye korozyon direnci sağlandı. Tez kapsamında alüminyum malzemesinin tercihinde etkili olan kuvvetli özellikleri şu şekildedir;
- Yüksek dayanım,
- Özgül ağırlık düşük olması ile malzemeye hafiflik sağlaması,
- Yüksek dayanım.

Hazırlanan çok katmanlı malzemenin hafif olması hedeflendiğinden alüminyum katmanı daha kalın tutularak hafifletilmesi hedeflendi. Tez kapsamında C75S malzemesinin tercihinde etkili olan kuvvetli özellikleri şu şekildedir;

- Kolay bulunabilir olması,
- Düşük maliyetli olması
- Yüksek mukavemetli olması.

Kauçuklar yüksek esneklik, yüksek dayanım, düşük deformasyon ve yayılma, iyi dinamik özellikler, kolay işlenme, iyi yırtılma ve aşınma dayanımı ve polar sıvılara dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir. Bu yüzden Lastik, ayakkabı, taban, terlik, konveyör bant, hortumlar, sızdırmazlık elemanları (conta, rondela, keçe), otomotiv, beyaz eşya için ve diğer ve diğer teknik maksatlı parçalar, lateks mamulleri, profiller ve diğer lastik eşya gibi çok çeşitli malzemelerin üretildiği dinamik bir sektöre sahiptir. Kauçuk malzeme imalatında çok çeşitli kauçuklar kullanılabildiği gibi plastikleştiriciler, yumuşatıcılar, eskimeyi geciktirenler, ucuzlatıcı maddeler (kireç vb), dayanıklılık ve sertliği artıranlar, boyalar, reaksiyonu hızlandırıcı veya geciktirici maddeler gibi katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Gerek kauçuk hamuru hazırlama ve vulkanizasyon mekanizması, gerekse kauçuğun şekillendirilmesi hassas, karmaşık ve çok çeşitli proseslerdir (Yelkenci, 2008).

Polimerik malzemelerin termosetler grubuna giren kauçuklar doğal ve yapay kauçuklar olarak sınıflandırılırlar. Daha çok tropikal bölgelerde yetişen belirli ağaçların salgısını (Latex) asitle pıhtılaştırmak ve kurutmak suretiyle doğal kauçuklar elde edilir. Ağaçlar üzerindeki lateks toplama yöntemini Şekil 4.2.' gösterilmektedir. Doğal kauçuk hemen hemen hiç çapraz bağ içermediğinden ısıtıldığında yapışkanlık özelliği artmakta, soğutulduğunda ise sertleşmektedir. 1839 yılında Charles Goodyear'ın bulduğu kükürt vulkanizasyonu ile çapraz bağlanma sağlanarak bu olumsuzluk giderilmiştir. Kauçuk konusunda dışa bağımlı olmama isteği sonucunda polimerizasyon ve vulkanizasyon teknikleri kullanılarak çeşitli sentetik kauçuklar üretilmiştir (Durmuş, vd., 2005: 33-39).



Şekil 4.2. Lateks Toparlanan Ağaçlar

Kaynak: (Dayıoğlu, 2018)

Doğal kauçuğun çok iyi elastisite çekme dayanımı, yırtılma dayanımı ve yorulma özelliği vardır. Bu özellikleri sayesinde, dinamik uygulamalarda çok sık (motor takozları, köprü takozları, lastik karkasları gibi) kullanılmaktadır. Fakat doğal kauçuğun özellikle ısı ve ozon yaşlanma dayanımı, yağlara ve solventlere dayanımı kötüdür. Yaşlanma özelliği uygun vulkanizasyon seçimi ve koruyucular ile iyileştirilebilir. Organik solventlerle kullanılmamasına karşı, polar sıvılara dayanıklıdır.

Tez kapsamında seçilen kauçuk malzemenin malzemesi NR' dir. Hazırlanan çok katmanlı malzemenin maliyetini azaltırken mukavemet değerlerinden taviz verilmemesi için tercih edilmiştir. Tez kapsamında NR kauçuk malzemesinin tercihinde etkili olan kuvvetli özellikleri şu şekildedir;

- NR kauçuk malzemesi diğer kauçuklara göre metallerle daha iyi yapışma özelliğine sahip olma, (Malzemeler arası uyumda birleşme özelliği bulunması)
- Mükemmel gerilme dayanımı, elastisite ve yırtılma direnci gibi mekanik özellikler,
- Yüksek elastikiyet, mükemmel dinamik özellikler ve düşük kompresyon set,
- Açık hava ile temas eden yüzeylerde dayanıma sahip olması,
- İyi ses absorbe etmesi,
- 35 den 90 Shore A 'ya geniş sertlik aralığı.
- Mükemmel elektriksel özellikler
- Çalışma sıcaklığı aralığı -60 ile 90 C

Hazırlanan çok katmanlı malzemeye belirtilen özellikleri sağlaması yanında katmanlardaki metal malzemeler ile vulkanize olarak ağ yapısına en yakın malzemeler oluşturarak iyi bir dayanım oluşturup elastik uzun ömürlü bir ürün oluşması nedeniyle tercih edilmiştir. Katmanlar arası bağ sıcak preste kauçuk vulkanizasyonu (pişirilmesi) ile sağlanmıştır.

Çok katmanlı malzemelerde katmanlar arasında kopmaların meydana gelmesinin istenmektedir. Katmanlar arası deformasyon malzemenin tüm özelliğini yitirmesine neden olacağından katmanlar arası bağ kurulması önem arz etmektedir. Katmanlara arası bağ kuvvetli olmasına üretim yöntemi yanında malzemeler arası uyum ve eğer varsa kimyasal bağlanma da etki etmektedir. Katmanlar arası bağ her ne kadar kauçuk ile sağlansa da kauçuk ile metalin birbirine daha iyi bağlanmasını sağlayan aktivatör kimyasallar mevcuttur.

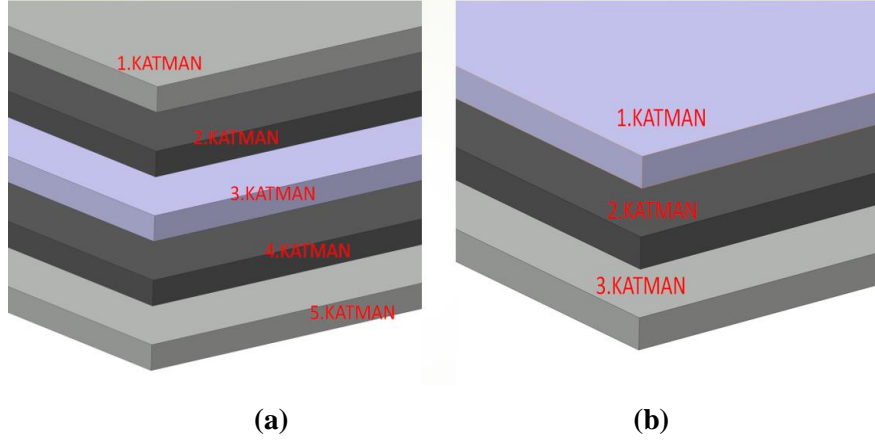
Numuneler hazırlanırken kauçuk vulkanize olacak yüzey daha iyi aktivatör tutunması için taşlandı ve alkol ile temizlenerek malzeme üzerindeki fiber ve partiküllerden temizlendi. Yüzey üzerine Chemosil 211 ve Chemosil 411 bağlayıcı aktivatörler uygulandı.

Çok katmanlı sac malzemenin malzeme seçimi, tasarımı üretim yöntemi tamamlandıktan sonra parçanın uygulanabilir ve sektörlerde kullanılabilir olduğunun kararı verilmiştir. Çok katmanlı malzemeler genellikle üretimi zor ve maliyetli ürünler olduğundan sektörün ihtiyaçlarına çok iyi bir şekilde karşılık vermesi ile tercih nedeni olduğunda sektörlerdeki kullanılan güncel ürünler ile kıyaslaması gerekir. Sektörlerde kullanılan tek katmanlı saclar düşünüldüğünde 1 mm ve 2 mm arasında değişkenlik gösteren malzeme gruplarında ve benzer özellikleri yakalanması hedeflenmiştir. Haliyle katmanlarda seçilen sac malzemelerin bu ölçülerin altında ince sac malzeme olması gerekmektedir. Çok katmanlı sac oluşturulmasında ana malzeme olarak üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler C75 çeliği, AISI 301 paslanmaz çelik ve 1030 alüminyum alaşımıdır. Çalışma kapsamında kullanılan ana malzemeler ve kalınlıkları Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Test Kapsamında Hazırlanan Çok Katmanlı Sac Malzemeler ve Kalınlıkları

MALZEME	KALINLIK
C75S	0.5
AISI 301	0.4
AL 1030	0.75

Hedeflenen kalınlıklara ulaşmak için katmanlar arasında kauçuk kalınlıkları minimum seviyede tutulması ve homojen olması gerekmektedir. Üretilen çok katmanlı sac malzemede 0.2 mm kalınlıkta kauçuk bulunmaktadır. Çok katmanlı sac malzeme üzerinde V kalıp benzetim testleri uygulanacağından ebatları standartlara uygun olması için 40mm X 200mm olacak şekilde imal edilmiştir. İmal edilen malzeme katmanları şematik olarak Şekil 4.3' te gösterildiği gibi 5 katmanlı ve 3 katmanlı olacak şekilde planlanmıştır.



Şekil 4.3. (a) Tez Kapsamında 5 Katmanlı Tasarlanan Çok Katmanlı Sac Malzeme (b) Tez Kapsamında 3 Katmanlı Tasarlanan Çok Katmanlı Sac Malzeme

İmal edilen ürünlerin numune numaraları ve kullanılan malzemeleri içeren katman planlama tablosu Tablo 4.2’ te gösterilmiştir. Tabloya göre malzemeler 1.katmandan sırası ile diğer katmanlara doğru olacak şekilde verilmiştir. Her malzeme arasında ince 15-25 mikron kauçuk bağlayıcı bulunmaktadır.

Tablo 4.2. Katman Planlama Tablosu

KATMAN MALZEMELERİ				
1.KATMAN	2.KATMAN	3.KATMAN	4.KATMAN	5.KATMAN
C75S	NR KAUÇUK	C75S	-	-
AL 1030	NR KAUÇUK	AL 1030	-	-
AISI 301	NR KAUÇUK	AISI 301	-	-
C75S	NR KAUÇUK	AISI 301	-	-
AISI 301	NR KAUÇUK	AL 1030	NR KAUÇUK	AISI 301
C75S	NR KAUÇUK	AISI 301	NR KAUÇUK	C75S
AL 1030	NR KAUÇUK	C75S	NR KAUÇUK	AL 1030
AL 1030	NR KAUÇUK	AISI 301	NR KAUÇUK	AL 1030
C75S	NR KAUÇUK	AL 1030	NR KAUÇUK	C75S
AISI 301	NR KAUÇUK	AL 1030	NR KAUÇUK	C75S

4.1. Numunelerin Hazırlanışı

Metal ile kauçuk iki malzemenin birbiri ile bağlanması sıcak presleme işlemiyle bağlayıcı malzeme ile mümkündür. Sıcaklık ve basınç altında kauçuk malzeme, metal malzeme arasında C bağları kurarak bağlanır. Bu bağ ne kadar kuvvetli kurulursa kopmalar ve ayrılmalar gözlenmez. Bu bağların en kuvvetlisi plastik malzemelerde olduğu gibi ağ yapısı kurularak oluşan bağlantısıdır. Bağların iyi bir şekilde kurulması için üretimi yapılacak katmanların hazırlanmasında uygun ölçülerde kestirilen sac malzemelerin bağlantı yüzeylerine (yapışma yüzeylerine) çeşitli işlemler uygulanır.

Genellikle bu tarz proseslerde metal-kauçuk yapışma yüzeylerine kumlama işlemi yapıldığı bilinmektedir. Ancak tez kapsamındaki çok katmanlı malzeme çok ince saclar içerdiğinde bu sacların yüzeyinde uygulanacak kumlama işlemi esnasında parçalarda yamulma olacaktır. Bu yüzden yüzeye taşlama uygulanmıştır. Şekil 4.4'te yapışma yüzeyi taşlanmış bir sac metal görünmektedir.



Şekil 4.4. Yapışma Yüzeyi Taşlanmış Sac Metal

Taşlanan yüzeyler alkol ile temizlenerek temiz bir yüzey elde edildi ve yüzeye fırça ile bağlayıcı uygulandı. Böylelikle kauçuk ve metal malzemenin birleşmenin kuvvetlendirilmesi hedeflendi. Şekil 4.5'te yüzeyine alkol uygulanmış metal sac gösterilmektedir. Şekil 4.6' te yüzeyine fırça yardımıyla gri renkli Chemosil 211 uygulanmış ve fırça yardımıyla siyah renkli Chemosil 411 uygulanmış metal saclar gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Alkol İle Temizlenen Yüzey



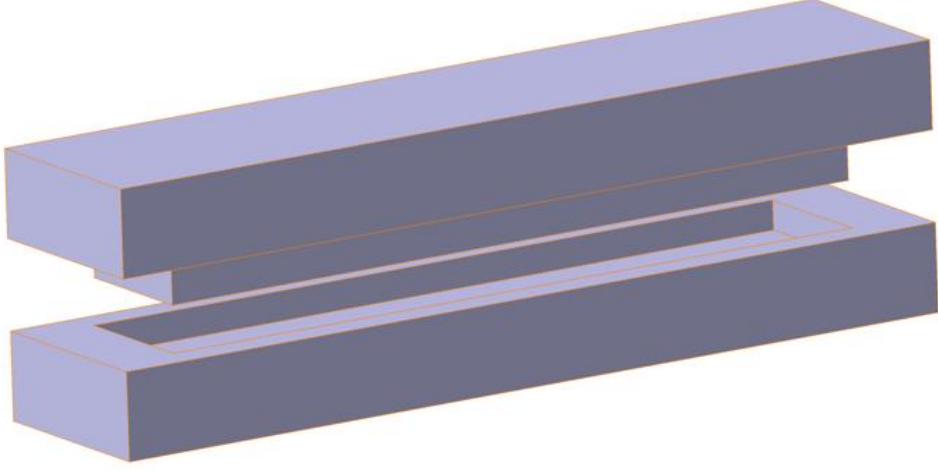
Şekil 4.6. Fırça ile Bağlayıcı Uygulanması

Tüm bu işlemler tamamlandığında metal sac katmanı kauçuk ile sıcak presleme etkisi ile birlikte en iyi şekilde bağ kurması için uygun hale gelmiştir. 5 katmanlı numunelerde ara katmanın (3.katman) iki yüzeyi de yapışma gerçekleştirdiğinden iki yüzeyine de bu işlem uygulandı. 1. ve 3.katmanlarına ise sadece yapışma yüzeylerine bu işlem uygulandı ve üretim esnasında dikkat edildi. Aynı mantıkla 3 katmanlı numunelerde 1. ve 3. Katmanlarında sadece yapışma yüzeylerine bu işlem uygulandı. Şekil 4.7'da uygun yapışma için tüm işlemleri tamamlanmış bir sac katmanı görülmektedir.



Şekil 4.7. Tamamlanmış Sac Katmanı

Bir sonraki adımda çok katmanlı sac metallerin üretimine geçilmiştir. Üretim sırasında kuvvetli bağların kurulması adına iyi basınçlandırma ve sabit sıcaklığa ulaşmak istenmektedir. Bu nedenle Şekil 4.8.' de gösterildiği gibi bir birleştirme kalıbı tasarlanmıştır. Şekil 4.9.' da ise kalıp üretimi gerçekleştirilen birleştirme kalıbı görülmektedir.

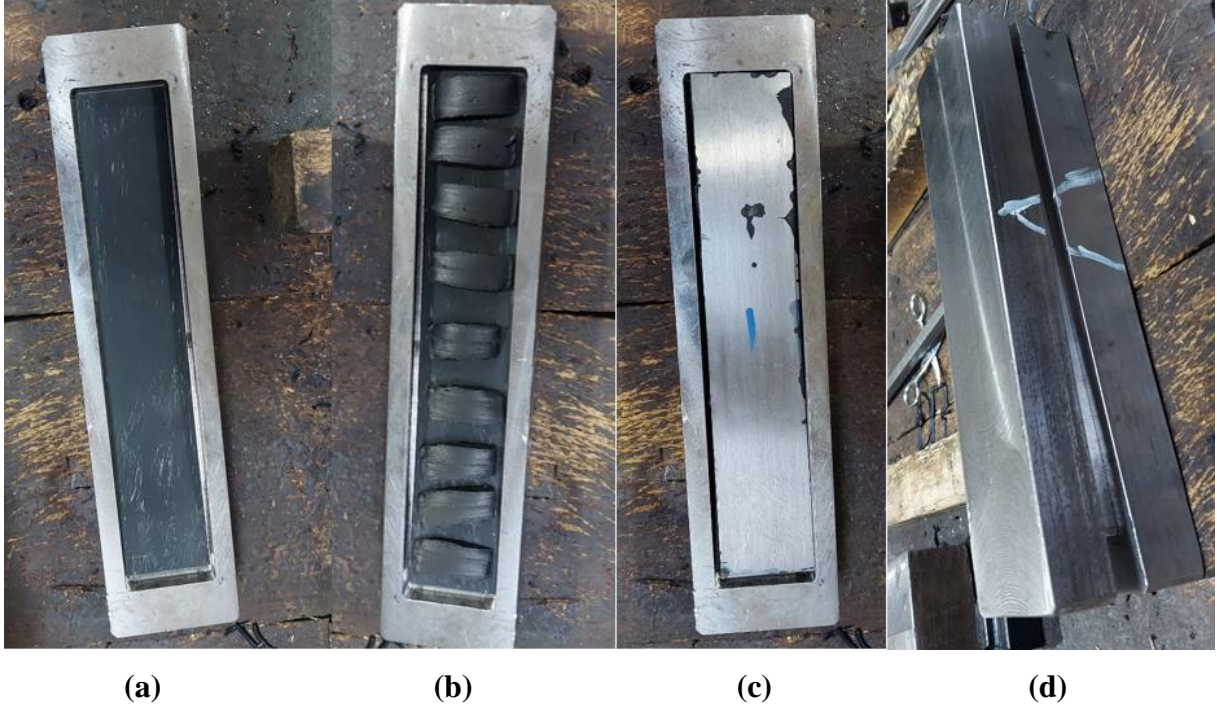


Şekil 4.8. Birleştirme Kalıbı Tasarımı



Şekil 4.9. Üretilen Birleştirme Kalıbı

Kalıp yuvasına Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi sac katmanların işlem gören yüzeyine dikkat ederek sac katmanlar yerleştirildi ve aralarına kauçuklar yerleştirildi ve plastik tokmak yardımıyla kapatıldı.



Şekil 4.10.(a) Kalıp Yuvasına Yerleştirilen İlk Katman (b) sac metal Katman Aralarına Yerleştirilen Kauçuklar (c) Kalıp Yuvasına Yerleştirilen Son Katman (d) Kapatılan Kalıp

Sıcak pres yardımıyla ve üretim parametreleri değiştirilerek hedeflenen 0.2 kauçuk katman kalınlığına sahip numuneler üretildi. Şekil 4.11'de birleştirme işleminin gerçekleştirildiği pres ve kalıp gösterilmektedir. Şekil 4.12.' de üretilmiş çok katmanlı sac numunesi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Pres İşleminin Gerçekleştiği Pres Ve Kalıp



Şekil 4.12. a) Nihai Sac Numunesi Yandan Görünüşü (b) Nihai Sac Numunesi Üstten Görünüşü

Yapılan numune üretimleri sonucunda imalat aşamaları seri uygulanabilir yöntemler seçilmesi ile sektörlerin ihtiyaçlarına yönelik maliyet açısından uygun birçok katmanlı sac malzeme tasarımı ve imalatı gerçekleştirildi. Sektörlerde benzer sistemler göz önünde bulundurulduğunda kullanılan sac metallerin imalatında genellikle geri esneme imalat hatası olduğu gözlemlendi. Üretilen çok katmanlı sac malzemenin sektörlerde tercih sebebi olması için bu hataya olan etkisinin incelenmesi planlandı ve numuneler bu etkinin belirlenmesinde kullanılan benzetim testine girebilmesi için uygun ölçülerde üretildi.

5. SONUÇ

Çalışma kapsamında iki ve üç katmanlı malzeme üretimleri farklı alternatiflerle gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan malzeme grupları Tablo X' de verilmiştir. Tabloda malzemeler çok katmanın üst katmanından başlayarak alt katmana doğru sırası ile verilmiş olup her malzeme arasında kauçuk bağlama katmanı bulunmaktadır.

Üretilen çok katmanlı malzemelerin geri esneme davranışlarının tespit edilmesi amacı ile V-kalıpta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. V-kalıpta eğme temel bir büküm problem olup malzemelerin geri esneme davranışlarının tespiti için kullanılan bir benzetim testidir. Çalışmada 60°' lik bir kalıp takımı kullanılmıştır. Deneyler üçer tekrar şeklinde gerçekleştirilmiş ve şekillendirme hızı 25 mm/dk olarak uygulanmıştır. Geri esneme sonrası malzeme geometrileri açı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil X' te çalışma kapsamında kullanılan kalıp takımları ve V-kalıpta eğme sonrası bir numune örneği gösterilmektedir. Çok katmanlı sacların geri esnemeye etkisinin ortaya konulabilmesi için yalnızca kullanılan ana malzemeler de ayrıca V-kalıpta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Bu malzemeler karşılaştırma için referans olarak alınmıştır.



Şekil 5.1. V-Kalıpta Eğme Deney Düzenegi



Şekil 5.2. Deney Sonrası Örnek Bir Numune Geometrisi

Gerçekleştirilen deneyler sonrasında her bir numune açıölçer vasıtası ile ölçülmüştür. Ölçülen açı değerleri geri esneme sonrası olduğundan üretim açısı olan 60° ölçüm değerinden çıkarılarak her bir numune için geri esneme açısı değerleri hesaplanılmıştır. Ölçüm sonrası hesaplanan geri esneme açıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 5.1. V Kalıpta Eğme Sonrası Elde Edilen Geri Esneme Miktarları

Numune adı	Geri esneme açısı ($^\circ$)
C75	86,3
AISI 301	84,3
AL 1030	13,6
C75-C75	95,3
AL1030-AL1030	10,0
AISI301-AISI301	96,3
C75-AISI301	100,3
AISI301-AL1030-AISI301	76,3
C75-AISI301-C75	97,7
AL1030-C75-AL1030	22,3
AL1030-AISI301-AL1030	21,7
C75-AL1030-C75	73,3
AISI301-AL1030-C75	74,0

Sonuçlardan görüldüğü üzere ana malzemelerden C75 çeliğinin ve AISI 301 paslanmaz çeliğinin geri esneme miktarları oldukça yüksek seviyede olup birbirlerine yakındır.

Bu duruma karşılık AL1030 alüminyum alaşımı bariz şekilde diğer ana malzemelere göre daha az geri esnemiştir. Çok katmanlı malzemeler incelendiğinde ise C75-C75 ve AISI301-AISI301 iki katmanlı numunelerinin ana malzemelerine göre yaklaşık 10° daha fazla geri esnedikleri tespit edilmiştir. Bu durumda çok katmanlı malzeme üretiminin C75 çeliği ve paslanmaz çelik için geri esneme açısından olumlu bir gelişimi olmamıştır. Buna karşın alüminyum alaşımlarından oluşan AL1030-AL1030 katmanlı malzemesi ana malzemeye göre geri esneme 3,6° lik bir azalma sergilemiştir. Buradan da görüldüğü üzere alüminyum alaşımlarında çok katmanlı malzeme üretimi geri esneme açısından olumlu bir yaklaşım olmuştur. Üç katmanlı sac metal malzemeler incelendiğinde ise katmanlardan birisi alüminyum alaşımı olan tüm çok katmanlı malzemelerde geri esneme davranışı ana malzemesine göre daha düşük, yalnızca C75 ve paslanmaz çelikten oluşan tüm çok katmanlı malzemelerde ise ana malzemesine göre daha yüksek seviyelerde geri esneme davranışı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak çok katmanlı sac malzeme üretiminde alüminyum alaşımlarının kullanımının geri esneme davranışına olumlu etkisi olurken C75 ve paslanmaz çelik malzemelerinin geri esnemeyi arttırıcı yönde etkileri gerçekleşmiştir.

KAYNAKÇA

- Arslan, N., Kaman, M. O.** (2002). Alüminyum, Kağıt Ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 113-123.
- Arslan, B.** (2007). *Geri Esnemenin Sac Parçaları Biçim Tamlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi Ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları İle Değerlendirilmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aslan, Y., Karaağaç, İ.** (2014). V Bükmede Geri Esneme Davranışları. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 2(3), 255-263.
- Atas, C., Sevim, C.** (2010). On The Impact Response Of Sandwich Composites With Cores Of Balsa Wood And Pvc Foam. *Composite Structures*, 93(1), 40-48.
- Atkins, A. G., Weinstein, A. S.** (1970). The Deformation Of Sandwich Materials. *International Journal of Mechanical Sciences*, 12(7), 641-657.
- Aydın, K., & Karaağaç, İ.** (2019). DP600 ve HSLA300 Sac Malzemelerde Geri Esneme Davranışlarına Proses Parametrelerinin Etkisinin Deneysel Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1456-1465.
- Baki, vd.** (2018). Transfer Pres Kalıpları İçin İnovatif Taşıyıcı Kol Simülatörü Geliştirilmesi. *Engineer and Machinery*, 59(692), 68-85.
- Basmacı, G., Sayın, L.** (2019). Bakır Sac Levhaların “V” Bükme Yöntemi İle Şekillendirilmesiyle Oluşan Geri Esneme Miktarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(3), 147-154.
- Chemami, A., vd.** (2012). Behaviour Of Composite Sandwich Foam-Laminated Glass/Epoxy Under Solicitation Static And Fatigue. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1178-1184.
- Callister, W.D.** (1985). *Materials Science And Engineering*, 1-18, 347-403. Wiley.
- Chitkara, N. R., Aleem, A.** (2001). Extrusion of Axi-symmetric Bi-metallic Tubes: Some Experiments Using Hollow Billets and The Application of a Generalised Slab Method of Analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(12), 2857-2882.
- Çelik S.** (2020). *Sac Malzemelerin Şekillendirilmesinde Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Çetinsav, I. (2014). *Farklı Malzemeler Kullanılarak Üretilmiş Bimetalik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Dayıoğlu, A. K. (2018). *Vulkanizasyon Parametrelerinin Doğal Kauçukların Çapraz Bağ Yoğunluğu ve Malzeme Ömrü Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Durban, D. (1984). Drawing And Extrusion Of Composite Sheets, Wires And Tubes. *International Journal of Solids and Structures*, 20(7), 649-666.

Durmuş, A., vd. (2005). Kauçuk/Metal Yapışma Mukavemetinin Belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 10(1), 33-36

Esener, E. (2015). *Plastik Şekil Verme Proseslerinde Form ve Şekillendirme Hatalarının Telifi Edilmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Esener E., Sönmez E., Fırat M. (2018). Metal Şekillendirme Proseslerinde Sac Açınım Geometrisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 79-89.

Bruni, C., vd. (2006). Air Bending Of Az31 Magnesium Alloy İn Warm And Hot Forming Conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, 177(1-3), 373-376.

Geren, vd. (2017). Sandviç Malzeme Geliştirmede Polimer Köpük Çekirdek Kalınlığının Eğilme Dayanımına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 13-22.

Groover M.P., (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 452,461. John Wiley & Sons, INC.

Güler, C., Ulay, G. (2009). Petekli (Honeycomb) Kompozit Levhalar. *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, 90, 78-92.

Gürsoy, Ö. K., Esener, E. (2019). Malzeme Modellerinin Sac Metal Sonlu Elemanlar Analizi Tahmin Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-11.

Hoffman, H. (1998). *Metal Forming Handbook*. Springer.

Hwang, Y. M., Hwang, T. F. (2002). An Investigation Into The Plastic Deformation Behavior Within A Conical Die During Composite Rod Extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 121(2-3), 226-233.

Inamdar, M. V., Date, P. P., Sabnis, S. V. (2002). On The Effects Of Geometric Parameters On Springback In Sheets Of Five Materials Subjected To Air Vee Bending. *Journal of Materials Processing Technology*, 123(3), 459-463.

Irisarri, vd. (2014). Optimal Design of Laminated Composite Structures With Ply Drops Using Stacking Sequence Tables. *Composite Structures*, 107, 559-569.

İlhan, A. (2018). *Sac Metal Şekillendirmede Mukavemet Arttırıcı Parametrelerin Optimizasyonu.* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Jemal, D. E., Zsolt, L., Máté, S. (2022). Numerical Investigation of Hot Roll Bonding of Multilayer Sheet Metal. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1246-1, 012012).

Karlı, M., Küçükömeroğlu T. (2017). IDEFIS 2.Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, 6-8 Nisan, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

Kazanowski, P. *A Study of Multi-Material Die Insert Failure Mechanism in Aluminum Extrusion.*

Karafillis, A. P., Boyce, M. C. (1992). Tooling Design In Sheet Metal Forming Using Springback Calculations. *International Journal Of Mechanical Sciences*, 34(2), 113-131.

Khosravifard, A., Ebrahimi, R. (2010). Investigation Of Parameters Affecting Interface Strength In Al/Cu Clad Bimetal Rod Extrusion Process. *Materials & Design*, 31(1), 493-499.

Kulekci, M. K. (2008). Magnesium and its alloys applications in automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9), 851-865.

Liu, L., Wang, J. (2004). Modeling Springback Of Metal-Polymer-Metal Laminates. *J. Manuf. Science Eng.*, 126(3), 599-604.

Mollapour Y, Afshari D, Haghghat H. (2018). Forming of Multi layer Sheet Metal by Drawing Process: An Analysis and FEM Simulation. *Iranian Journal of Materials Forming*, 5(2), 36-53.

Mekanik Kumpas, (2019). Çelik Tipleri ve İmalat Yöntemleri. [Erişim: 05.01.2023, <http://mekanikkumpas.com/teknik-bilgiler/celik-tipleri-ve-imalat-yontemleri/>]

Mehnen, L., Pfütznner, H., Kaniusas, E. (2000). Magnetostrictive Amorphous Bimetal Sensors. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 215, 779-781.

Merklein, M., vd. (2014). A Review On Tailored Blanks—Production, Applications And Evaluation. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(2), 151-164.

Mohammadi, S. V., Parsa, M. H., Aghchai, A. J. (2011). Effect Of The Thickness Distribution And Setting Condition On Springback İn Multi-Layer Sheet Bending. *International Journal of Engineering, Science And Technology*, 3(4), 225-235.

Nowotyńska, I., & Smykla, A. (2009). Influence Of Die Geometric Parameters On Plastic Flow Of Layer Composites During Extrusion Process. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(4), 1943-1949.

Park, S. J. (2018). *History And Structure Of Carbon Fibers*, 1-30. Springer.

Savunma Sanayii Dergilik, 2019. [Erişim: 06.01.2023, <https://www.savunmasanayiidergilik.com/tr/HaberDergilik/Savunma-sanayiinde-patent-sayisi-10-yilda-10-kat-artti>]

Sezgin, F., Çelebi, G. (2011). Bina Tasarımında Malzeme Seçimi İçin Model Çalışması. *Politeknik dergisi*, 14(3), 215-222.

Su, X. (2001). *Computer-aided Optimization of an Investment Bi-metal Casting Process.* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). University of Cincinnati, Cincinnati.

Oya, T., vd. (2010). Experimental And Numerical Analysis Of Multilayered Steel Sheets Upon Bending. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(14), 1926-1933.

Özdemir, O., Karakuzu, R., Al-Shamary, A. K. J. (2015). Core-Thickness Effect On The Impact Response Of Sandwich Composites With Poly (Vinyl Chloride) And Poly (Ethylene Terephthalate) Foam Cores. *Journal of Composite Materials*, 49(11), 1315-1329.

Özgültekin, S. E. (2012). *Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi.* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Öztürk, E. (2020). *Mg/Al Bimetal Kompozitlerin Döküm ve Ekstrüzyon Yöntemleriyle Üretimi ve Karakterizasyonu.* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Taşdemir, V. (2020). Ofset Bükme Kalıplarında Bükme Açısı Konumunun Geri Esnemeye Olan Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1571-1579.

Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U. (2008). V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 231-238.

Tekaslan, Ö., Şeker, U., & Özdemir, A. (2006). Determining Springback Amount Of Steel Sheet Metal Has 0.5 Mm Thickness İn Bending Dies. *Materials & Design*, 27(3), 251-258.

Teknopanel, (2022). [Erişim: 08.01.2023, <https://www.teknopanel.com.tr/tr-tr/urun-detay/sandvic-paneller-sandvic-panel-hakkinda>]

Tschaetsch, H. (2005). *Metal Forming Practise*, 197. Springer.

Tokuno, H., Ikeda, K. (1991). Analysis Of Deformation İn Extrusion Of Composite Rods. *Journal of Materials Processing Technology*, 26(3), 323-335.

Topçu, M., Taşgetiren, S. (1998). *Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayın.

Toros, S., vd. (2009). 5754-O Al-Mg Alaşımında Ön Gerilmenin Geri Esnemeye Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(3), 1-9.

Uslu, E. (2014). *Sac Malzemelerin Bükülmesinde Geri Yaylanma Davranışının Araştırılması*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Vatansever H., Esener E. (2019). Sonlu Elemanlar Hesaplama Parametrelerinin Sac Metal Şekillendirme Simülasyon Süresi ve Hassasiyetine Etkisinin Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 92-108.

Wang, vd., (1993). Process Simulation And Springback Control İn Plane Strain Sheet Bending. Sheet Metal and Stamping Symposium SAE Special. The Ohio State Universty, Ohio.

Wikipedia, (2019). [Erişim: 05.01.2023, https://en.wikipedia.org/wiki/Body_in_white]

Yanagimoto, J., Oyamada, K., Nakagawa, T. (2005). Springback Of High-Strength Steel After Hot And Warm Sheet Formings. *CIRP Annals*, 54(1), 213-216.

Yelkenci, B. (2008). *Kauçuk İşleme Prosesleri*. (Yayınlanmış Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, İstanbul.

Yıldırım, M. S., Kaya Y. (2021) Patlamalı Kaynak Yöntemi Kullanılarak Üretilen Bakır-Titanyum Bimetalik Kompozit Malzemelerin Birleştirme Arayüzeyinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Yu, H. Y. (2009). Variation Of Elastic Modulus During Plastic Deformation And Its Influence On Springback. *Materials & Design*, 30(3), 846-850.

Yuen, W. Y. D. (1996). A Generalised Solution For The Prediction Of Springback İn Laminated Strip. *Journal of Materials Processing Technology*, 61(3), 254-264.

Zabihpoor, M., vd. (2007). Mechanisms Of Fatigue Damage İn Foam Core Sandwich Composites With Unsymmetrical Carbon/Glass Face Sheets. *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, 26(17), 1831-1842.

Zhou, J., vd. (2012). The Low Velocity Impact Response Of Foam-Based Sandwich Panels. *Composites Science and Technology*, 72(14), 1781-179.