



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYNAKLI VE BÜKÜMLÜ
BAĞLANTILARIN MEKANİK OLARAK
İNCELENMESİ: LOW-BED TREYLER
UYGULAMASI

Doğuhan AVCI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA
2025
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Doğuhan AVCI tarafından hazırlanan “Kaynaklı ve Bükümlü Bağlantıların Mekanik Olarak İncelenmesi: Low-Bed Treyler Uygulaması” adlı tez çalışması 21/02/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç.Dr. Barış ÖZLÜ

.....

Danışman

Prof.Dr. Süleyman NEŞELİ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Rüstem BİNALİ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Doğuhan AVCI

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAYNAKLI VE BÜKÜMLÜ BAĞLANTILARIN MEKANİK OLARAK İNCELEMESİ: LOW-BED TREYLER UYGULAMASI

Doğuhan AVCI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

2024, 52 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ
Doç. Dr. Barış ÖZLÜ
Dr. Öğr. Üyesi Rüstem BİNALİ

Üretim metodolojilerinden olan kaynaklı imalat veya büküm imalat prosesleri arasında yapılan seçim, uygulamanın yapılacağı bileşenlerin bir araya getirilmesi sırasında yapılan maliyet, mekanik veya diğer kâr zarar analizleri ile belirlenmesi gerekmektedir. Fakat üretim sektöründe sıklıkla tercih edilen metodun diğerine göre maliyet veya mekanik dayanım durumları detaylıca incelenmeden, metod tercihi ile ilgili zaman kısıtını daha fazla esnetmeden uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır: birinci aşamasında, low-bed treyler sistemini inşa etmek üzere sıcak haddelenmiş S700MC çelik sac kullanılmış ve bu sacın U profil hali hem kaynaklı hem de bükümlü halleri için birleştirme işlemi uygulanmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan kaynaklı imalat proseslerinde low-bed şasi kısmında toz altı ve MIG kaynağı ile uygulamalar gerçekleştirilmiştir ve yapılan ANSYS statik analizlerde bu kaynak metodları dikkate alınmıştır. V kaynak ağzı açılmış olan saclara ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) bilgileri de göz önüne alınarak 0.5 g yanak, 1 g ve 2 g yerçekimi kuvveti ile analiz senaryoları uygulanmıştır. Sıcak haddelenmiş S700MC çeliğinden imal edilmiş şasi havuz bölgesini bükümlü hale getirmek için; abkant büküm prosesinde 0.5 K faktörü değeri, 90° zımba açısı ve 30 mm zımba radius parametreleri kullanılmıştır. Kaynaklı ve bükümlü low-bed şasileri için analizler aynı senaryolar baz alınarak gerçekleştirilmiş ve analizler neticesinde mekanik, maliyet, proses süre kazancı net olarak tespit edilmiştir.

Tezin ikinci aşamasında, low-bed treyler sistemi global uygulamalarında ve benzeri imalat sektörlerinde sıklıkla kullanılan U, L ve V formunda sıcak haddelenmiş S700MC çeliği sac malzemelerin aynı ölçüler baz alınarak abkant büküm yöntemi ve kaynaklı proses yöntemi ile üretilip birbirleri arasında hidrolik test merkezinde çekme ve basma analizine tabi tutarak, kN-mm ve kN-saniye grafikleri elde edilmiştir. Bu testler sonucunda sacların formu gereği üretim yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları hakkında çıktılar sunulmuştur. Buna göre bükümlü olan üretimler maliyet ve süre bakımından kaynaklı üretime göre avantajlı olduğu gözlemlenmiş ve seri imalat için en uygun proses olduğu tespiti yapılmıştır. Kaynaklı bağlantının ise hidrolik test merkezinden gelen 5 kN değerine kadar elastik şekil değiştirdiği ardından plastik şekil değişikliğini 25 kN değeri olan kopma noktasına kadar bükümlü üretilmiş model ile benzer davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Kaynaklı birleştirilmiş saclar, kaynak prosesi ve parametreleri doğru seçildiği takdirde bükümlü üretilmiş numunelere göre kuvvet karşısında daha mukavim davranış gösterdiği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Büküm mukavemeti, Kaynak mukavemeti, Hidrolik dayanım test, Şasi dayanımı, Treyler dayanımı

ABSTRACT

MS. THESIS

MECHANICAL INVESTIGATION OF WELDED AND BENDED CONNECTIONS: LOW-BED TRAILER APPLICATION

Doğuhan AVCI

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof.Dr Süleyman NEŞELİ

2024, 52 Pages

Jury

Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ

Assoc. Prof. Dr. Barış ÖZLÜ

Assist. Prof. Dr. Rüstem BİNALİ

The choice between the welded manufacturing or bending manufacturing processes, which are among the production methodologies, should be determined by the cost, mechanical or other profit and loss analyses made during the assembly of the components to be applied. However, applications are carried out without examining in detail the cost or mechanical strength situations of the method frequently preferred in the production sector compared to the other, and without further stretching the time constraint regarding the method choice. This study consists of two parts: in the first stage, hot rolled S700MC steel sheet was used to build the low-bed trailer system and the U profile of this sheet was combined for both welded and bent forms. In the welded manufacturing processes applied within the scope of the study, applications were carried out with submerged arc and MIG welding on the low-bed chassis section and these welding methods were taken into account in the ANSYS static analyzes. Analysis scenarios with 0.5 g lateral, 1 g and 2 g gravity force were applied to the sheets with V welded mouths, considering the heat affected area information. In order to make the chassis pool area made of hot rolled S700MC steel bended; 0.5 K factor value, 90° punch angle and 30 mm punch radius parameters were used in the press brake bending process. Analyses for welded and press brake low-bed chassis were performed based on the same scenarios and as a result of the analyses, mechanical, cost and process time gains were clearly determined. In the second stage of the thesis, hot rolled S700MC steel sheet materials in U, L and V forms, which are frequently used in low-bed trailer system global applications and similar manufacturing sectors, were produced with the press brake bending method and welded process method based on the same dimensions and subjected to tension and compression analysis in a hydraulic test center, and kN-mm and kN-second graphs were obtained. As a result of these tests, outputs were presented about the advantages and disadvantages of the production methods due to the form of the sheets. Accordingly, it was observed that the bended productions were advantageous compared to the welded production in terms of cost and time and it was determined that it was the most suitable process for mass production. It was observed that the welded connection changed its elastic shape up to the value of 5 kN coming from the hydraulic test center and then showed similar behavior with the bended produced model until the plastic shape change at the breaking point of 25 kN. It was revealed that the welded combined sheets showed more resistant behavior against force compared to the bended produced samples if the welding process and parameters were selected correctly.

Keywords: Bending strength, Welding strength, Hydraulic strength test, Chassis strength, Trailer strength

ÖNSÖZ

Bu tezde benden desteklerini eksik etmeyen sayın Prof. Dr. Süleyman Neşeli'ye ve Tırsan Treyler şirketi ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Doğuhan AVCI
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	3
3. SAC KAYNAK METODOLOJİSİ	8
3.1. Kaynak Kabiliyeti ve Yöntemi.....	9
3.1.1. Gaz metal ark kaynağı.....	11
3.1.2. Gaz tungsten ark kaynağı	11
3.1.3. Elektrot değişim süresi (Electrode Change Time-ECT)	13
3.1.4. Korumalı metal ark kaynağı	13
3.2. Termal Gerilmeler ve Distorsiyonlar	14
3.3. Kaynak Dikişi Mukavemet Hesaplamaları	14
4. SAC BÜKÜM METODOLOJİSİ	16
4.1. Büküm Geri Esneme Durumu	19
5. MATERYAL VE METOD.....	23
5.1. Low-Bed Treyler Genel Bölümleri.....	23
5.2. Bükümlü ve Kaynaklı Treyler Şasisi Sonlu Elemanlar Analizi	25
5.2.1. Kaynaklı araç modeli	28
5.2.2. Bükümlü model	29
5.2.3. Mesh modelleme	29
5.2.4. 1 g Dikey yükleme analiz sonuçları.....	30
5.2.5. 2 g Dikey yükleme analiz sonuçları.....	32
5.2.6. 0.5 g Yanal kuvvet senaryosu analiz sonuçları.....	34
5.3. Kaynaklı ve Bükümlü Konstrüksiyon Braketlerin Hidrolik Testleri.....	36
5.3.1. Büküm proses ile üretilmiş V konstrüksiyon deneyi	38
5.3.2. Kaynak proses ile üretilmiş “V” konstrüksiyon deneyi	40
5.3.3. Büküm proses ile üretilmiş “L” konstrüksiyon deneyi	42
5.3.4. Kaynaklı proses ile üretilmiş “L” konstrüksiyon deneyi	43
5.3.5. Bükümlü proses ile üretilmiş “U” konstrüksiyon deneyi.....	44
5.3.6. Kaynaklı proses ile üretilmiş “U” konstrüksiyon deneyi	46
6. SONUÇ	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler Açıklamaları

R_p	: Zımba yarıçapı
R_d	: Kalıp yarıçapı
W_p	: Zımba genişliği
k	: Sürtünme katsayısı
V_p	: Zımba hızı
Ni	: Nikel
M_s	: Başlangıç sıcaklığı
RS	: Sac genişliği
V	: Voltaj
I	: Akım
RI	: Elektrod direnci
V	: Elektrod besleme hızı
n	: Geninim sertleştirme katsayısı
$^{\circ}C$: Santigrat
a	: Kaynak dikiş kalınlığı
α	: Bükülme açısı
R	: Bükülme yarıçapı
t	: Kalınlık
K_{ba}	: Bükülme katsayısı
t_{min}	: Minimum sac kalınlığı
a'	: İş parçası iç açısı
a'_p	: Takım iç açısı

Kısaltmalar Açıklamaları

TIG	: Toz altı kaynağı
MIG	: Gaz altı kaynağı
LTT	: Düşük dönüşüm sıcaklığı
FEM	: Sonlu elemanlar modellemesi
$ITAB$: Isıl tesir altında kalan bölge
EFR	: Elektrod besleme hızı
CAE	: Bilgisayar destekli mühendislik

Şekiller Tablosu

Şekil 2.1. Kaynak prosesi gösterimi.	4
Şekil 2.2. Kaynak prosesinde ısı etkisinin gösterimi.	4
Şekil 3.1. ITAB bölgesi gösterimi.	9
Şekil 3.2. Kaynak kabiliyeti.	10
Şekil 3.3. Kaynak yöntemlerinin şematik gösterimi.	10
Şekil 3.4. TIG kaynağı genel gösterim.	12
Şekil 3.5. Küt kaynak dikişlerinin kaynak dikiş gerilmeleri (Anonim, 2005).	15
Şekil 4.1. Sac parçaların kenar bükülmesi.	18
Şekil 4.2 Büküm zımba parametrelerinin açısız gösterimi (Gattmah, 2019).	19
Şekil 4.3. Geri esnemenin elastik izlenimi.	20
Şekil 4.4. Bükme eksenleri.	21
Şekil 5.1. Low-bed araçların genel yapısı	23
Şekil 5.2. Kaynak proses ile imal edilmiş ekskavator low-bed aracı şasisi.	24
Şekil 5.3. Büküm proses ile imal edilmiş ekskavator low-bed aracı şasisi.	24
Şekil 5.4. Büküm parametreleri.	24
Şekil 5.5. 1 g Makas kulağı kuvvet gösterimi.	27
Şekil 5.6. 2 g Makas kulağı kuvvet gösterimi.	27
Şekil 5.7. 0.5 g Makas kulağı kuvvet gösterimi.	28
Şekil 5.8. Kaynaklı şasi modelin sadeleştirilmiş gösterimi.	28
Şekil 5.9. Kaynaklı şasi modelin ANSYS surface yapısı.	28
Şekil 5.10. Bükümlü şasi modelin sadeleştirilmiş gösterimi.	29
Şekil 5.11. Bükümlü şasi modelin ANSYS surface yapısı.	29
Şekil 5.12. ANSYS kaynaklı şasi mesh modeli.	30
Şekil 5.13. Bükümlü şasi için 1 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.	30
Şekil 5.14. Kaynaklı şasi için 1 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.	31
Şekil 5.15. Bükümlü şasi için 1 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.	32
Şekil 5.16. Kaynaklı şasi için 1 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.	32
Şekil 5.17. Bükümlü şasi için 2 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.	32
Şekil 5.18. Kaynaklı şasi için 2 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.	33
Şekil 5.19. Bükümlü şasi için 2 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.	33
Şekil 5.20. Kaynaklı şasi için 2 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.	34
Şekil 5.21. Bükümlü şasi için 0,5 g yanal yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.	34
Şekil 5.22. Kaynaklı şasi için 0,5 g yanal yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.	35
Şekil 5.23. Bükümlü şasi için 0,5 g yanal yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.	35
Şekil 5.24. Kaynaklı şasi için 0,5 g yanal yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.	36
Şekil 5.25 Büküm ile üretilmiş low-bed aracı şasi ve sac gösterimi.	37
Şekil 5.26. Hidrolik test ünitesi şematik gösterimi.	38
Şekil 5.27. Büküm prosesle üretilmiş “V” parçanın çekme ve basma deneyi.	39
Şekil 5.28. V büküm parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.	39
Şekil 5.29. V büküm parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.	40
Şekil 5.30. Kaynak Proses İle Üretilmiş “V” Konstrüksiyon Çekme ve Basma Deneyi	40
Şekil 5.31. V kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme grafik değerleri.	41
Şekil 5.32. V kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.	41

Şekil 5.33. Büküm prosesle üretilmiş “L” parçanın çekme ve basma deneyi.	42
Şekil 5.34. L büküm parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.	42
Şekil 5.35. L büküm parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.	43
Şekil 5.36. Kaynaklı prosesle üretilmiş “L” parçanın çekme ve basma deneyi.	43
Şekil 5.37. L kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.	44
Şekil 5.38. L kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.	44
Şekil 5.39. Büküm prosesle üretilmiş “U” parçanın çekme ve basma deneyi.	45
Şekil 5.40. U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.	45
Şekil 5.41. U büküm parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.	46
Şekil 5.42. Kaynaklı prosesle üretilmiş “U” parçanın çekme ve basma deneyi.	46
Şekil 5.43. U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.	47
Şekil 5.44. U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.	47



1. GİRİŞ

Sac bükümü ve sac kaynağı, metal işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iki önemli şekillendirme yöntemidir. Her ikisi de metal levhaları şekillendirmek ve özel projelerde kullanmak için uygundur, ancak her iki yöntem farklı prensiplere dayanır ve kullanım yerlerine göre farklı avantajlar sunarlar.

Sac bükümü, metal levhaların kalıcı olarak belirli bir şekle evrilmesi/dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem genellikle hidrolik veya mekanik presler kullanılarak gerçekleştirilir. Prosesin özünde sacın bükülmesi sırasında, malzemenin üzerine baskı kuvveti uygulanarak istenen şekil elde edilir. Sac bükümü özellikle düşük maliyetli üretim planlamalarında ve hassasiyet gereken şekillendirmeler için tercih sebebidir. Özellikle boru imalatı, otomotiv endüstrisi, savunma ve uzay gibi birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sac kaynağı ise genel olarak iki veya daha fazla metal levhanın ısı, basınç, sürtünme gibi etkenler kullanılarak birleştirilmesi işlemidir. Isı etkisi altında kaynak yapılacak metallerin, ergime aralığına yakın bir başka metalin bağlayıcı olarak kullanıldığı kaynak işleminde birçok yöntem vardır (Shigar, 2017). Örneğin, elektrot ark kaynağı, MIG kaynağı veya TIG kaynağı vb. Sac kaynağı, özellikle büyük ölçekli yapılar için metal parçaların dayanıklı ve sızdırmaz bir şekilde birleştirilmesini sağlayan en önemli birleştirme işlemlerinden biridir ve birçok endüstride (otomobil, gemi, havacılık vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber montaj doğruluğu ve servis performansı üzerinde genellikle olumsuz etkisi olan kaynak deformasyonu ve kalıntı gerilim üzerine birçok araştırmacı ve mühendis tarafından sürekli olarak odaklanılmıştır (Rong, 2017).

Sac bükümü ile gerçekleştirilen nihai ürün geometrisi ile sac kaynağı kullanılarak yapılan nihai ürün geometrilerinin kullanıldıkları yerler itibarıyla davranışları mekanik olarak farklılık gösterir. Buna mukabil sac bükümü genellikle daha hızlı bir üretim süreci sunar. Bu da büyüyen endüstriyel talebe istinaden üretim kapasitesinin artırılması durumlarında kaçınılmaz bir üretim metodu olarak rağbet görür. Sac kaynağı ise daha sağlam bir bağlantı sağlar ve bu nedenle yapısal mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih sebebidir.

Bu tez çalışmasında, sac bükümü ve sac kaynağı yöntemleri arasındaki kalite, mukavemet ve maliyet açısından tercih edilebilirliğin belirlenmesinde bir metodoloji geliştirilmiştir.

Bükerek ve kaynaklı şekillendirmeye maruz bırakılan belirlenmiş geometrilerin geometri merkez konumuna göre düşük seviye ağırlık merkezi yerleşimi dikkate alınarak ağır yük taşımacılığında kullanılan römork treyler (Low-bed) kasasının rijit tasarımında hangi metodun daha az maliyet ve mekanik sağlamlığa ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktır.

Bu maksatla tasarlanan konstrüksiyonlarda sıklıkla kullanılan U, V ve L profillerinin hem bükülerek hem de kaynaklı hallerinin kullanım yerlerindeki dayanımları hakkında bir öngörü oluşturup endüstriyel uygulamalar için referans olacak veri çıktısı sağlanmıştır.



2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

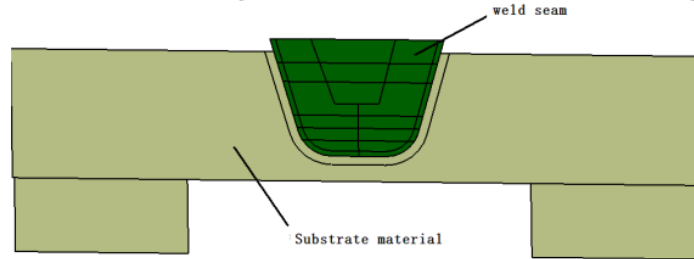
Literatür incelemesi yapıldığında, birçok tez ve makale bulunmaktadır. Genellikle çalışmalar büküm prosesi veya kaynak prosesini ayrı ayrı inceleyen ve benzer bir uygulama ile karşılaştırma yapılmayan şekillerde sunulmuştur. İncelenen çalışmalar kaynak bazlı üretilmiş konstrüksiyon veya sacların sonlu elemanlar yöntemi ve farklı test düzenekleri ile detaylı incelemesi olarak görülmektedir. Diğer yandan incelenen diğer çalışmalar da büküm prosesi ile üretilmiş konstrüksiyonların veya sacların sonlu elemanlar ve farklı test düzenekleri ile detaylı incelemesi olarak görülmektedir. Literatür araştırması detaylıca yapıldığında aşağıdaki gibi farklı çalışmalar bulunmuştur.

Herrmann (1967), yapısal plakaların bükülme analizine uygulanabilen genel yaklaşık bir çözüm yöntemi sunmuştur. Bu yöntemde plakaların değişken kalınlıklara ve isteğe bağlı şekillere ve malzeme özelliklerine sahip olabileceği ifade edilmiştir. Sac plakaların ölçüm ve testleri için, katlanmış plaka ve kabuk yapılarının analizine kolaylıkla uyarlanabilecek şekilde formüle edilmiştir. Çalışma, enine sapmanın ve eğilme momentlerinin fonksiyonu olarak yazılan plaka eğilme denklemlerinin bir varyasyon teoremi aracılığıyla ifade edilmesidir. Analiz edilecek plaka bir dizi sonlu elemanla temsil edilir. Birincil bağımlı değişkenlerin, (enine sapma ve momentler) her bir komponent için ayrı ayrı incelenmesi ile tamamlanmıştır.

Huang (1995), tarafından yapılan araştırma, çelik sacın V-kalıp bükme işleminin, işlem koşullarını açıklığa kavuşturmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma malzemenin çekme özelliklerine ve takımların geometrisine bağlı olarak bükme için doğru zımba yükünü ve boşaltma sonrasında ürünlerin kesin son şeklini tahmin eden bir model öne sürer. İşlem değişkenleri zımba yarıçapı (R_p), kalıp yarıçapı (R_d), zımba genişliği (W_p), zımba hızı (V_p), sürtünme katsayısı (k), gerinim sertleşmesi üssü (n) ve normal anizotropidir (R). Bu araştırma bazı deneyler yapılarak ve sonlu elemanlar simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Zımba yarıçapı, zımba hızı ve yağlama gibi çeşitli işlem değişkenleri için bükme zımbasını belirleyen deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak zımba yarıçapı ve zımba hızı arttıkça veya yağlama azaldıkça zımba yükünün arttığı bulunmuştur.

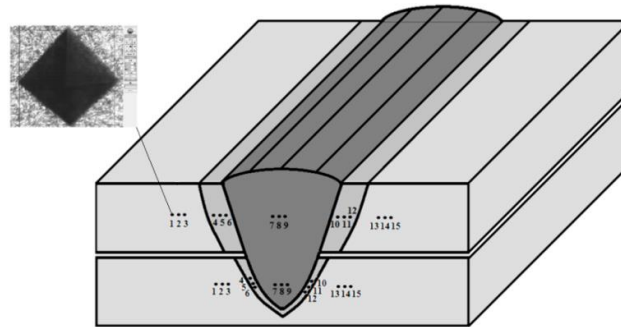
Zhang (2014), büyük ölçekli ekipmanlarda, U şekilli kaynak yapısı, konteyner duvarının kaynağı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bildiride, basınçlı kaplarda ve kule ekipmanlarında yaygın olarak kullanılan U şekilli dikiş kaynağı işlemi, düzlem modeller kullanılarak ABAQUS yazılımı ile simüle edilmiştir. Şekil 2.1 de gösterildiği gibi kaynak modeli üç boyutlu çizim programında oluşturulmuştur. Kaynak malzemesi

kısmı için hesaplamada sonlu elemanlar tekniği kullanılmıştır ve kaynak malzemesi kısmı daha ince meshlere bölünmüştür. Her bir kaynak sıcaklığı dağılımı ve gerilim dağılımı için hesaplama yapılmıştır. Aynı zamanda kaynak işleminde kaynak sonrası soğutma dikkate alınmıştır. Bilgisayar simülasyonu, gerilim dağılımı ve gerinim enerji eğrisinin genel yapısını oluşturmuştur.



Şekil 2.1. Kaynak prosesi gösterimi.

Başka bir kaynaklı üretim prosesini inceleyen çalışma ise, Hubert (2020), tarafından yapılan, lazer ışını radyasyonu kullanılarak çelik levha bindirme kaynağının sonuçlarını sunmaktadır. Bindirmeli bağlantı kaynağında derin malzeme nüfuzu için lazer ışınının kaynak ağzı bölgesindeki detayları incelenmiştir. Lazer kaynağının termodinamik mekanizması malzeme özellikleri ve proses parametreleriyle ilgilidir. Kaynak parametrelerinin tahmini ve bağlantı özelliklerinin analizi sayısal simülasyon yoluyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.2 de kaynak prosesinde ısı etkisini modelleyerek göstermiştir.



Şekil 2.2. Kaynak prosesinde ısı etkisinin gösterimi.

Çelik sac kaynağı sırasında lazer emilimini ve anahtar deliği etkisini simüle eden yüzey ve konik hacimsel ısı kaynakları için sayısal hesaplama yapmıştır. Sertlik dağılımları ve kaynak geometrisi formundaki sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen kaynağın metalografik analizi, kaynak sacı kesitindeki kristalografik yapılar ve kalıntılar dahil olmak üzere sunmuştur.

Shiga C., (2017), Yüksek mukavemetli çeliklerin kaynaklı birleşimlerindeki yorulma özelliklerini iyileştirmek için, düşük dönüşüm sıcaklığı (LTT) kaynak malzemeleri için uzatılmış boncuk yöntemini geliştirmiştir. Önerilen yöntem, basınç kalıntı gerilimini yoğunlaştırır ve gerilim konsantrasyonunu azaltır. Körük ön kısmının boks kısmındaki uzatılmış boncuğun uzunluğunu, düşük *Ni* içeriğine sahip ucuz LTT tellerinin etkinliğini ve onarım kaynaklarına potansiyel uygulanabilirliğini araştırmıştır. En etkili kaynak yöntemi olan, uzatılmış boncuk LTT kaynak metalinin geleneksel boks kaynak metali üzerine bindirilmesi, boks yorulma ömrünü yedi ila on kat uzattığını bulmuştur. Farklı martenzit başlangıç sıcaklıklarına (*M_s*) sahip düşük *Ni* metalleriyle kaynaklanan birleşimlerdeki kalıntı gerilim dağılımları ve farklı uzunluklardaki uzatılmış boncuklardan oluşturulan kaynak birleşimlerindeki gerilim konsantrasyonu, sonlu elemanlar simülasyonlarında araştırmıştır.

Bir diğer kaynaklı proses ile ilgili makalede; Xia H., (2016) Lazer-ark hibrit kaynak işlemi farklı enerji oranları kullanılarak daha küçük deformasyon ve geniş özgürlükler avantajlarına sahip olsa da, kaynak montajından önce başlangıç boşluğu veya başlangıç uyumsuzluğu gibi bazı başlangıç boyut hataları kaynaklı yapıların nihai şekli üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu makalede, üç farklı başlangıç boşluğuna (0,2 mm, 0,5 mm ve 1,0 mm) sahip çelik plakaların uç uca birleşimlerindeki sıcaklık alanlarını ve plastik gerilmeleri araştırmak için termal elastik-plastik sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Dört doğal deformasyon parametresi, uzunlamasına doğal büzülme, enine doğal büzülme, uzunlamasına doğal eğilme ve enine doğal eğilme hesaplanmış ve farklı başlangıç boşluklarıyla karşılaştırılmıştır. Son olarak, beş kaynak hattına sahip bir çelik boru yapısındaki kaynak deformasyonu doğal gerilme teorisi ile tahmin edilmiştir.

Serizawa H., (2013), Dar aralıklı tungsten inert gaz kaynağı için pratik konulardan biri olarak, kalın duvarlı boruların çok geçişli çevresel alın kaynağında aralık genişliğindeki daralmanın mekanizması deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. 200 mm et kalınlığına sahip 600 mm dış çaplı borular kullanılarak elde edilen deneysel sonuç, 73 katman için 174 geçişli kaynak işleminin başlangıcındaki aralık genişliğindeki daralmanın oluk şeklinden bağımsız olacağını ortaya koymuştur. Ayrıca, termal elastik-plastik sonlu elemanlar analizlerinin sonuçlarından, 2 boyutlu ekstenel simetrik modelin aralık genişliğindeki başlangıç daralmayı tahmin etmede yetersiz olduğu bulunmuştur. Dahası, hesaplamalı sonuçlar, tüm borunun 3 boyutlu modeli kullanılarak ve uygun ısı girdisi alanı tanımlanarak aralık genişliğindeki daralmanın nicel olarak tahmin

edilebileceğini, küçük dereceli borunun 3B kısmi modelinin ise başlangıçtaki daralmayı kesin olarak tahmin etmek için yetersiz olduğunu göstermektedir.

Weinmann ve Shippell (1978), sıcak haddelenmiş, yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı bir çelik sacın V-kalıp bükümüne ilişkin deneysel sonuçları sundular; hem maksimum hava bükme kuvveti hem de baskı sırasında elastik boşaltma durumu, zımba yarıçapı, kalıp genişliği ve sac kalınlığının fonksiyonları olarak değerlendirilmiştir.

Tekiner Z., (2004), çeşitli kalınlık ve özelliklere sahip sac metallerin bükme kalıplarında geri yaylanmasını deneysel olarak incelemiştir. Paslanmaz çelik sac metallerin geri yaylanmasını deneysel olarak belirlemek için modüler V şekilli kalıplar kullanmışlardır. Zımbanın malzeme üzerinde daha uzun süre tutulmasının geri yaylanmayı azalttığı, buna karşın malzeme kalınlığının ve bükme açısının artmasının geri yaylanma değerlerini artırdığı sonucuna varmıştır.

Magnusson C., (1990), V-kalıp bükme, bükme momentinin şekillendirme sırasında değiştiği, gerilim-gerinim dağılımının bir bükümün farklı kesitlerinde farklılık gösterdiği, durağan olmayan bir şekillendirme işlemidir. İzotropik sertleşen bir von Mises malzemesinin düzlemsel bükmeye maruz kaldığı varsayılarak, iç gerilimlerin momenti bükümün eğriliği, sac kalınlığı ve malzemenin özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Verilen yapısal denklemlerle, bir sac metalin bükme sırasındaki konfigürasyonu hesaplanabilir ve yük kaldırıldığında elastik geri yaylanması tahmin edilebilir olması adına deneysel çalışmalar yapmıştır. Teorik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır ve iyi bir uyum bulmuştur.

Essa A., (2016)'da yaptığı çalışmada sac metal şeritlerinin geri yaylanma durumunun detaylı bir araştırmasını yapmıştır. Sac metal şeritlerinin bükülmesinden sonra kalan gerilmeler (RS), geri yaylanma ve antiklastik eğrilik en önemli endişe kaynağı olduğunu söylemiştir. RS ve geri yaylanma esas olarak sac genişliği ve malzeme özelliklerinden etkilenirken, antiklastik eğrilik yalnızca dar kesitlerle ilişkili bir sonuçsal olgu olduğunu ortaya koymuştur. Bu makalenin amacı, daha geniş saclar için düzlemsel gerinim koşulundan daha dar saclar için düzlemsel gerilim koşuluna değişen sac genişliğine bağlı RS değişimini araştırmaktır. Geri yaylanma çalışması, düzlemsel gerinimden, düzlemsel gerilim koşuluna olan değişimin sınırını doğrulamak için dahil edilmiştir. Araştırma, üç noktalı bükmeden sonra sac genişliğinin RS , geri yaylanma ve antiklastik yüzey üzerindeki etkisini tahmin etmek için ABAQUS/Standart kullanılarak sonlu elemanlar modellemesine (FEM) dayanmaktadır. Sac kalınlığı boyunca RS 'yi hesaplamak için analitik denklem formüle edilmiş ve RS 'nin sac kalınlığı, sac genişliği,

gerinin sertleştirme üssü (n) ve yükleme koşullarının bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Bu denklem FEM sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve iyi bir uyum olduğunu ortaya koymuştur.



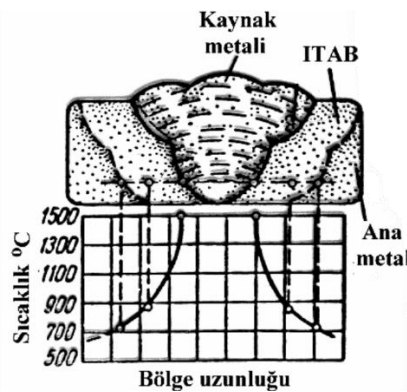
3. SAC KAYNAK METODOLOJİSİ

Kaynak işlemleri günümüzde en yaygın imalat yöntemlerindedir. Kaynak ve kaynak edilmiş parçaların geometrik tamlığı kullanım amaçlarına bağlı önem arz etmektedir. Kaynak türlerinden olan gaz, toz altı, sürtünme, MIG, MAG vb. uygulamalar, kendi içerisinde farklı parametrelere bağlı olan ölçüm metotlarına sahiptir (Canteli, 2008). Kaynaklı birleştirme yüksek bir maliyet girdisine sebep olmamakla birlikte gerekli teknik detaylara uyulduğu takdirde yüksek bir sağlamlık da sağlamaktadır. Kaynak tekniği yaklaşık 3500 yıllık bir geçmişe sahiptir. İlk olarak Şam'da Araplar tarafından kullanılmıştır. Kaynaklı üretimde proses detay parametreleri için çok sayıda değişik faktör bulunmaktadır. Bu değişen parametreler doğrudan proses kalitesine etki etmekte, onay veya ret alacak parçalar bu parametrelerin doğruluğuna bağlıdır. Parametrelerin biri bile değişse sonuç için büyük değişiklikler oluşturabilmektedir. Kaynaklı imalat için amaç kaynak proses sonrasında görünen kaynak dikişinin özelliğinin ana malzemeye yakın ve düzgün olmasıdır (Demiray, 2014).

Kaynak için genellikle bakılan detaylar ise; metal-gaz reaksiyonları, kaynak akışı, faz dönüşümü, elektromanyetik hareketler, ısı transferleri, ITAB, kaynak metal kimyası, metal veya elektrotun tanecik yapıları gibi detaylar tahribatlı veya tahribatsız muayene yöntemleri ile incelenmektedir. Son zamanlarda nümerik simülasyon yöntemleri ile de kaynak işlem analizi, kaynak modelleme, mekanik testler yapılmaktadır. Bu metotlar kaynaktaki uzamalar ve artık gerilmeleri belirlemek için kullanılmaktadır (Chan, 2004).

Kaynak işleminin bölgesinde oluşan ısı çevrimi, bu bölgede iç yapıyı tamamen değiştirebilmekte ve mekanik olarak farklı bir oluşum ortaya çıkarabilmektedir. Şekil 3.1'de gösterilen ITAB yani ısı tesiri altında kalan bölge, kaynak dikişi çevresinde birkaç mm genişliğe sahip olması nedeni ile bu bölgede metalografik muayene ve sertlik muayene şekillerinin uygulanması için büyük zorluklar ve imkansızlıklar oluşturmaktadır. Kaynaklı imalat için ön hazırlık ve parametreler belirlenirken amaç, hazırlanan kaynak talimatlarına göre yapılan kaynak prosesleri için dikişler tek bir kalitede ve seviyede olmalıdır. Yapısal olarak kaynak parametreleri ile parçada meydana gelecek ön gerilmeler ve deformasyonları ön hazırlıklar ile engellemek her zaman mümkün olmayabilir. Bu sebeple parametreler ve diğer detaylar parça bazında değerlendirilmeli ve gerekli bilgiler detaylı olarak aktarılmalıdır. Kaynaklı imalat proseslerinde ısı tesiri altına kalan bölge (ITAB) malzemenin mikro yapısını bozarak şekil, ölçü, iç yapı ve diğer deformasyonlara sebep olabilmektedir. Bu da üretilecek parça

bazında ölçü toleransları baz alındığı için ölçülerde kalabilmek adına kesim resimleri düzenlemek gerekmektedir.



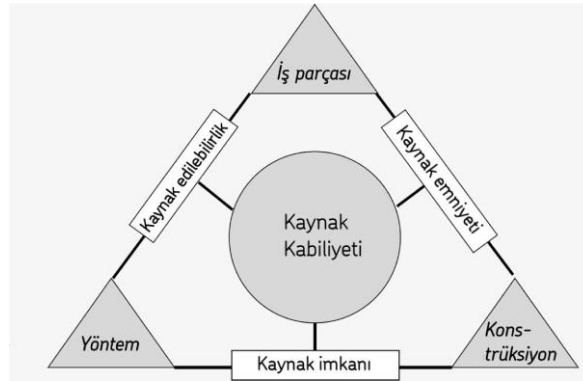
Şekil 3.1. ITAB bölgesi gösterimi.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen mekanik-kimyasal bozulmalar ve distorsiyonların daha net algılanmasını sağlamak amaçlanmıştır. Bu maksatla farklı üretim yöntemlerinden olan kaynak ve büküm metotlarının uygulama karşılaştırması yapılmıştır. Kıyaslamalar sonlu elemanlar metodu ile gerçek deneyler sırasında elde edilen verilere dayalı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca L, U, V tipi gibi sanayide en sık kullanılan kesitlerin standart ölçülerde üretilmiş bükümlü ve kaynaklı profillerin çekme ve basma deneylerine tabi tutularak parçaların mekanik davranışları kaydedilerek sonuçlar alınmış ve bu sonuçlara göre metodolojinin avantaj ve dezavantajları aktarılmıştır.

Kaynak prosesi yapılırken birçok tip ve geçerli metot vardır. Büküm prosesi ve kaynak prosesi benzer şekilde parçalara şekil vermek ve nihai parça ölçüsünü elde etmede rol oynar. Her iki işlem de metal işleme endüstrisinde önemli rol oynar ve farklı avantajlar sunar. Projenizin gereksinimlerine ve uygulamasına bağlı olarak, sac bükümü veya sac kaynağı tercih edilebilir. Bu nedenle, her iki yöntemin avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirmek önemlidir.

3.1. Kaynak Kabiliyeti ve Yöntemi

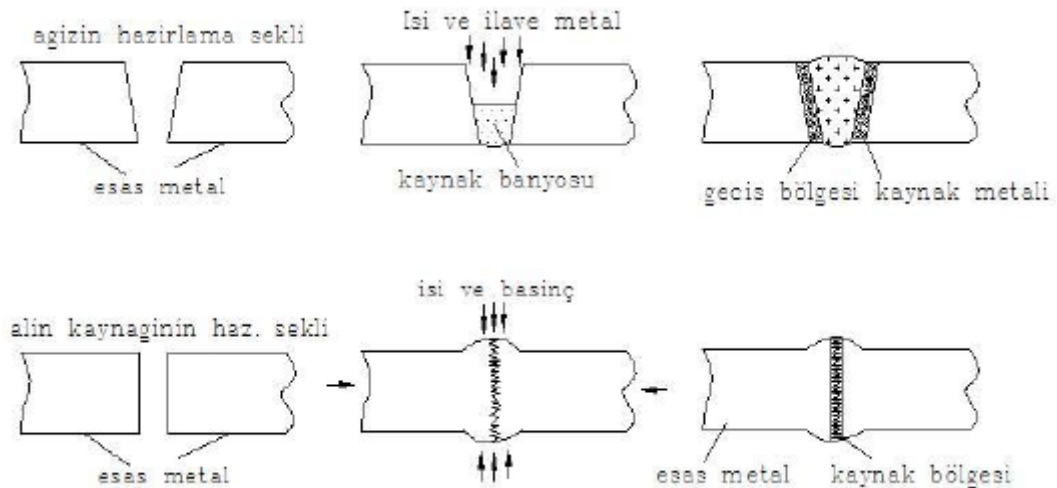
Kaynak kabiliyeti, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi bir döngü halinde düşünülerek farklı parametreler olsa dahi Şekil 2.1’deki ana proses yapısı ile uygulanabilen prosestir. Kaynak yapılabirlik şekillerinin temel etkilerini oluşturmaktadır. Kaynak yapabilmek için oluşturulacak yöntem, iş parçası, konstrüksiyon gibi üç ana başlık kaynağın kalitesini etkileyen temel faktörlerdendir. Bu üç ana başlık arasında kaynak edilebilirlik, kaynak emniyeti ve kaynak imkânı gibi bağlantılar mevcuttur (Kayaoğlu, 2019).



Şekil 3.2. Kaynak kabiliyeti (Temiz, 2013).

Kalıcı (homojen) bir bağ oluşturmak için birleştirme kenarlarının dolgu metali olsun veya olmasın ısıtıldığı ve kaynaştırıldığı bir metal birleştirme yöntemi kaynak olarak bilinir.

Ya da başka bir deyişle, “Kaynak, tam bir birleşme elde etmek için aynı veya farklı malzemelerden iki veya daha fazla parçayı birleştirme işlemidir.” Bu yekpare yapılar geliştirmenin tek yöntemidir ve genellikle ısı ve/veya basınç kullanılarak gerçekleştirilir. Perçinleme, civata ile birleştirme, lehimleme gibi birleştirme yöntemlerinin tümü geçici ve uzun vadeli mukavim birleştirme prosesi olarak seçilememektedir. Kaynak, metalleri kalıcı olarak birleştirmenin tek yöntemidir (Demiray, 2014).



Şekil 3.3. Kaynak yöntemlerinin şematik gösterimi.

Geçici bağlantılar şu durumlarda ayrılabilir:

- Perçinin başı kesilmesi
- Civatanın somunu gevşemesi
- Lehimleme için gerekenden daha fazla ısı verilir ise ayrılmalar görülmektedir.

Kaynaklı birleştirmeler, birleştirme kenarlarının birbirine ısıtılıp kaynaştırılmasıyla homojen hale getirildiği için lehim ve sert lehim gibi birbirinden ayrılamaz. Şekil 3.3'de gösterilen kaynak yöntemlerinin şematik gösterimi genel proses kaynak yapış şeklini anlatmaktadır. Kaynak ağzı hazırlanması ile başlayan proses, arada kullanılan parametrelerdeki değişiklikler ile oluşan farklı yöntemleri oluşturur. Nihayet tüm kaynak prosesleri iki parçanın ayrılamaz birleştirilmesi ile sonlanır. (Anonim, 2006).

3.1.1. Gaz metal ark kaynağı

Metal inert gaz veya MIG kaynağı olarak da bilinen bu işlem, elektrot olarak ince bir tel kullanır. Tel, kaynak aleti içinden ve kaynak bölgesine doğru beslenirken ısınır. Kaynak yerini havadaki kirleticilerden korumak için koruyucu gaz kullanılmalıdır. Ark kaynağı, elektrot kullanarak iki metal levhayı birleştirmek için kullanılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak akımı ve voltajı, kaynak hızı, elektrot çapı ve elektrot tipi gibi parametreler, kaynak işleminin başarısını etkileyen önemli faktörlerdir.

Elektrot aşağıdaki şekilde temel bir akım-voltaj (I - V) karakteristiğine sahiptir:

$$\text{Kaynak Akımı } (I) = \text{Kaynak Voltajı } (V) / \text{Elektrodun Direnci } (R) \quad (3.1)$$

Tipik olarak bu, karbondioksit, oksijen, argon veya helyum şeklinde gelir. Bu yöntem genellikle paslanmaz çelik, bakır, nikel, karbon çeliği, alüminyum ve daha fazlası gibi metaller üzerinde çalışmak için kullanılır. Tüm kaynak işlemleri arasında bu, inşaat ve otomotiv endüstrilerinde en popüler olanıdır. Bu tür kaynak işlemiyle ilgili bazı dezavantajlar, daha kalın metalleri kaynaklayamama veya dikey veya baş üstü kaynak yapamama ile birlikte koruyucu gaz alma maliyetleri etrafında döner (Anonim, 2006).

3.1.2. Gaz tungsten ark kaynağı

Tungsten inert gaz veya TIG kaynağı olarak da bilinen bu tür kaynak işlemi, genellikle alüminyum, bakır, kurşun veya nikel gibi ince ve demir içermeyen malzemeleri birbirine kaynaklamak için kullanılır. Genellikle bisiklet veya uçak imalatına uygulanır.

Toz altı Ark Kaynağı (TIG), çok yüksek birleştirme oranına sahip, yüksek kaliteli bir kaynak işlemidir. Kalınlığı yüksek olan parçaları düz konumda birleştirmek için yaygın olarak kullanılır. TIG genellikle tam mekanize veya otomatik olarak işlenerek

Elektrot Besleme Hızı(EFR):

Elektrot besleme hızı, kullanılan elektrotun hızını ifade eder.

$$\text{Formül: EFR (mm/dakika)} = (\text{Torç hızı}) * (\text{Elektrot Çapı}) \quad (3.3)$$

$$\text{Formül: Elektrot Verimliliği (\%)} = [(\text{Başlangıç Ağırlık} - \text{Bitiş Ağırlık}) / \text{Başlangıç Ağırlık}] * 100$$

3.1.3. Elektrot değişim süresi (Electrode Change Time-ECT)

Aşağıda verilen formüller, toz altı kaynak sürecini daha iyi anlamak ve kontrol etmek için kullanışlıdır. Her uygulama farklı olabileceği için, bu formüllerin spesifik uygulamalara uyarlanması gerekebilir.

$$\text{Ark Güç Girdisi(Watt)} = \text{Ark Gerilimi (V)} \times \text{Ark Akımı (A)} \quad (3.4)$$

$$\text{Isı girdisi (J/mm)} = \frac{\text{Akım (A)} \times \text{Gerilim V} \times 60}{\text{Kaynak hızı (mm/dak)}} \quad (3.5)$$

Elektrot değişim periyodunun belirlenmesi ustalaşması en zor kaynak parametrelerinden biridir ve doğru olarak belirlenen değişim periyodu, kaynak kalitesini olumlu yönde etkileyen en etkin parametre olarak kabul edilebilir. Ark ile kaynak yapılan alan arasında yalnızca küçük bir alan olduğundan, tamamlanması yüksek miktarda hassasiyet ve beceri gerektirir. Bu yöntemden doğan kaynakların son derece mukavim olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2006).

3.1.4. Korumalı metal ark kaynağı

Korumalı metal ark kaynağı, kaynak işleminde, proses akışı gerçekleştirilirken korumalı gaz ile kaplanmış tüketilebilir kaynak elektrotunun kullanıldığı bir tekniğe dayanır. Bu yöntem genellikle, bireysel ticari olmayan uygulamalarda ve ev ortamında kaynak yapanlar arasında en popüler olma eğilimindedir. Bu işlem aynı zamanda gayri resmi olarak çubuk kaynak olarak da bilinir. Takma ad, metali kaynaklamak için kullanılan ve "çubuk" şeklinde gelen elektrota atıfta bulunur. Korumalı metal ark kaynağı minimum ekipman gerektirdiğinden, piyasadaki en düşük maliyetli proseslerden biridir.

Bu tip kaynak, koruyucu gaz gerektirmez ve rüzgâr veya yağmurda açık havada yapılabilir. Ayrıca kir ve paslı malzemeler üzerinde de iyi çalışır. Bununla birlikte, prosesin olumsuzlukları da vardır. Çubuk kaynaklar tipik olarak en kaliteli ürünleri

üretemez. Gözenekliliğe, çatlaklara ve metal üzerine sıg nüfuz etmeye eğilimlidirler. Genel olarak, çubuk kaynaklar, diğer kaynak proseslerinin oluşturacağı modellerden daha az dayanıklılığa sahiptir (Vimal, 2015).

3.2. Termal Gerilmeler ve Distorsiyonlar

Kaynak yapılırken ısı girdisi, ITAB, kaynak hızı, elektrot tipi, kaynak ortamı gibi parametre etkilerinden meydana gelen bazı gerilmeler ve distorsiyonlar mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir;

Isı gerilmeleri, parça üzerinde bölgesel olarak ısıtma sırasında oluşan uzama engellemesidir ve bu tesir, ısıtma gerilmesi olarak adlandırılabilir.

Sıcaklık farkları, kaynak hızı, özgül ısı, parçanın ısı iletme kabiliyeti, ısı yayılımı, parça formu, parça hacmi, elastik modülü, ısıl uzama katsayısı gibi birçok faktör kaynağın yapıldığı bölgede ve alanda bazı gerilmeler bozulmalar ve distorsiyonlar oluşturur. Kaynak esnasında oluşan ısıl gerilmeler ve normal gerilmeler, soğuma durumunu da göz önünde bulundurarak proses sonrası metalin, hızlı veya yavaş soğuması durumunda bazı reaksiyon kuvvetleri meydana getirir. Konstrüksiyon rijitliğine göre bu kuvvetler parça üzerinde çarpılmalar meydana getirir. Isıl uzamaya engel olan durum, rijiditeyi artırmak ve yüksek sıcaklık durumlarında akma sınırını düşürdüğünden plastik bir yığılma yani parça deformasyonu oluşturmaktadır. Soğuma esnasında 600 °C aşağısında akma gerilmesi yükselmektedir ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Tek veya çok eksenli gerilmeler ayrıca meydana gelmektedir (Thomas,1997).

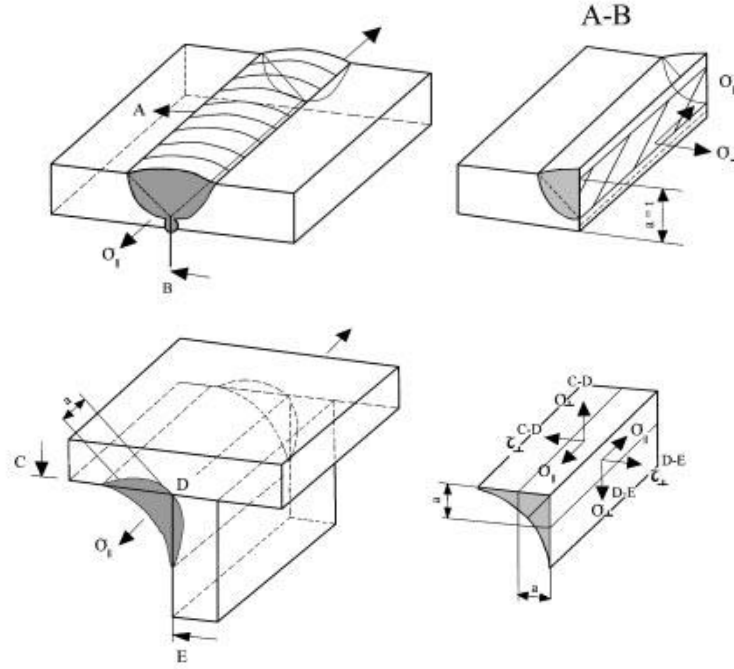
3.3. Kaynak Dikişi Mukavemet Hesaplamaları

Kaynak dikiş boyu hesaplamaları çoğu kaynak metodunda aşağıdaki parametreler ile hesaplanmaktadır (Bkz. Denklem 3.6)

$$3 \text{ mm} \leq a \text{ [mm]} \leq 0.7 \times t_{min} \quad (3.6)$$

Kaynak dikişi kalınlığı “a” olarak verilmektedir. Köşe kaynak dikişleri için hesap kalınlığı “a” dikiş için çizilecek en büyük ikizkenar dik üçgen yüksekliği olarak adlandırılır.

Kaynak prosesinde, kaynak yapılacak bölgenin a kaynak dikişinin kalınlığı düşünülerek tasarım yapılmalıdır. Eğer kaynak yapılacak bölgede a uzunlukları dikkate alınmadan bir birleştirme işlemi yapılır ise iki metalin ara yüzeyine uygulanacak kaynak dikişinin yanı sıra daha az bir kaynak bölge uzunluğu bırakılır ve kaynak dikişi yeterli alanı bulamayacak ve hatalı bir kaynak prosesi yapılmış olacaktır. Şekil 3.5’de kaynak dikişlerinin boyları ve gerilim yönleri gösterilmiştir.




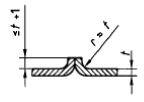

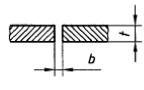

Şekil 3.5. Küt kaynak dikişlerinin kaynak dikiş gerilmeleri (Anonim, 2005).

Kaynak hesaplamalarının yanı sıra ISO standartlarına göre kaynak oluşturmak önemlidir. ISO standartları gibi diğer ülkelerin kendi içerisinde yayınladıkları kalite standartları da mevcuttur. Kaynak gerilmeleri ve kaynak kabiliyeti için bu standartlara uyulsa dahi bazı ağır yük taşımacılıklarında kullanılarak spesifik özel araçlar için ekstra testler ve sonlu elemanlar metodu kullanmak zaruridir. Bu çalışmada ISO standartlarına göre uygulanmış kaynak detayları aktarılarak ne gibi avantajlar ve dezavantajlar sağladığı, kaynak bölgesinde ve araç bütününde incelenip sonuçların literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Tablo 3.1. ISO Standartları Tablosu

Kullanılan Iso Standartları	Açıklama
ISO EN 5817	<i>Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri</i>
TS EN ISO 9692-1	<i>Kaynak ve benzer işlemler - Kaynak ağızı hazırlığı için tavsiyeler - Çeliklerin elle metal-Ark kaynağı, gaz korumalı metal-Ark kaynağı, gaz kaynağı, tig kaynağı standartları</i>
TS EN ISO 9692-2	<i>Kaynak ve benzer işlemler - Kaynak ağızı hazırlığı - Çeliklerin toz altı ark kaynağı</i>
TS EN ISO 9692-3	<i>Kaynak ve benzer işlemler - Kaynak ağızı hazırlığı için tavsiyeler - Alüminyum ve alaşımlarının metal asal gaz kaynağı ve tungsten asal gaz kaynağı</i>
TS EN ISO 10042	<i>Kaynak - Alüminyum ve alaşımlarında ark kaynaklı birleştirmeler - Düzgünsüzlükler için kalite seviyeleri</i>
TS EN ISO 2553	<i>Kaynak ve ilgili işlemler - Çizimler üzerinde sembolik gösterimler - Kaynaklı birleştirmeler</i>
TS EN ISO 13920	<i>Kaynaklı yapılar için genel toleranslar</i>

Tablo 3.2. ISO Standartları İçeriği Ön izlemesi.

Referans No.	Malzeme kalınlığı t mm	Kaynak ağzı tipi	Sembol (ISO 2553'e göre)	Enine kesit	Boyutlar				Tavsiye edilen kaynak işlemi (ISO 4063'e göre referans no)	Kaynak resmi	Notlar
					Açı ^{a)} α, β	Aralık ^{b)} b mm	Kök yüzeyi kalınlığı c mm	Nüfuziyet derinliği h mm			
1.1	≤ 2	Kenet alın kaynağı			-	-	-	-	3 111 141 512		Genellikle ilâve metallsiz
1.2.1	≤ 4	Küt alın kaynağı			-	$\approx t$	-	-	3 111 141		-
1.2.2	$3 < t \leq 8$				-	$6 \leq b \leq 8$	-	-	13		Uygulanabildiğinde şerit altlıkla
	≤ 15				-	$\approx t$	-	-	141 ⁹⁾		
					$\leq 1^0$	-	-	52			
					0						

Tablo 3.2 de ISO standartlarına göre kaynak ağzı, malzeme kalınlığı, kaynak gösterimleri gibi standardizasyonlar mevcuttur. Kaynak uygulamalarında her ülkenin ve sektörün kendine ait standartları vardır ve kaynak ile ilgili tüm detayları barındırmaktadır. Kaynak uygulamalarında bu standartlara uymak birçok alanda, maliyet, kalite, güvenlik vb. açıdan kazanımlar sağlamaktadır.

4. SAC BÜKÜM METODOLOJİSİ

Büküm ile şekillendirme, genellikle yassı malzeme tipinde sac levhalara, belli bir form verebilmek adına yapılan imalat prosesidir. Metal bükme plakayı, sacı veya şeridi bükme için kullanılan bir üretim sürecidir (Lange K., 1985). Bu süreçte otomobil, uçak, demir yolu, gemi gibi birçok farklı sektörler için çok sayıda parça üretilebilmektedir. Farklı bükme işlemi türleri olmasına rağmen, V şeklinde kalıpta bükme, sac şekillendirme işlemleri arasında en yaygın olarak kullanılan metot olarak kabul edilmektedir. Bu işlemde malzeme, kalıp yüzeyi ile alt plaka yüzeyi arasında ve ayrıca zımba ile üst plaka yüzeyleri arasında temas gerçekleşene kadar zımba tarafından bir kalıbın içerisine preslenir. Zımbanın serbest bırakılmasından sonra, mekanik ve fiziksel kısıtlamalar nedeniyle ürünlerin nihai şeklinde geri yaylanma adı verilen geometrik değişim meydana gelir. Bu değişim, büküm proseslerinde en istenmeyen faktör olarak kabul edilmektedir.

Kalıntı şekil değiştirmeler oluşturan bükme prosesi, plastik deformasyon nedeniyle yuva olarak kabul edilen abkant preslerde bulunan plaka kalınlığı içinde

oluşturulur. Bu nedenle, geri yaylanma ve artık gerinimler, bükme işlemlerinde en yaygın problemlerdir. Bu problemlerin kontrolleri oldukça zordur ve minimum hata ile doğru boyutlara sahip olmak için sürekli olarak araştırılması ve standardizasyon çalışmaları yapılması önerilmektedir.

Bükme prosesinde eğme yarıçapı (R) sac kalınlığına bakılarak sac kalınlığından daha küçük ise, bükme esnasında sac uzama eğilimi oluşturur. Son bükülen kesitin esneme olmaksızın önce tarafsız eksen boyu ifade edilir ve eğme toleransı değeri elde edilir (Bkz 4.1).

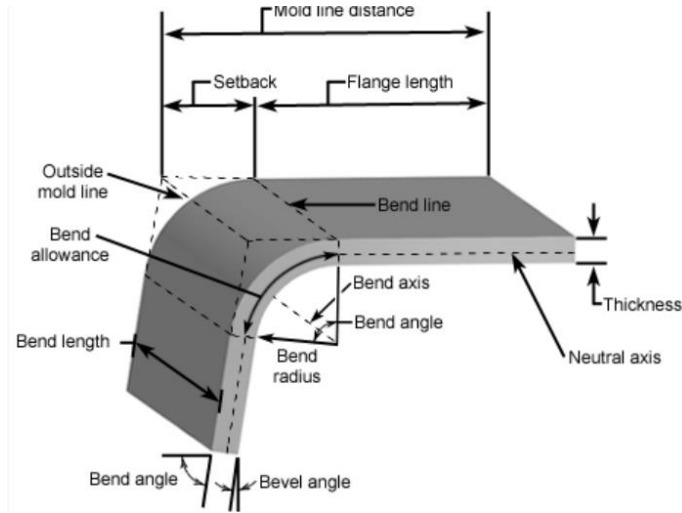
$$A_b = 2\pi \frac{\alpha}{360} (R + K_{ba}t) \quad (4.1)$$

Bükülme payı faktörü, bükme yarıçapının iş parçası kalınlığına göre daha küçük olduğu durumlarda önemlidir. İş parçasının nötr eksen, sac imalatının bükme bölümünün gerilmesi nedeniyle küçülecektir. Bu esneme nedeniyle oluşabilecek uzunluk değişikliklerine bükülme payı denmektedir ve bunun parçalardan gerekli boyutsal beklentileri karşılaması gerektiğini hesaplamamız gerekmektedir.

Hesaplamalar için kullanılan formül ise; formülde ' α ' iş parçasının bükülme açısı, ' R ' bükülme yarıçapı ve ' t ' iş parçasının kalınlığıdır.

$2t > R$ ise ' K ' 0,33 değerine sahip olmalıdır. $2t < R$ ise ' K ' 0,50 değerine sahip olmalıdır. Bunlar ' K ' değerinin standardizasyonlarıdır (Gülmez, 2011).

Ayrıca büküm ve kaynak arasındaki bağlantı için kullanılan parametrelerde en önemli kıstas sac kalınlığı ve büküm yarıçapı olarak verilebilir. Bu parametrelerdeki değişiklikler ürün kalitesini ve dayanımını kesinlikle değiştirir ve pozitif veya negatif bir sonuç çıkarır. Şekil 4.1'de sac parçaların büküm sırasında alınabilecek referans bölgelerinin gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Sac parçaların kenar bükülmesi.

Farklı bükme prosesi ile sac metalleri, yalnızca iş çıktısında hassasiyet sağlamakla kalmayıp aynı zamanda daha estetik bir iş parçası ürünü sağlayan standart tekniklerle birlikte, aynı amaçla bükme açısı ve bükme yarıçapı bakımından farklılıklar ihtiva etmektedir. Aşağıda sac metal işlemlerinde bazı önemli bükme yöntemleri ve türleri belirtilmiştir.

1. V Bükme

V bükme, en yaygın sac metal bükme işlemidir. Bu bükme işleminde kullanılan kalıp V şeklinde bir kalıptır. Bükme için kullanılan zımba, metal levhaları bir V kalıbına bastırır ve sac metalin V bükümü bu şekilde elde edilir (Farsi M., 2011).

2. Rulo Bükme

Rulo sac bükme tekniği, sacları kavisli formlara bükmeyi içerir. Bu teknik, üç silindir, bir hidrolik pres sistemi ve bir frenin kullanımını içeren rulo bükme sac metal kriterlerini kullanır. Üç silindir arasındaki mesafe, üreticinin sacları eğriler halinde bükmesine olanak tanır.

3.U-Bükme

U bükme, V bükme yöntemine tam olarak benzerdir. Bu yöntem, U şekilli bir kalıpla birlikte U şekilli bir zımba kullanır. V bükme ile U bükme arasındaki tek fark, ortaya çıkan sacın V şekli yerine U şeklinde olmasıdır (Samuel, 2000).

4. Rotary Bükme

Döner bükme yöntemi, 90 dereceden daha büyük bir açıda bükmenin gerektiği her yerde kullanılır. V bükmeye de benzer olarak düşünülebilir, ancak bu işlemdeki çıktı daha

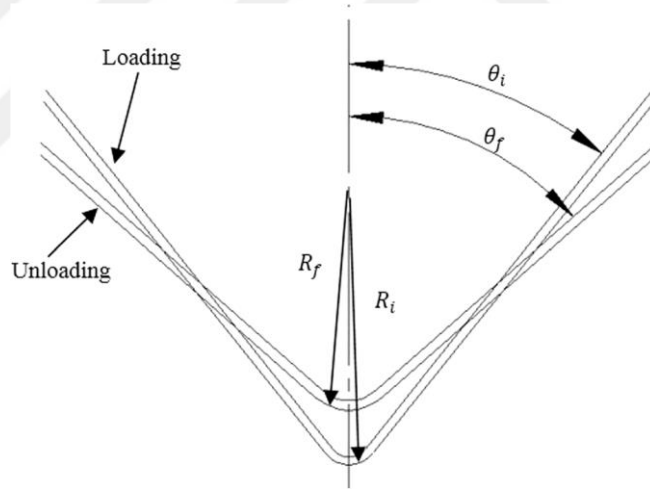
düzgün ve estetikdir çünkü bu yöntemde kullanılan metal sac bükme makinesi sacın yüzeyini çizmez (Pelton, 2013).

5. Çizgi Bükme

Bu kenar bükme sac metal tekniği, üreticinin kenarları hasar vermeden bükmesine yardımcı olur. Sac metal kenar bükme yöntemi, genellikle kalan metal parçadan daha kısa olan sac metal bölümlerinde kullanılır. Köşelerin keskinliğini ortadan kaldırmaya yardımcı olur ve sonucun estetik görünümünü artırır.

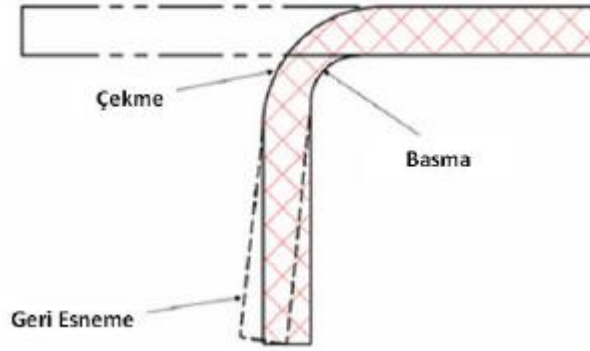
4.1. Büküm Geri Esneme Durumu

Geri esneme miktarı ve artık gerinimler, malzeme özelliklerinin yanı sıra temel olarak V şekilli kalıbın ve zımbanın geometrisine bağlıdır. Bükme işleminde takım tasarımının optimum seçimini sağlamak için üç öge anlaşılmalıdır. İlk olarak, zımba bir iş parçasına bastırıldığında bir hava bükümü meydana gelir ve ardından başlangıç aşamasına geri döner. İkincisi, metal bir zımba ucu yarıçapı ile damgalandığında dibe vurmaktır. Son olarak, metal bir zımba ile bir kalıp arasına tam olarak damgalandığında bükme gerçekleşir (Bkz. Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Büküm zımba parametrelerinin açısal gösterimi (Gattmah, 2019).

Büküm imalat prosesinde üç adımda sacın bükülebilirliği hakkında bahsetmek mümkündür. İlk olarak, zımba bir iş parçasına bastırıldığında bir ilk büküm meydana gelir ve ardından başlangıç aşamasına geri döner. İkincisi, metal bir zımba ucu yarıçapı ile damgalandığında şekilli kalıbın dibine vurmaktır. Üçüncüsü ise zımba ucu ile damgalanan metalin üzerinden zımba kuvvetini geri çekmektir. Bu üç olgunun şematize edilmiş hali Şekil 4.3 ile verilmiştir (Karaağaç, 2014).



Şekil 4.3. Geri esnemenin elastik izlenimi.

Sac ürünlerinde çoğunlukla ya da doğrudan büküm yöntemi ile yapılan imalat yöntemleri sac şekillendirme için önemli bir yer ihtiva etmektedir. Büküm ile üretilen parçalar genellikle ağır sanayi sektöründe kullanılmakla birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl işlem uygulayarak veya uygulamayarak elde edilen parçalar birbirinden farklı mekanik dayanıklılık ve özellikler sağlamaktadır.

Malzemeler için talaş kaldırmadan, belli bir eksenden uygulanan kuvvet ile şekillendirilmesi yapılır ve parça istenilen boyutlara ve ölçülere getirilmektedir. Plastik deformasyon oluşan parçada bir miktar geri esneme oluşmaktadır bu da parçada bazı istenmeyen ölçülere yol açmaktadır.

Sünek bir metali basınç veya kuvvet altında plastik olarak deforme edersek, basıncı veya kuvveti bıraktığımızda, yük altında son şekline göre plastik deformasyonun bir kısmı da rahatlar. Bükme operasyonlarında istenilen şekli dar toleranslarda elde edebilmek için bu etkiyi doğru hesaplamamız gerekir.

Ayrıca geri yaylanmayı, şekillendirme takımının iç açısının metal üzerine uygulanmasından sonra iş parçasının iç açısının artması olarak adlandırıyoruz. Bunu aşağıdaki formül 4.2 ile hesaplayabiliriz;

$$SB = \frac{a' - a'_p}{a'_p} \quad (4.2)$$

a' iş parçasının iç açısıdır ve a'_p takımın iç açısıdır.

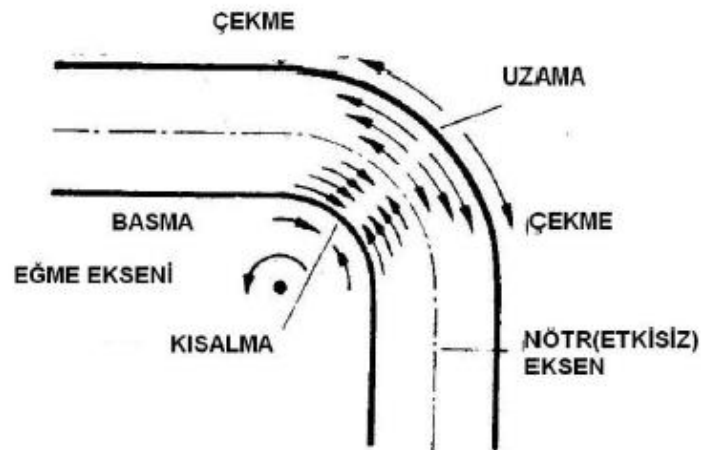
Büküm prosesinde zımba sırasında saca uygulanan yüzeyde basma gerilmeleri, sacın dış yüzeyinde çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Zımba yukarı dönüş yaptığı zaman bu gerilmeler terse dönüyor ve bu durum sac üzerinde deformasyonlara sebep oluyor. Zımba çapı arttıkça deformasyonda lineer olarak artmaktadır. Çünkü oluşan yüzey büyüdüğü için deformasyon gerilmesi köşelerde daha fazla kalıyor ve plastik

deformasyon etkileri fazlaca görünmektedir. Büküm işlemi sonrası parçada plastik deformasyon olduğu gibi elastik deformasyonda oluşmaktadır (Aydemir, 2017).

Otomotiv sektöründe yüksek mukavemete sahip malzemelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle sac malzemelerde yüksek mukavemet ve akma dayanımı ayrıca ilgilenilmiştir. Bu durum saclar için farklı mekanik testler ve izlemeler gerektirmektedir.

Büküm saclarında en önemli dezavantajlardan birisi geri esneme olarak adlandırılabilir. Geri esneme, sac şekillendirme sırasında parçada meydana gelen geometrik değişiklik olarak adlandırılabilir. Şekillendirilen parça ölçüsel olarak uygun halini bozmakta ve istenilen ölçülerde üretilememektedir. Bu durumu önlemek için birçok farklı yöntem vardır. Geri esnemeyi etkileyen bazı parametrelerin başı, kimyasal olarak parça yapısı, malzemenin metalürjik yapısı, sac kalınlığı (t), büküm yarıçapı ve malzemenin ısı durumu verilebilir. Geri esneme durumunda bu parametrelerde değişiklik yapılarak geri esnemeyi tolere edilebilmektedir (Karaağaç, 2014).

Sac metal şekillendirme endüstrisinde genellikle farklı üreticilerden temin edilen yassı malzemeler kullanılır. Malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri aynı standartlarda üretilse dahi üreticiden üreticiye farklılık gösterebilmektedir. Akma gerilimi, nihai gerilimler, uzama ve benzeri mekanik özelliklerin eğilme özelliklerini ve işlemlerini doğrudan etkilediği iyi bilinmektedir.



Şekil 4.4. Bükme eksenleri.

Makine ve kalıp aksamlarının imalatında, malzeme tedarikçilerinin verdiği mekanik özellik değerleri veya aralıkları olduğu gibi kabul edilir. Ancak ölçülen mekanik özellikler ile üretici firma tarafından sağlanan mekanik özellikler %10-15 arasında değişebilir. Bu, güvenlik faktörlerinin %5-10 oranında fazla tahmin edildiği, hatta bazı durumlarda %20'ye kadar çıktığı tasarımlara yol açmaktadır (Aydemir, 2017). Aksi durumda yetersiz güvenlik katsayıları kullanıldığında, gerekli bükme kuvvetleri

sağlanamayabilir ve numuneler hurda durumuna gelebilmektedir. Sac bükme işlemlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri geri esnemedir. Özellikle pressiz hava bükme tekniğinde birçok farklı faktörden dolayı daha yüksek geri esneme değerleri ortaya çıkmaktadır. Geri esneme aşağıdaki nedenlere bağlı olarak değişir.

- Sac malzeme kalınlığı
- Malzemenin kimyasal yapısı
- Malzeme mekanik özellikleri
- Şekil verme süresi
- Bükülme anında bekleme süresi
- Takım boyutları
- Bükülme kuvveti

Bükülme yarıçapı / malzeme kalınlığı (R/S) oranı büyükse, geri yaylanma miktarı da buna uygun olarak daha büyüktür. Geri esnemenin eğilme yarıçapı ile doğru orantılı olarak değiştiği ve bükülme yarıçapı arttıkça geri esneme miktarının arttığı bilinmektedir (Chan, 2004).

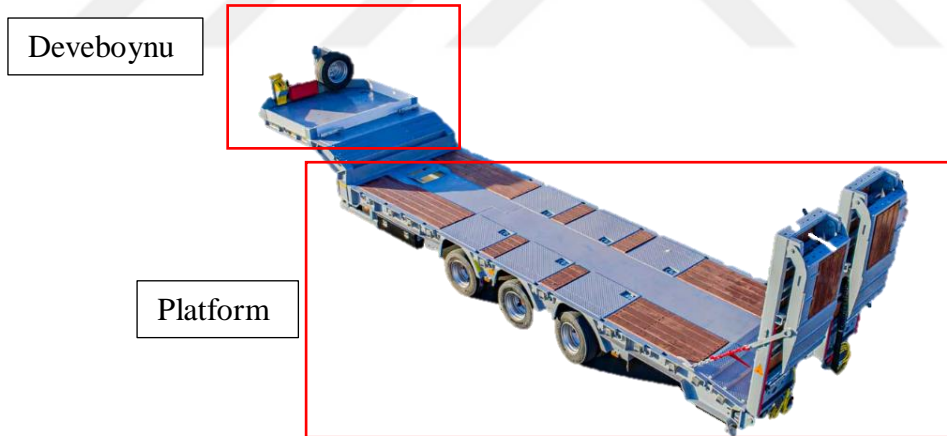
5. MATERYAL VE METOD

Yapılan fiziksel deneyler ve deneysel kurguya bağılı gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri neticesinde ortaya konulan bulgular aşağıda iki başlık halinde sunulmuştur.

5.1. Low-Bed Treyler Genel Bölümleri

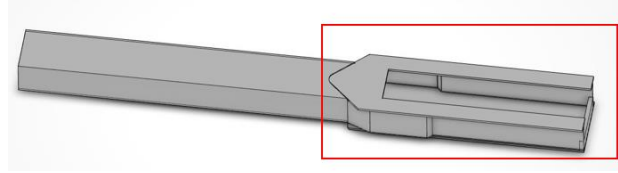
Şasi, treyler konteynerlerini yol üzerinde taşımak için kullanılan özel bir römork veya alt takımdır. Araç şasisi teknik olarak treylerin "iskeletidir". Treyler grubunda ana taşıyıcı gövdeye, "lonjeron" da denmektedir.

Ekskavatör gibi hacmi ve ağırlığı yüksek iş makinelerinin bir konumdan diğerine taşınımı süreçlerinde en sık kullanılan vasıta olan low-bed araçlarına yönelik mukavemet ve alan tasarrufu konuları ile ilgili araştırmalar günümüzde halen güncelliğini korumaktadır. Şekil 5.1 endüstriyel anlamda bir low-bed aracının yalın haliyle görselini ifade etmektedir. Buna göre bir low-bed aracı iki ana bölgeden oluşur. Birinci bölge; deveboynu (Gooseneck) bölgesi, çekici ile bağlantının yapıldığı ve genellikle yükün taşınmadığı bölge olarak tanımlanabilir. İkinci bölge ise platform bölgesidir ve yükün taşındığı ana şasi bölgesi olarak tanımlanabilir.



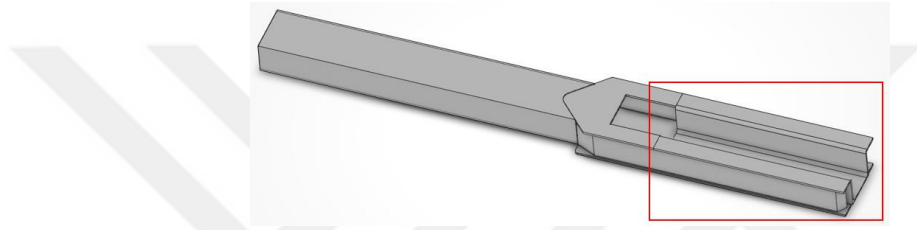
Şekil 5.1. Low-bed araçların genel yapısı

Şekil 5.1 ile genel gösterimi yapılmış low-bed aracının kaynak prosesi ile üretilmiş ana taşıyıcı şasisinin sadeleştirilmiş temel görünümü Şekil 5.2’de belirtilmektedir ve kırmızı çerçeve ile işaretlenmiş olan kısım, ekskavatör taşımacılığına uygun havuz bölgesidir. Treyler sistemlerinde genellikle kullanılan metot kaynaklı üretim metodudur. İşaretili bölgedeki havuz bölgesi, ana taşıyıcı sac üzerinde kırmızı çerçeve içerisine alınmış ve bölgede herhangi bir büküm prosesi ile üretilmiş imalat sacı bulunmamakta ve şasi tamamen kaynak prosesi ile oluşturulmaktadır.



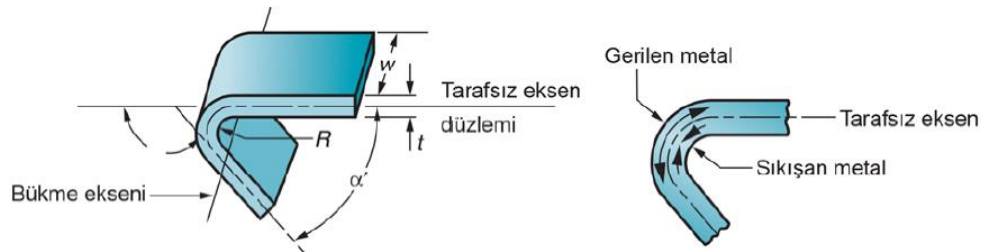
Şekil 5.2. Kaynak proses ile imal edilmiş ekskavator low-bed aracı şasisi.

Şekil 5.3’de ise low-bed araçlarının genel yapısında (Bkz. Şekil 5.1) belirtilen platform bölgesinden çıkarılmış ana taşıyıcı şasinin sadeleştirilmiş temel görünümü gösterilmektedir ve bu şaside kırmızı ile çerçeve içerisine alınmış olan bölgedeki ana taşıyıcı sac, büküm proses ile üretilmiş, U konstrüksiyon sacından oluşmaktadır.



Şekil 5.3. Büküm proses ile imal edilmiş ekskavator low-bed aracı şasisi.

Aynı ölçülerde bükümlü yöntem kullanılarak üretilmek istenen birden fazla treyler aracının her bir bileşeninin üretiminde kullanılacak olan abkant büküm işlemi sırasında özellikle K faktörü, zımba açısı, zımba radius değeri gibi parametre bilgileri önem arz etmektedir. Şekil 5.4’te bu büküm parametrelerinin gösterimi sac üzerinde şematize edilmiştir. Şekil 5.3’de bulunan büküm proses ile imal edilmiş ekskavator low-bed aracı şasisi, büküm parametreleri ile imalat sacları konfigüre edilerek, kaynaklı imalat ekskavator low-bed aracı lonjeron bölgesi ile aynı mekanik özelliklerle sahip olması sağlanmıştır.



Şekil 5.4. Büküm parametreleri.

Ekskavator taşımacılığı için treyler üreticilerinin farklı şekillerde havuz bölgesi yükleme alanı kazanımları mevcuttur. Fakat araç yükleme alanında yapılan iyileştirmeler

bu araçların, taşıma esnasında oluşabilecek deformasyonları da en aza indirmeye yönelik olmalıdır. Alan kazanımının yanında mali, mekanik ve mühendislik iyileştirmelerinin de senkronize olarak düşünülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, büküm prosesi ile üretilmiş havuz ve platform kısımları aşağıdaki verilen kriterlere göre yapılmıştır. Sıralanan maddelere göre üretim metotları arasında low-bed üretiminde önemli ölçekte kullanılan kaynaklı imalat yöntemi yerine, büküm imalat yöntemi ile şasi havuz bölgesi üretilmiş olan araçların mali, mekanik, alan ve işçilik proses kazanım durumlarına göre kıyaslamalı incelemeler yapılmıştır.

- Bükümlü üretilmiş şasinin deveboynu bölgesinde (ön yükleme bölgesi) araç yük dağılımı gerinim değerlerini inceleyerek buna bağlı şasi tiplerindeki sağlamlığı tespit etmek.
- Bükümlü üretilmiş şasinin platform bölgesinde araç yük dağılımı yapılmış olan mevcut araç (kaynaklı birleştirme uygulanmış) tasarımlarından mukavemet ve ergonomik olarak farklılıkları incelenip paketleme (araç üzerinde kullanılan aksesuarlara kalabilen alan) kontrollerini gerçekleştirmek.
- Bükümlü üretilmiş şasinin dingil ve makas kulağı bölgesindeki alt yapıda, büküm sayesinde oluşan kaynak ağızları kazanımlarını belirlemek.
- Bükümlü üretilmiş şasinin araç dingilleri manevra kabiliyetinin malzemedeki burulmaya etkisini incelemek.

5.2. Bükümlü ve Kaynaklı Treyler Şasisi Sonlu Elemanlar Analizi

Low-bed treyler araçları için yapılan statik ve dinamik analizler, yükleme senaryoları, şasiye üstten, alttan ve yanal verilen kuvvetler ve bu kuvvetlere gelen reaksiyon kuvvetleri ile oluşturulmaktadır. Şasi tasarımında daha yüksek sertlik ve mukavemet elde etmek ve aynı zamanda yapıların ağırlığını azaltmak zorlu bir iştir. Bu nedenle, sağlamlık görevini gerçekleştirmek için bileşenlerin veya yapıların optimizasyonu gerçekleştirilir. Bu optimizasyon çalışmaları genellikle analiz programları CAE (Computer Aided Engineering) ve test ünitelerinden gelen çıktılara göre yapılmaktadır ve temel mühendislik bilgileri kullanılmaktadır.

Analiz yapılırken taşıyıcı sacların malzeme özellikleri Tablo 5.1 ile verilmiştir.

Tablo 5.1 S700MC malzeme mekanik özellikleri

Malzeme	R _m (Çekme Dayanımı MPa)	Re (Akma Dayanım MPa)
S700MC	900	700

S700MC sacı için Tablo 5.2’de verilen malzeme alaşım oranları düşünülerek, uygun olan kaynak prosesleri, kaynak teli tipi, kaynak ağzı ölçüleri ve kaynak ısıl işlem durumları belirlenmelidir. Birleştirme yapılan low-bed şasi elemanları uygun kaynak metodu seçilmediği takdirde lokal/genel parça deformasyonu olmakta ve istenmeyen mekanik davranışlar oluşmaktadır. Yapılan analizler sırasında MIG kaynak prosesi kabul edilmiş ve gerekli kaynak kontakları atanmıştır.

Tablo 5.2 S700MC malzeme özellikleri

Malzeme	C(max%)	Si(max%)	Mn(max%)	P(max%)	S(max%)	Altot(min%)
S700MC	0.12	0.211	2.10	0.020	0.010	0.015

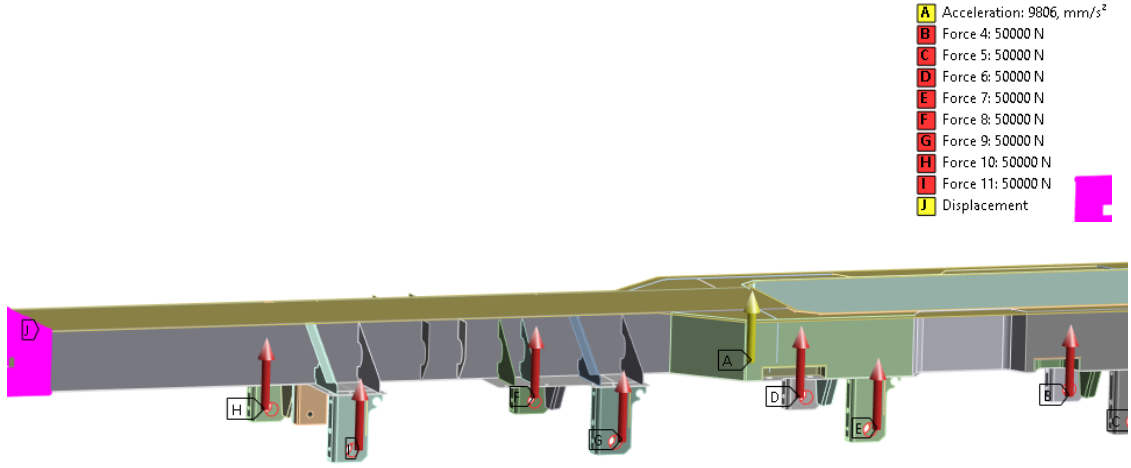
Analiz için yükleme senaryoları Tablo 5.3’de verilen üç fazda yükleme durumları, ANSYS programının structural (yapısal) analiz modülü kullanılarak analiz edilmiştir.

Tablo 5.3 Analiz senaryoları

Yüklemeler	Şasi Karşılaştırma
1 g Dikey Yükleme	Sehim, gerinim
2 g Dikey Yükleme	Sehim, gerinim
0.5 g Yanal Yükleme	Burulma

1 g dikey yükleme testinde:

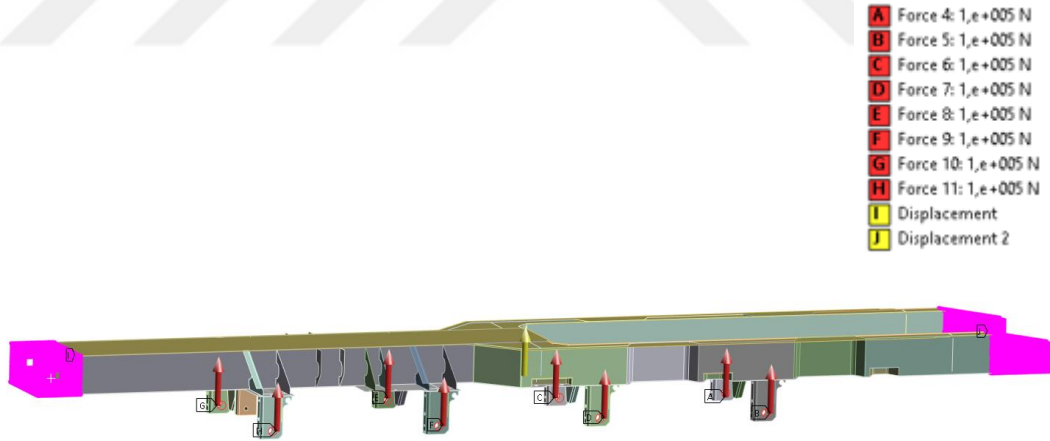
Araç aks bölümündeki her bir makas kulağı üzerinden şasiye aktarılan 1 g’lik yükün reaksiyon kuvvet karşılığını vermek için 50.000 N dikey kuvvet uygulanmış ve yapısal analiz sonuçları alınmıştır. Makas kulağı sayısı aks sayısının iki ile çarpılmış halidir. Analiz kapsamındaki şasi modellerinde 4 aks kullanılmaktadır. Şekil 5.5, kabul edilen yükleme g durumlarına göre makas kulaklarından uygulanan tepki kuvvetlerinin 1 g’lik sembolik gösterimidir.



Şekil 5.5. 1 g Makas kulağı kuvvet gösterimi.

2 g dikey yükleme testinde;

Araç aks bölümündeki her bir makas kulağı üzerinden şasiye aktarılan 2 g'lik yükün reaksiyon kuvvet karşılığını vermek için 100.000 N dikey kuvvet uygulanmış ve yapısal analiz sonuçları alınmıştır. Şekil 5.6, kabul edilen yükleme g durumlarına göre makas kulaklarından uygulanan tepki kuvvetlerinin 2 g'lik sembolik gösterimidir.

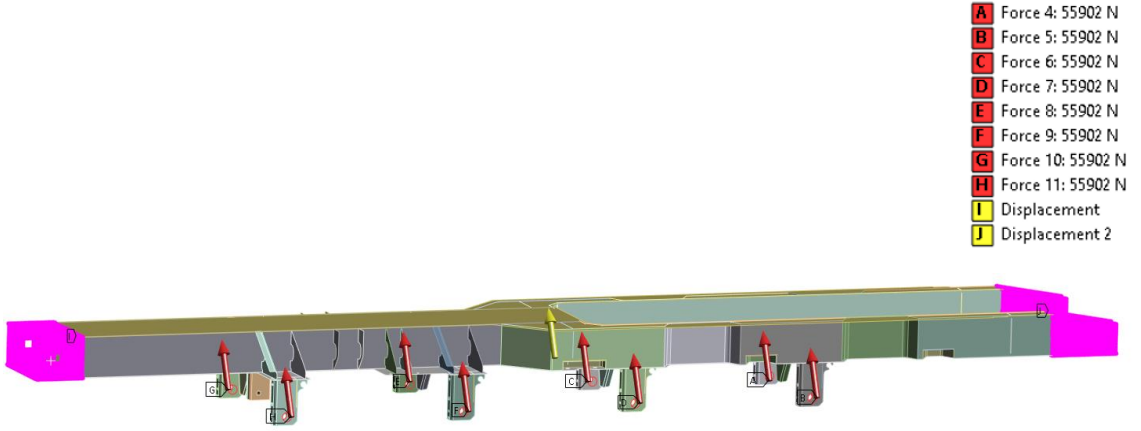


Şekil 5.6. 2 g Makas kulağı kuvvet gösterimi.

0,5 g yanal yükleme testinde;

0.5 g yanal yükleme testinde, şasinin makas kulağı kısımlarından 0.5 g yer çekimi ivmesi ile x-y ekseninde ortak 55902 N kuvvet uygulanmıştır. Araç lonjeronunun yanal kuvvetlere maruz kaldığı durumlar, araç hareket halinde iken yol profillerinden gelen tepkilere doğru orantılı olarak meydana gelmektedir. Şekil 5.7, kabul edilen yükleme g

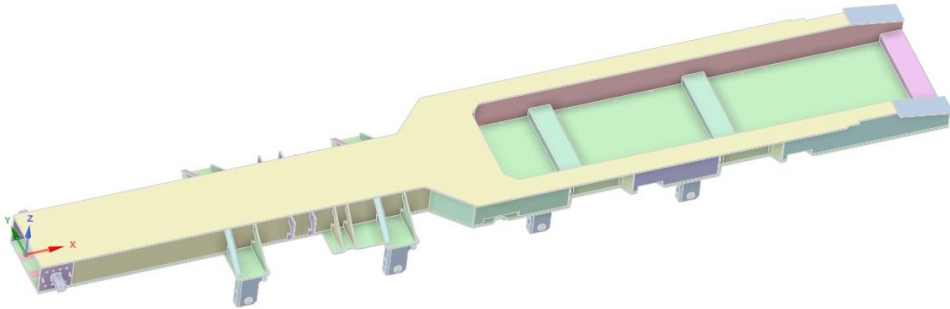
durumlarına göre makas kulaklarından uygulanan yanal tepki kuvvetlerinin 0.5 g'lik sembolik gösterimidir.



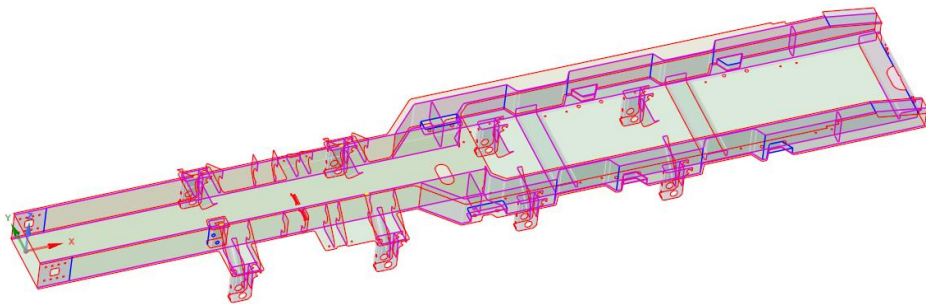
Şekil 5.7. 0.5 g Makas kulağı kuvvet gösterimi.

5.2.1. Kaynaklı araç modeli

Şekil 5.8 ve 5.9'da kaynakla birleştirilmiş şasi modelini ve analiz için hazır hale getirilmiş katı modeli bulunmaktadır.



Şekil 5.8. Kaynaklı şasi modelin sadeleştirilmiş gösterimi.



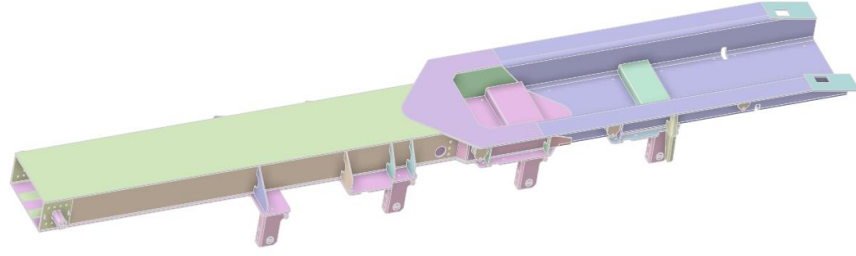
Şekil 5.9. Kaynaklı şasi modelin ANSYS surface yapısı.

ANSYS programına üç boyutlu model step formatı ile kaydedilerek ANSYS modelde oluşan program kaynaklı farklılıklar (çizgi, kopuk montaj ilişkileri, kaynak

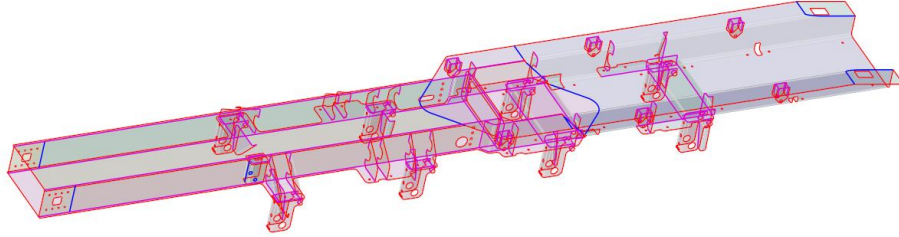
bölgeleri vb.) eşitlendikten sonra modeldeki komponentler kaynak detayları ile birleştirilmiştir. Montaj ilişkisi verilmeyen komponentler analiz sırasında sonuçları olumsuz etkilediği için diğer montaj parçaları sabit konumlandırılmıştır.

5.2.2. Bükümlü model

Şekil 5.10'da ise bükümlü proses ile üretilmiş low-bed şasi modelin sadeleştirilmiş ANSYS programı üzerinde oluşturulmuş üç boyutlu modeli mevcuttur.



Şekil 5.10. Bükümlü şasi modelin sadeleştirilmiş gösterimi.



Şekil 5.11. Bükümlü şasi modelin ANSYS surface yapısı.

ANSYS programına üç boyutlu model step formatı ile kaydedilerek Şekil 5.11'de analiz için hazırlanmış hali mevcuttur.

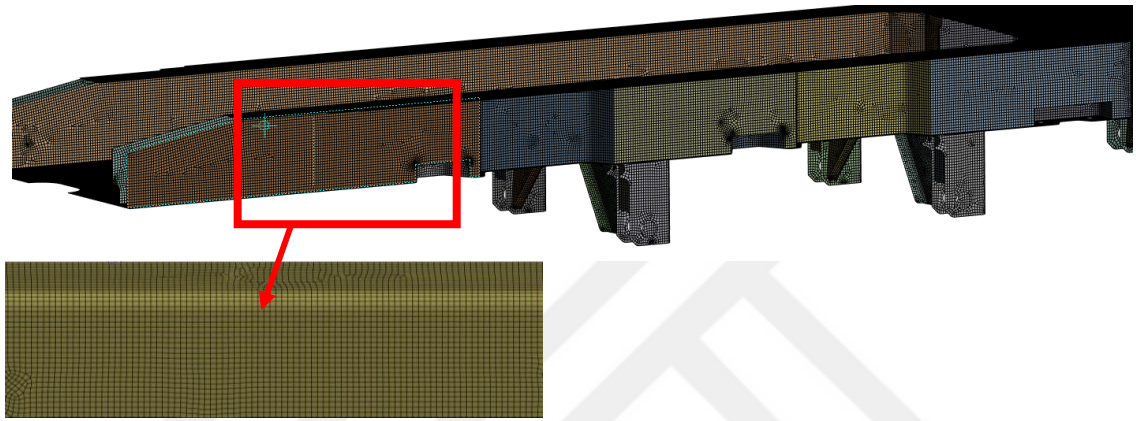
5.2.3. Mesh modelleme

Mesh, analiz programları üzerinde iki boyutlu ve üç boyutlu bir ızgara model oluşturma işlemidir. Her bir mesh hücresi için arka planda program içerisinde çalışan bir matematiksel formül vardır. Yapılan çalışmada 10 mm boyutunda mesh elemanları, şasilere uygulanmıştır. Tablo 5.4'de şasi mesh modelleme sonucunda oluşmuş ağ ve element sayıları paylaşılmıştır.

Tablo 5.4 ANSYS model mesh istatistikleri

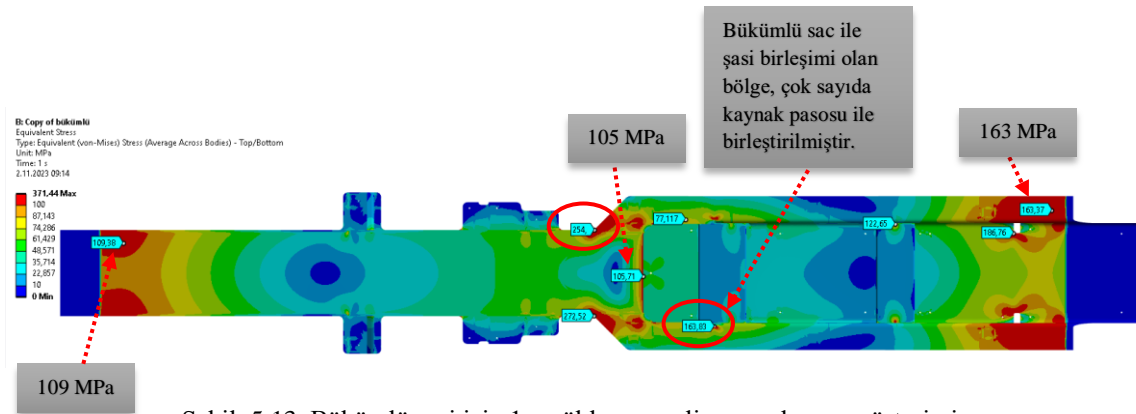
<i>Nodes</i>	200557
<i>Elements</i>	199356

Şekil 5.12’de ANSYS mesh modellemesi tamamlanmış low-bed şasisi sembolik olarak verilmiştir. Analiz senaryosu düşünüldüğünde, araç boyutları, sac kalınlıkları, kaynak bölgelerinin yoğunluğu düşünülerek mesh boyutları optimum seviyede tutulmuştur. Daha küçük boyutlarda verilecek mesh modelleri datayı yoracak ve analiz süresini uzatacaktır. Bu sebeple optimum seçilmiş mesh boyutları model üzerine uygulanmıştır.

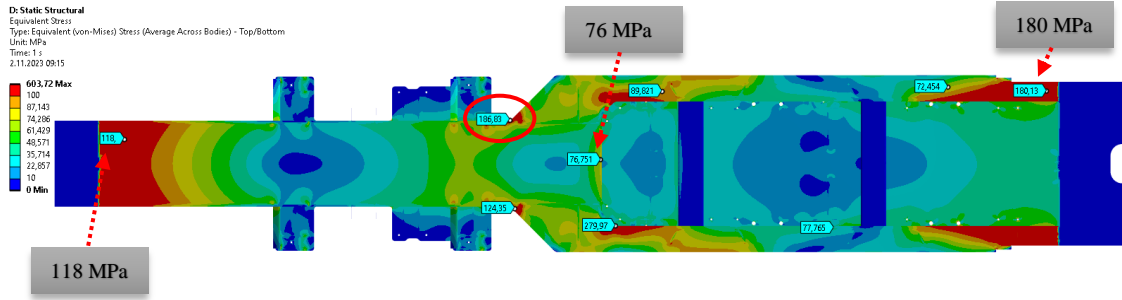


Şekil 5.12. ANSYS kaynaklı şasi mesh modeli.

5.2.4. 1 g Dikey yüklemeye analiz sonuçları



Şekil 5.13. Bükümlü şasi için 1 g yüklemeye analiz sonuçlarının gösterimi.



Şekil 5.14. Kaynaklı şasi için 1 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.

Şekil 5.13 ve 14’de ANSYS ortamında hazırlığı yapılmış, kaynaklı ve bükümlü proses ile üretilmiş iki tip low-bed şasisinin ayrı ayrı 1 g analiz senaryosu sonucunda oluşmuş gerinim değerleri gösterilmiştir. Buna göre gerinim değerleri S700MC sacının akma değeri olan 700 MPa’dan aşağıda kaldığı için şasilerin ikisi de 1 g senaryosunda herhangi bir akma durumu olmamakta yani gelen yüklere karşı dirençli olduğu bulunmuştur. Şasi gerinim değerleri incelendiğinde şasinin sabitlendiği ön kısımlara gelen analiz sonucundaki gerinim değerleri bükümlü şasi için 109 MPa, kaynaklı şasi için 118 MPa olarak gerçekleşmiştir. Şasi boyutları düşünülerek yükün verildiği makas kulağı bölgesi ile şasi ön ve arka sabitlenmiş bölgelere olan uzaklık değişimi, oluşacak moment değişimine bağlı bu değerleri etkilemektedir. Şasi gerinim değerleri incelendiğinde şasinin sabitlendiği arka kısımlarına gelen analiz sonucundaki gerinim değerleri; bükümlü şasi için 163 MPa, kaynaklı şasi için 180 MPa değerlerinde gerçekleşmiştir.

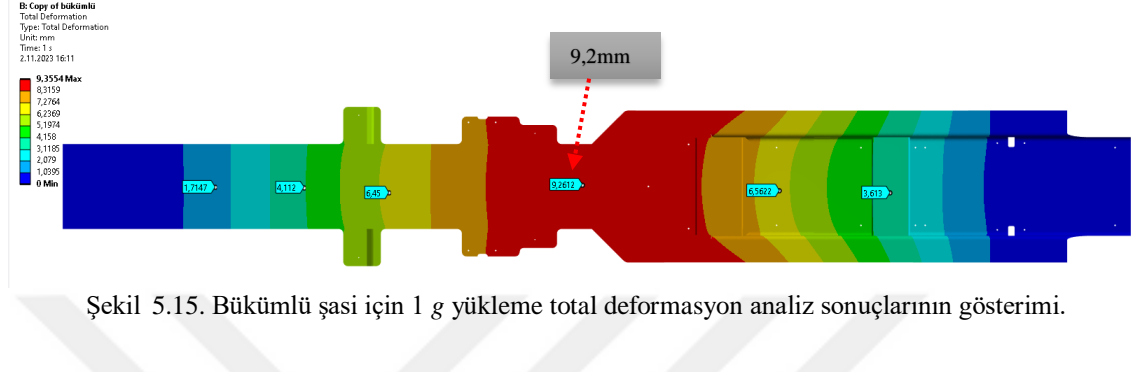
Şasinin çoğu yükü taşıdığı ve bizim için asıl low-bed şasilerinin dayanıklı olmasını beklediğimiz merkez kısımlarına gelen analiz sonucundaki gerinim değerleri; bükümlü şasi için merkezde 105 MPa, kenarlarda 250 MPa, kaynaklı şasi için merkezde 76 MPa ve kenarlarda 180 MPa değerleri ortaya çıkmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, bükümlü şaside Şekil 5.13’de gösterilen bükümlü sac ile şasi birleşimi noktasında çok sayıda kaynak pasosu ile birleştirilmiş kaynak bölgesi görülmektedir. Bu da bükümlü şaside o bölgenin çok rijit ve uygun kaynak uygulaması yapılması gerektiğini göstermektedir. 163 MPa gelen gerinim değeri o bölgede bir hassasiyet olduğunu ve o bölgenin yük için daha sağlamlaştırılması gerektiğini göstermektedir.

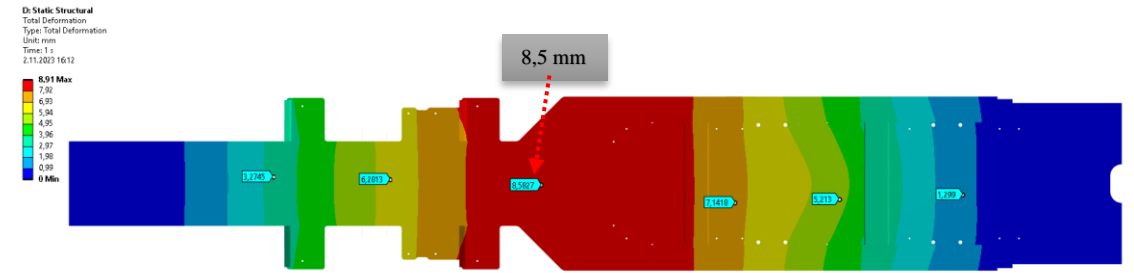
Total deformasyon:

Şekil 5.15 ve 16’da kaynaklı şasi ve bükümlü şasi için 1 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi mevcuttur. Bu analiz sonucunda lonjeronun önünden ve arkasından sabitlenmiş durumda, en fazla dikey ekseninde yer değişikliği olan bölge

şasilerin ağırlık merkezi ve yükün eşit dağıldığı reaksiyon kuvveti bölgesinde oluşmaktadır. Bu durumda da kaynaklı proses ile üretilmiş low-bed şasisi 1 g analiz senaryosu için 0.7 mm daha az yer değişikliği yapmaktadır. Kaynaklı birleştirilmiş şasilerde sac kalınlık değerlerinin yapılacak kaynağın sağlığı açısından daha yüksek olması gerekliliği dolayısıyla gerçekleşen deplasman daha az olmuştur.



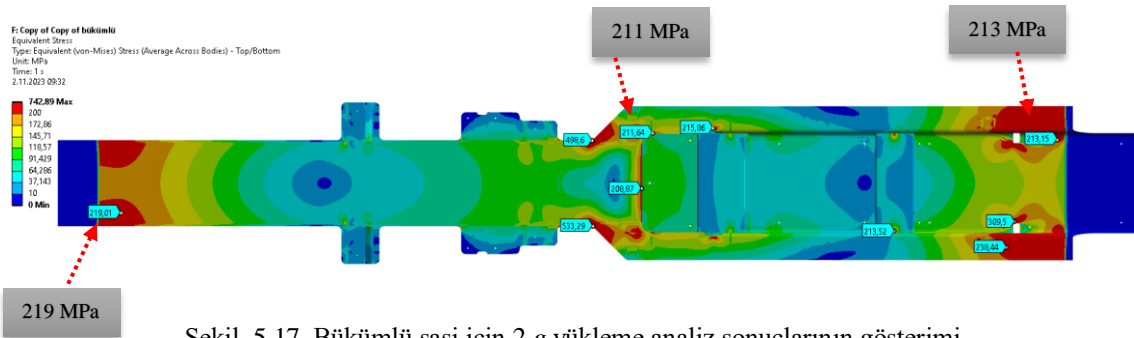
Şekil 5.15. Bükümlü şasi için 1 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.



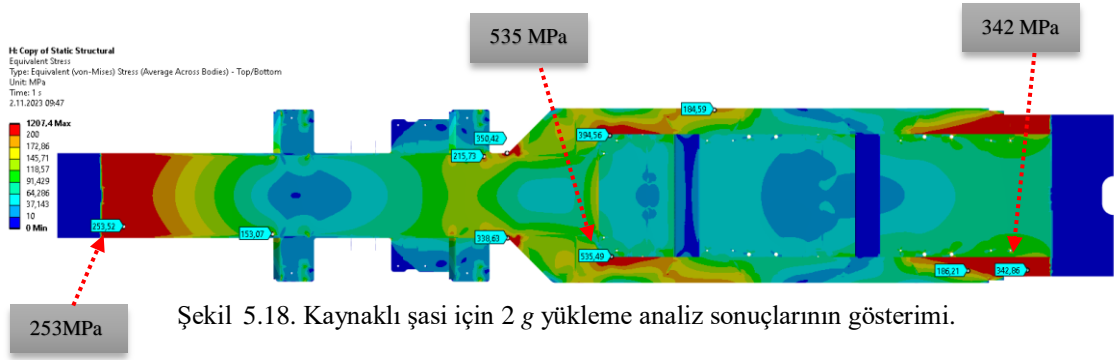
Şekil 5.16. Kaynaklı şasi için 1 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.

5.2.5. 2 g Dikey yükleme analiz sonuçları

Şekil 5.17 ve 18'de ANSYS ortamında hazırlığı yapılmış, kaynaklı proses ile ekskavatör havuz bölgesi üretilmiş ve büküm proses ile ekskavatör havuz bölgesi üretilmiş iki tip low-bed şasisinin ayrı ayrı 2 g analiz senaryosu sonucunda oluşmuş gerinim değerleri mevcuttur.



Şekil 5.17. Bükümlü şasi için 2 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.

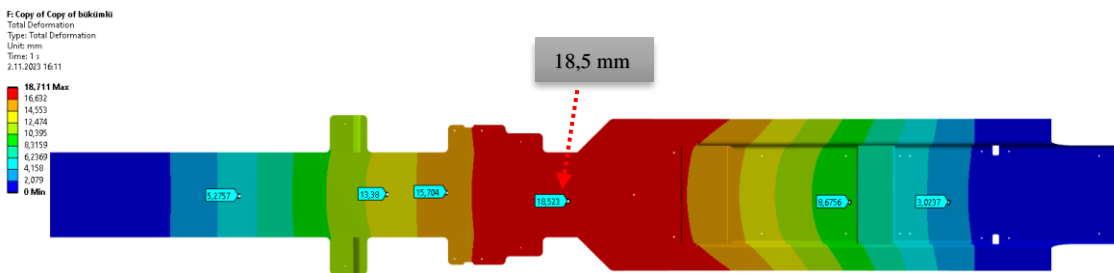


Şekil 5.18. Kaynaklı şasi için 2 g yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.

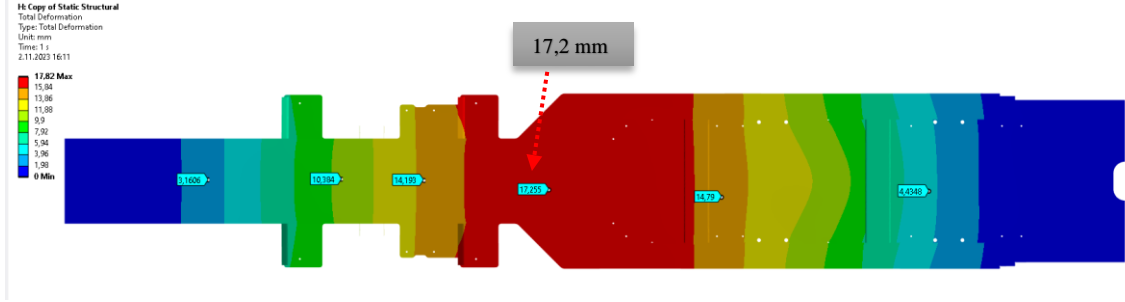
Şasi gerinim değerleri incelendiğinde şasinin sabitlendiği ön kısımlarına gelen analiz sonucundaki gerinim değerleri; bükümlü şasi için 219 MPa, kaynaklı şasi için 253 MPa ölçülmektedir. Şasinin sabitlendiği arka kısımlarına gelen analiz sonucundaki gerinim değerleri; bükümlü şasi için 213 MPa, kaynaklı şasi için 342 MPa ölçülmektedir. Şasinin çoğu yükü taşıdığı ve bizim için asıl low-bed şasilerinin dayanıklı olmasını beklediğimiz merkez kısımlarına gelen analiz sonucundaki gerinim değerleri; bükümlü şasi için 211 MPa, kaynaklı şasi için maksimum 535 MPa ölçülmektedir. Kaynaklı şasi için gelen yüksek gerinim değeri o bölgede çentik etkisi ile yükü dağıtacak bir radius olmaması durumundan dolayı oluşmaktadır ve S700MC sacı için halen bir sorun oluşturmamaktadır.

Bu analiz sonuçlarına bakıldığında, artık 2 g yer çekimi senaryosunda kaynaklı modelin yük dağılımının bükümlü modele göre daha az yapılabildiği gözlemlenmektedir. Çünkü, kaynaklı modelde kaynak ağzı ve sac kesim metotları gereğince keskin köşeler, bükümlü modele göre daha fazla ve yük dağılımını yapabileceğimiz radius geçişler daha az bulunmaktadır. Bu da keskin köşelerde daha fazla stress oluşturmaktadır. Ayrıca kaynaklı model bükümlü modele göre 300 kg daha fazla olması da genel olarak stress değerlerini artırmaktadır.

Total deformasyon:



Şekil 5.19. Bükümlü şasi için 2 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.

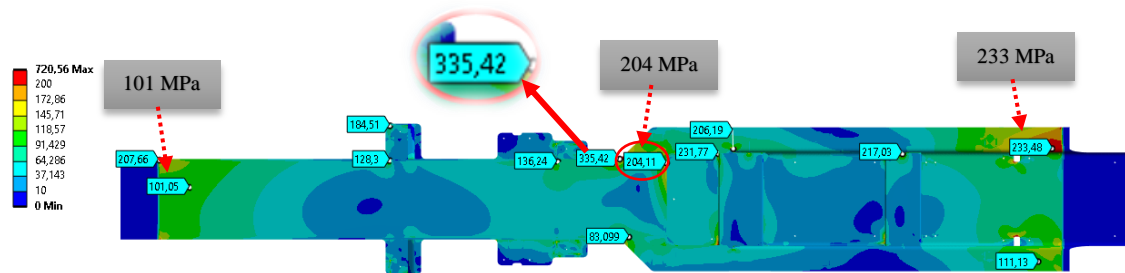


Şekil 5.20. Kaynaklı şasi için 2 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.

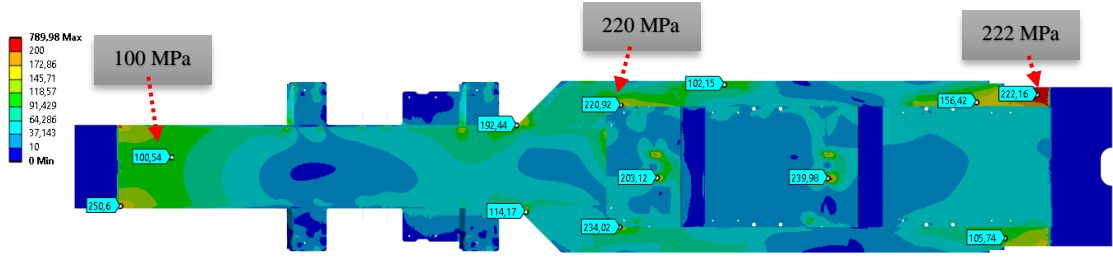
Şekil 5.19 ve 5.20 analiz sonuçlarına bakıldığında kaynaklı şasi için 2 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi ve bükümlü şasi için 2 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi mevcuttur. Bu analiz sonucunda lonjeronun önünden ve arkasından sabitlenmiş durumda, en fazla dikey ekseninde yer değişikliği olan bölge şasilerin ağırlık merkezi ve yükün eşit dağıldığı reaksiyon kuvveti bölgesinde olmaktadır. Bu durumda da kaynaklı proses ile üretilmiş low-bed şasisi 2 g analiz senaryosu için 0.7 mm daha az yer değişikliği yapmaktadır. Bu da 1 g senaryosu ile benzerlik göstermektedir. Kaynaklı şasi halen daha az yer değişikliği göstermektedir. Bu durum y ekseninde gelen gerinimlerin şasi kafes yapısını bozmadığını ve senaryonun 1 g yer çekimi senaryosu ile benzerlik göstermektedir.

5.2.6. 0.5 g Yanal kuvvet senaryosu analiz sonuçları

Şekil 5.21 ve 5.22’de ANSYS ortamında hazırlığı yapılmış, kaynaklı proses ile ekskavator havuz bölgesi üretilmiş ve büküm proses ile ekskavator havuz bölgesi üretilmiş iki tip low-bed şasisinin ayrı ayrı 0,5 g yanal 55902N yüklenmiş analiz senaryosu sonucunda oluşmuş gerinim değerleri mevcuttur.



Şekil 5.21. Bükümlü şasi için 0,5 g yanal yükleme analiz sonuçlarının gösterimi.

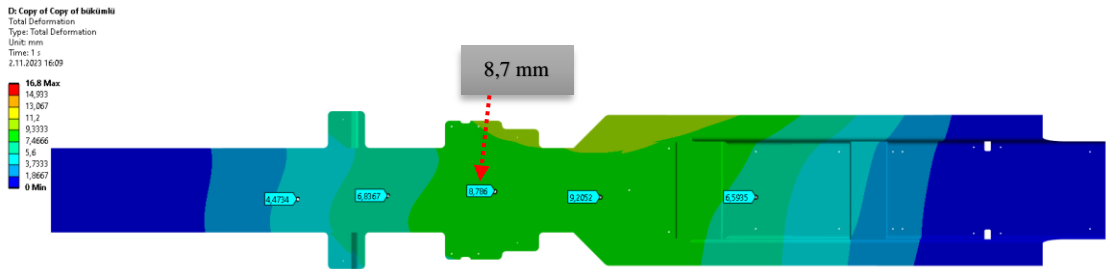


Şekil 5.22. Kaynaklı şasi için 0,5 g yanal yüklemeye analiz sonuçlarının gösterimi.

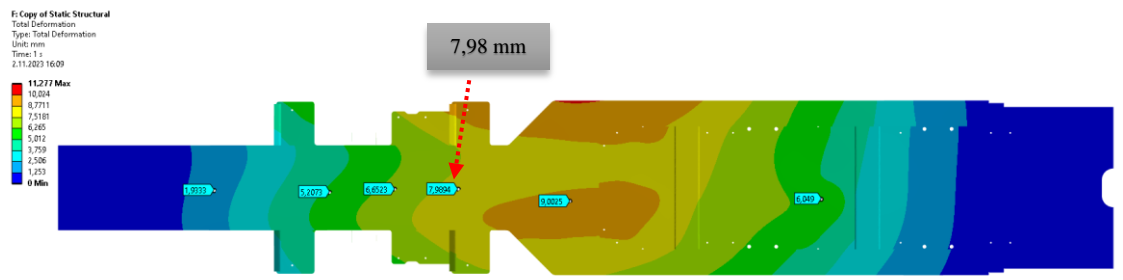
0,5 g yanal senaryoya bakıldığında şasi üzerinde referans gerinim değerleri benzer oluşmaktadır. Bükümlü proses ve kaynaklı prosesle üretilmiş şasiler üzerinde referans bölgelere bakıldığında gerinim sonuçlarında değerler yakın ve S700MC için sorun oluşturmayacak şekilde oluşmaktadır. Bu 0,5 g yanal senaryoda asıl zorlanma şasi alt kısmında yükün uygulandığı bölge olan makas kulaklarında oluşmaktadır. Şasilerin önünde ve arkasında sabitlenmiş şasi bölgelerinde, kaynaklı prosesle üretilmiş low-bed şasi ve bükümlü prosesle üretilmiş low-bed şasi arasında ± 15 MPa gerinim farkı görülmektedir. Bu da mesnet noktası ve makas kulağı bölgelerinin mesafelerindeki küçük değişikliklerden meydana gelmektedir.

Yanal yükün verildiği alt makas kulaklarının konumu şasi üzerindeki meydana gelen gerilmelerde ufak farklar oluşturmaktadır. 335,42 MPa değeri şasi bölgesinin arka havuz ile birleştiği bölgeye denk gelen yoğun kaynak bölgesidir. 0,5 g yanal kuvvet uygulanan alt makas kulağı ile çok yakın bölgede olduğu için ekstra gerinim oluşmaktadır. Fakat totale bakıldığında yine hiçbir gerinim değeri şasiyi plastik deformasyona uğratabilecek kadar yüksek değildir.

Total Deformation:



Şekil 5.23. Bükümlü şasi için 0,5 g yanal yüklemeye total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.



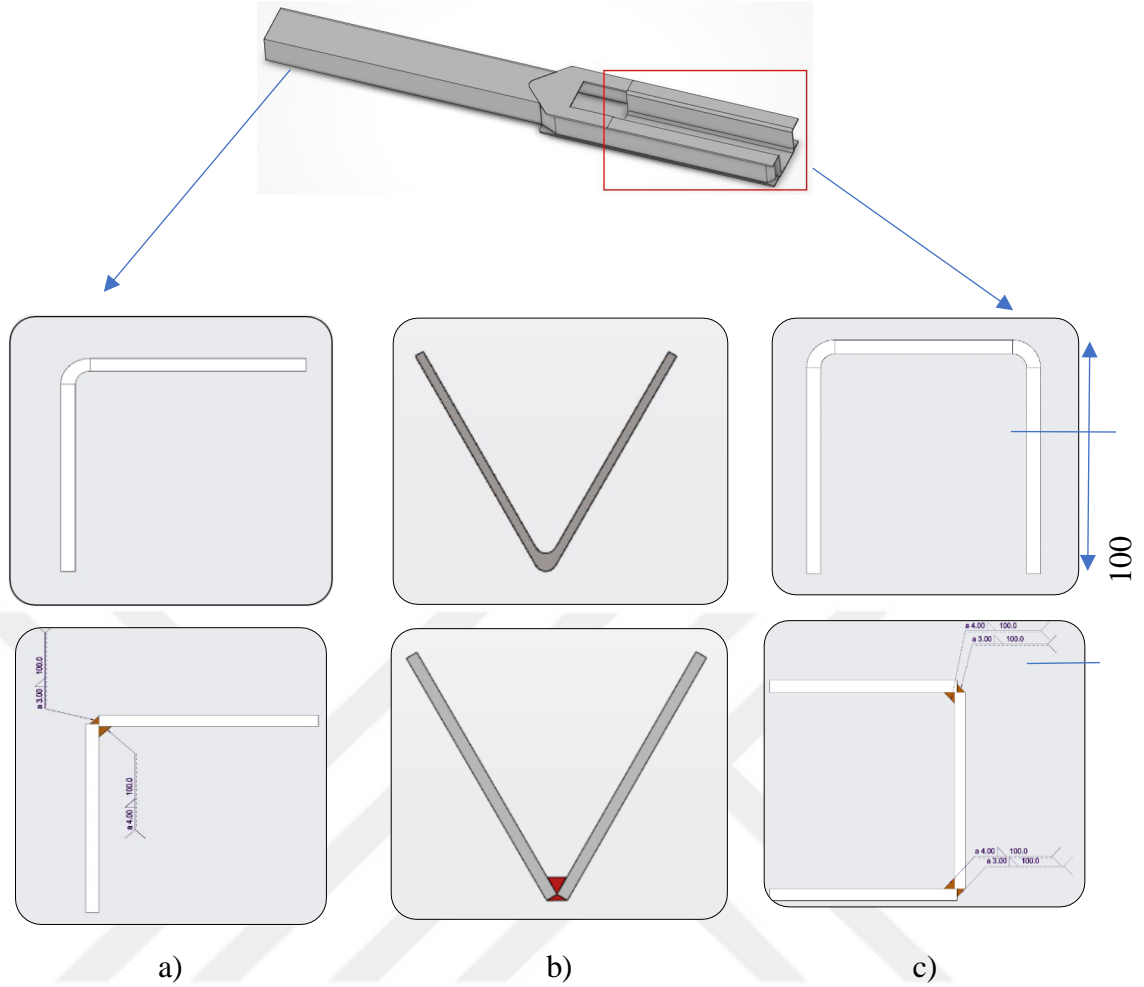
Şekil 5.24. Kaynaklı şasi için 0,5 g yanal yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi.

Şekil 5.23 ve 5.24'e bakıldığında kaynaklı şasi için 0,5 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi ve bükümlü şasi için 0,5 g yükleme total deformasyon analiz sonuçlarının gösterimi mevcuttur. Bu analiz sonucunda lonjeronun önünden ve arkasından sabitlenmiş durumda, en fazla dikey ekseninde yer değişikliği olan bölge şasilerin ağırlık merkezi ve yükün eşit dağıldığı reaksiyon kuvveti bölgesinde olmaktadır. Şasi ağırlık merkezlerine bakıldığında 0,7 mm gibi bir fark oluşmaktadır. Bu da normal sehim aralıklarındadır.

5.3. Kaynaklı ve Bükümlü Konstrüksiyon Braketlerin Hidrolik Testleri

Low-bed araçlarının şasi analizlerine ek olarak, standart konstrüksiyon parçaları için çekme ve basma testleri yapılarak low-bed havuz bölgesi U konstrüksiyon olan ekskavator aracı haricinde de sac profillerinin hidrolik çekme ve basma testleri ile yapılan çalışmanın diğer konstrüksiyon profilleri için de genişletilmesi sağlanmıştır. Üretim sektöründe ve low-bed treyler sisteminde sık kullanılan standart ölçülerdeki L, U, V standart konstrüksiyon parçaları için analizler, testler, mekanik ve mali incelemeler yapılmıştır. Şekil 5.25'de low-bed ekskavator taşıyıcı aracın referans olarak gösterilmiş, büküm ile üretilmiş şasi bölümünde kullanılmış olan referans olarak gösterilmiş U, L ve V konstrüksiyon profil bulunmaktadır. Low-bed araç modelinde analizini yaptığımız ana taşıyıcı olarak kullanılan U sac yerine, sektörde diğer low-bed araçlarda sık kullanımı olan V, L konstrüksiyonların da mekanik yapısını incelemek için U, L, V saclara çekme ve basma testleri hidrolik test ünitesinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.25'te bulunan V, L ve U profil braketin büküm tekniği ve kaynak tekniği ile üretilmiş numunelerin şekilde gösterildiği gibi 100 mm dirsek boyu bulunmaktadır.



Şekil 5.25 Büküm ile üretilmiş low-bed aracı şasi ve sac gösterimi.

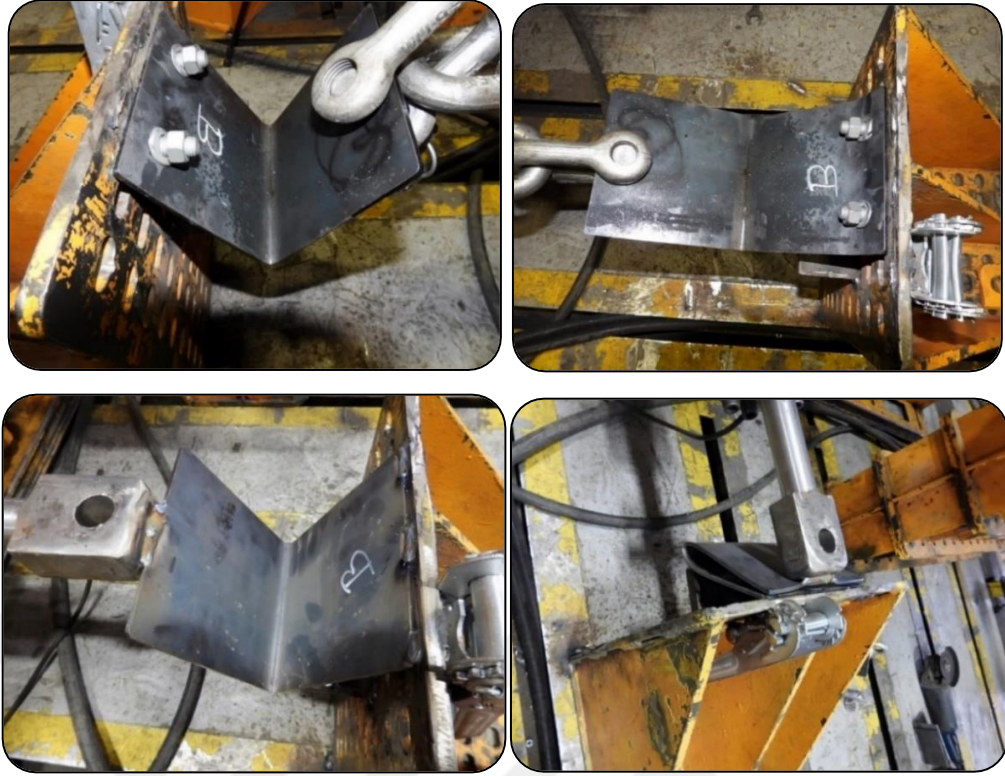
- a) L konstrüksiyon büküm ve kaynaklı sac gösterimi.
- b) V konstrüksiyon büküm ve kaynaklı sac gösterimi.
- c) U konstrüksiyon büküm ve kaynaklı sac gösterimi.

Yapılan deneysel çalışmada V, U, L profil saclardan aynı ölçüler ile üretilmiş hem kaynak proses ile birleştirilmiş hem de büküm proses ile üretilmiş toplamda 12 adet parça bulunmaktadır. V, L ve U konstrüksiyonlar için 2'şer adet bükümlü ve kaynaklı olarak oluşturulan numuneler, çekme ve basma testleri için aynı ölçülerde hazırlanmıştır. Çekme ve basma testlerinden hidrolik tahrikli silindir sistem vasıtasıyla anlık olarak kuvvet-zaman (kN-sn) ve kuvvet-deformasyon (kN-mm) değerleri alınmıştır.

Tüm oluşturulmuş bükümlü numuneler abkant bükme makinasında $\varnothing 5$ zımba bıçağı ile bükülmüştür. Ayrıca tüm kaynaklı numuneler MIG köşe kaynağı prosesi ile üretilmiştir. Kaynak prosesi sırasında Tablo 5.5'de verilmiş olan detay değerlerine sahip aristorod elektrot kullanılmıştır ve ön ısıtma prosesi olmadan üretim gerçekleştirilmiştir.

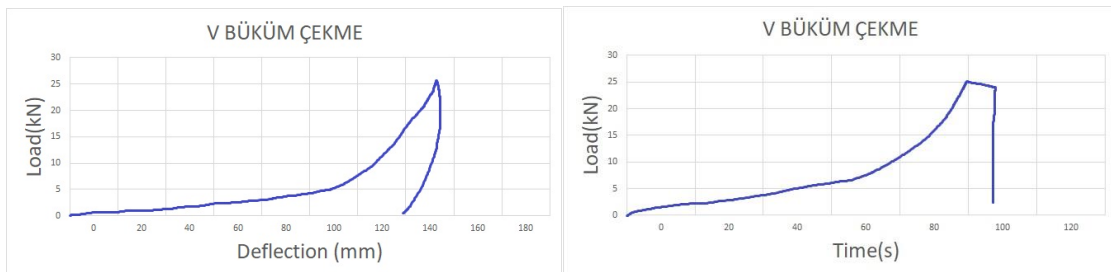
Tablo 5.5 Aristorod (12.62) malzeme özellikleri

VV	Rm	Re	Rmt	Ret	E	v
AristoRod	625	570	625	570	-	-



Şekil 5.27. Büküm prosesle üretilmiş “V” parçanın çekme ve basma deneyi

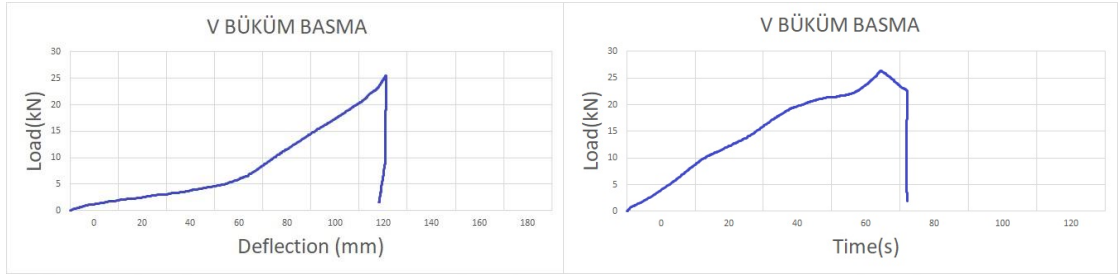
Büküm yöntemiyle üretilmiş V profilli numunenin hidrolik test düzeneği aracılığıyla gerçekleştirilen çekme ve basma deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak Şekil 5.28 ve 5.29’deki grafikler oluşturulmuştur. Deney sırasında uygulanan kuvvetlere bağlı numunelerin tepkisel davranışına bakıldığında; V büküm çekme testinde yaklaşık 26 kN civarında grafik pik değere ulaşmıştır. Bu durumdan sonra doğrudan kopma süreci yaşanmıştır. Çekme testinde uygulanan maksimum kuvvete karşın yaklaşık 140 mm uzama meydana gelmiştir. Malzeme kopma değerine kadar rijit bir şekilde şekil bozukluğuna uğramış ve ardından yaklaşık 88 sn sonra kopma gerçekleşmiştir.



Şekil 5.28.V büküm parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.

Basma testi sonuç değerlerine bakıldığında malzeme ortalama 26 kN kopma değerlerine kadar lineer bir şekilde uzama yaşayarak deformasyona uğramıştır. Bükümlü

üretmiş V profilli parçanın basma testi sonucu ezilecek mesafesi kalmadığından test cihazının gücü manuel olarak kesilmiştir. Basma testinde malzeme daha az bir mesafede test edilmektedir çünkü çekme testinde malzeme uzamakta iken basma testinde malzeme iki sıkıştırma sistemi arasında kalmaktadır. Basma testinde toplamda 110 mm basma aralığı kullanılmıştır. Bu mesafede parça üzerine hidrolik test düzeneğinden ortalama 60 sn kuvvet uygulanmış olmaktadır.



Şekil 5.29. V büküm parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.

5.3.2. Kaynak proses ile üretilmiş “V” konstrüksiyon deneyi

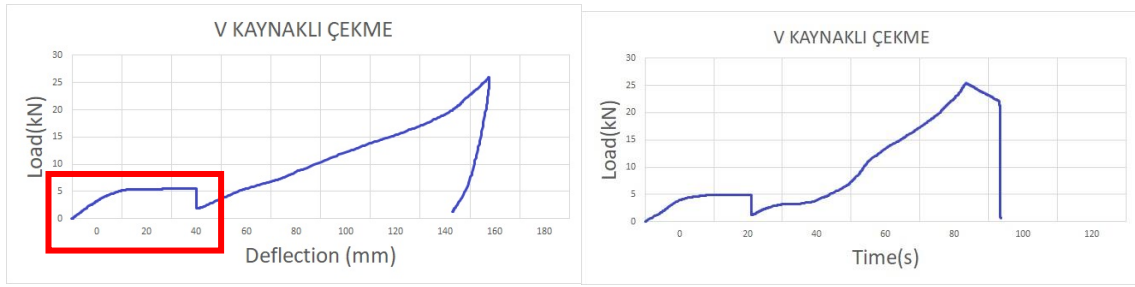
Şekil 5.30’da kaynaklı proses ile üretilmiş V konstrüksiyon parçaları hidrolik test düzeneğine çekme ve basma testleri ile deforme edilmesi için bağlanmıştır ve ardından zamana bağlı deformasyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.30. Kaynak Proses İle Üretilmiş “V” Konstrüksiyon Çekme ve Basma Deneyi

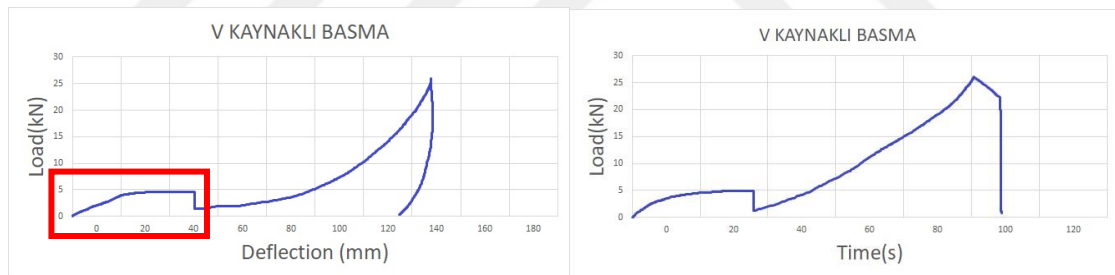
Hidrolik test düzeneği sonucunda alınan grafik değerleri, V konstrüksiyon numunenin basma ve çekme testi için kaynağın mekanik olarak davranışını ve malzeme

formunun malzemenin akma ve çekme deformasyon testine nasıl etki ettiğini göstermektedir.



Şekil 5.31. V kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme grafik değerleri

Şekil 5.31 ve 5.32’de V kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneğinden elde edilmiş grafik değerleri mevcuttur. Malzemenin kaynaklı proses ile üretilmiş halinde, daha önceden plastik deformasyona uğramamış saclardan kaynak dikişi ile birleştirme sağlandığı için grafikte, büküm ile üretilmiş V konstrüksiyon numuneye göre farklar mevcuttur. Kırmızı ile işaretlenmiş bölgeler malzemenin plastik deformasyona uğradığı ilk yeri göstermektedir. Parça dayanımı gereği çekme ve basma deneyinde ortalama 26 kN değerinde kopma gerçekleşmiştir.

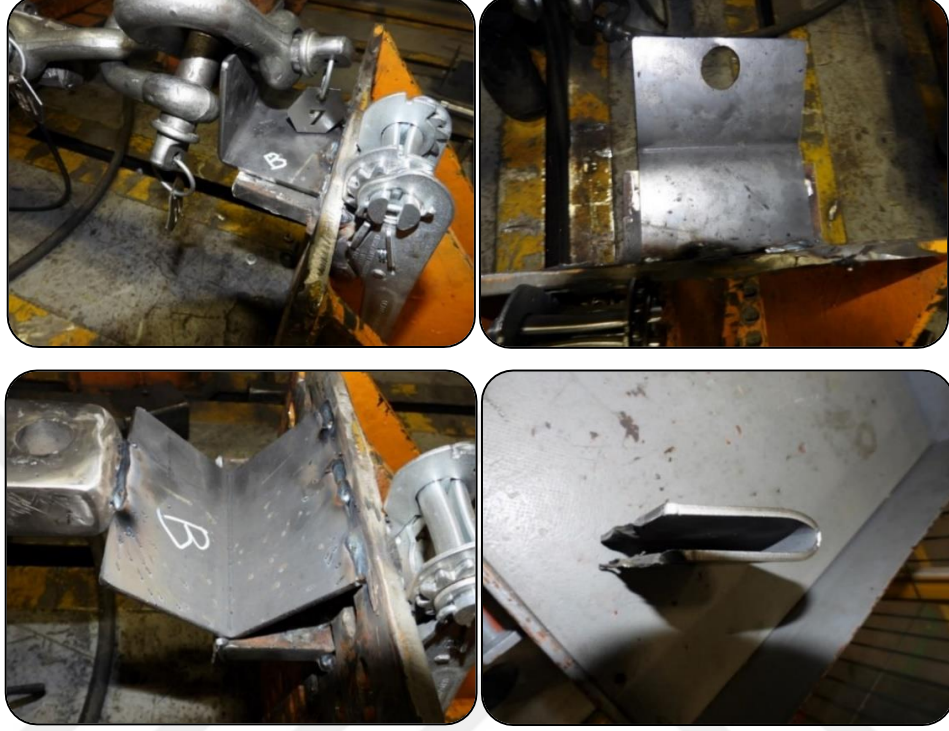


Şekil 5.32. V kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.

Test sonucunda V konstrüksiyon parçada ortalama 150 mm uzama meydana gelmiştir ve hidrolik test düzeneğinden kuvvet 84 sn kadar uygulanmıştır. Kopma öncesi elastik uzama durumu söz konusudur. Basma deneyinde ise, parça ortalama 130 mm kadar basma uzaması meydana gelmektedir ve bu uzama durumuna ortalama 90 sn kuvvet uygulama sonucu ulaşmaktadır. Kırmızı işaretlenmiş olan grafik bölgesinin sonrasında kuvvet(kN) düşüşü yaşayarak bükümle üretilmiş parçanın değerlerine benzer seyretmektedir. Bu bölge malzeme çekme testi ile benzer bir durumun olduğunu yani numunenin ilk etapta akma noktasına kadar kuvvetin çıktığını sonrasında elastik olarak uzama durumu meydana geldiği bulunmuştur.

5.3.3. Büküm proses ile üretilmiş “L” konstrüksiyon deneyi

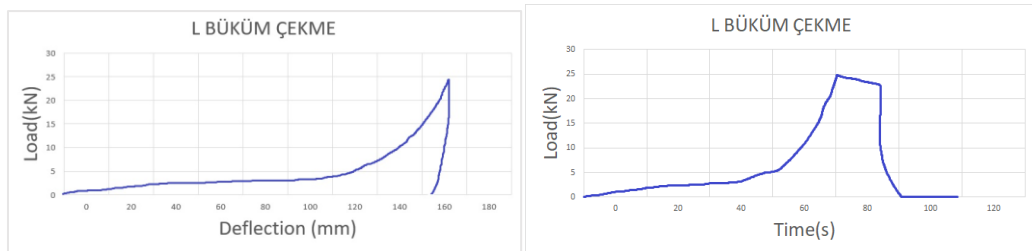
Şekil 5.33’de bulunan L konstrüksiyon büküm proses ile üretilmiş parçanın çekme ve basma deneyi için hazırlanmış halleri ve hidrolik olarak kuvvet uygulandıktan sonra deformasyona uğramış halleri bulunmaktadır.



Şekil 5.33. Büküm prosesle üretilmiş “L” parçanın çekme ve basma deneyi.

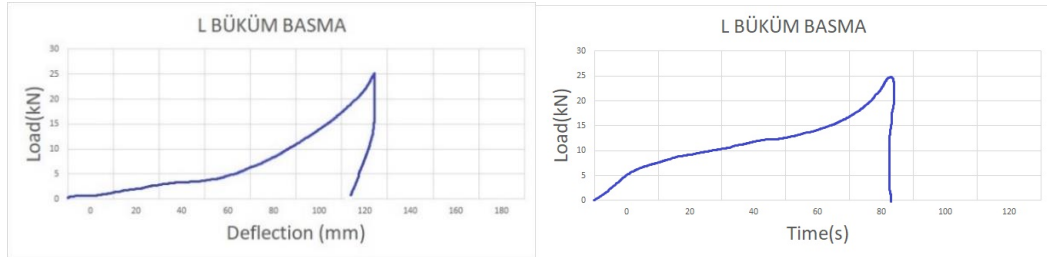
Parça formu ve şekli gereği basma testinde yükün direk sabitleme kaynak dikişlerine gelmemesi için numune büküm bölgesine dik şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 5.34’de L konstrüksiyon büküm prosesi ile üretilmiş numunenin hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri mevcuttur.

Grafik değerlerine bakıldığında, L büküm çekme grafiğinde ortalama 70 sn sonra 160 mm ile parça maksimum uzama seviyesine gelmiştir. Malzeme özelliklerine bakıldığında diğer testler ile benzer bir senaryo ile parça 25 kN seviyelerinde deformasyonun maksimum değerinde kalmıştır. Parça 5 kN ve 120 mm uzama sonrası deformasyonu yavaşlamaya başlamakta ve süneklik değerinin sonuna gelmektedir.



Şekil 5.34. L büküm parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.

Şekil 5.35’de L konstrüksiyon büküm prosesi ile üretilmiş numunenin hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri mevcuttur. L büküm basma testinde, numune ortalama 120 mm seviyelerinde kopma yaşamaktadır. 26 kN değerleri numunenin kopma öncesi ulaştığı maksimum kuvvet değeri olarak ölçülmüştür. Numune ortalama 80 sn kuvvete maruz bırakılmıştır.



Şekil 5.35. L büküm parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.

5.3.4. Kaynaklı proses ile üretilmiş “L” konstrüksiyon deneyi

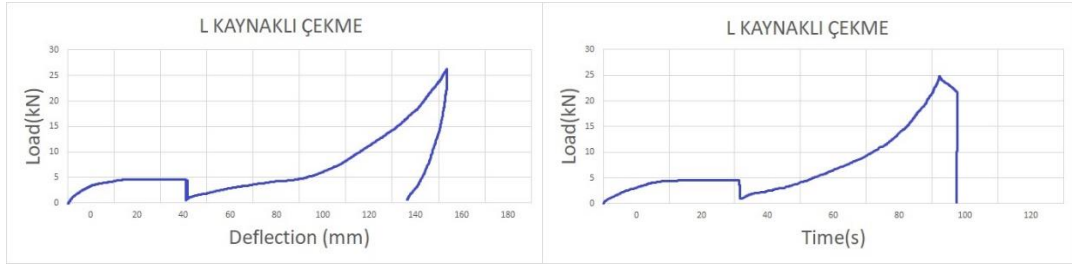
Şekil 5.36’da kaynak proses ile üretilmiş “L” konstrüksiyon parçanın çekme ve basma deneyi ve deney sonu malzemenin deformasyona uğramış hali bulunmaktadır.



Şekil 5.36. Kaynaklı prosesle üretilmiş “L” parçanın çekme ve basma deneyi.

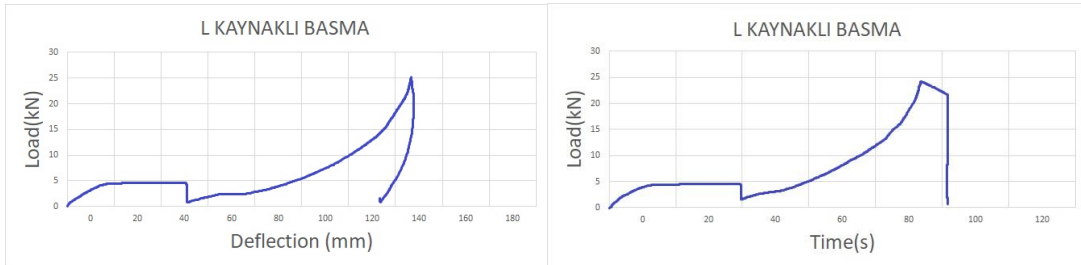
Şekil 5.37’de L konstrüksiyon kaynak prosesi ile üretilmiş numunenin hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri mevcuttur. Grafik değerleri incelendiğinde, parça çekme testinde parça ilk etapta kaynak bölgesinde 5 kN akma değerine kademeli

olarak çıkmaktadır. 5 kN değerine ulaştıktan sonra kaynak dikişi plastik deformasyona uğradığı için kademeli olarak elastik davranış göstererek kırılma noktasına kadar ortalama 140 mm kopma uzamasını 89 sn de gerçekleştirmektedir. 5 kN değerine kadar çıkan çekme testi, ardından 5 kN bandından elastik şekil değiştirmeye uğrayarak bükümlü üretilmiş numuneler gibi davranmaktadır.



Şekil 5.37. L kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.

Şekil 5.38’de L kaynaklı parçanın test düzeneğinden alınmış basma testi grafik değerleri mevcuttur. Basma test düzeneğinde de benzer senaryo mevcuttur. Basma testinde numune ölçüleri gereği çekmeye göre daha az bir mesafe 120 mm kadar kuvvet 80 sn boyunca uygulanmıştır. Çekme ve basma arasında parça deformasyon kuvvetleri açısından benzer kN değerleri mevcuttur.



Şekil 5.38. L kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.

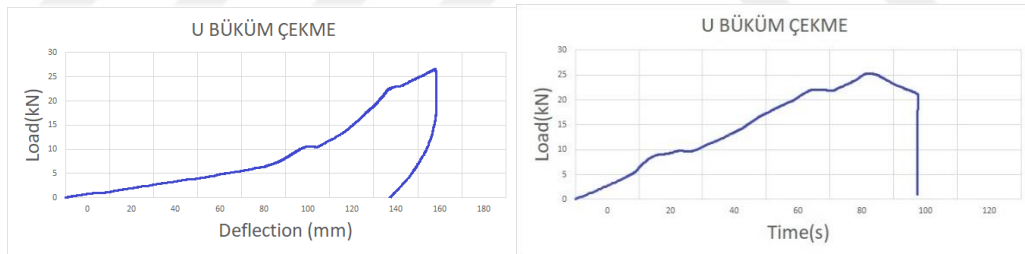
5.3.5. Bükümlü proses ile üretilmiş “U” konstrüksiyon deneyi

Şekil 5.39’da bulunan U konstrüksiyon büküm proses ile üretilmiş parçanın hidrolik silindir test cihazında çekme ve basma testi için hazırlanmış hali ve kuvvet uygulandıktan sonra deformasyona uğramış hali bulunmaktadır.



Şekil 5.39. Büküm prosesle üretilmiş “U” parçanın çekme ve basma deneyi.

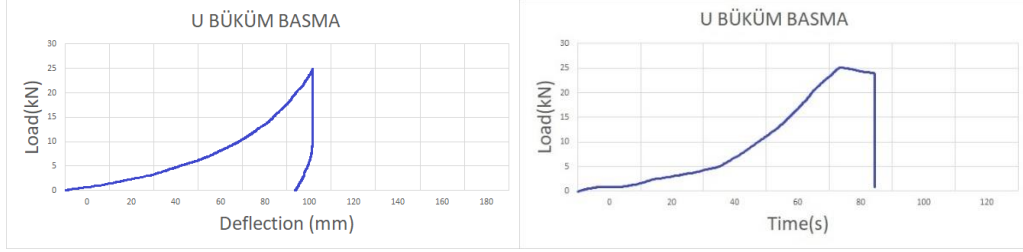
Şekil 5.40’da U konstrüksiyon büküm prosesi ile üretilmiş numunenin hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri mevcuttur. U bükümlü proses ile üretilmiş parçanın hidrolik test düzeneğindeki test değerlerine bakıldığında, U büküm çekme değerlerinde 5 kN değerine kadar uzamanın hızlı olduğu ve 5 kN değerinden sonra lineer olarak uzamanın kuvvete göre azaldığı izlenmektedir.



Şekil 5.40. U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.

Şekil 5.41’de U konstrüksiyon büküm prosesi ile üretilmiş numunenin hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri mevcuttur. U bükümlü proses ile üretilmiş parçanın hidrolik test düzeneğindeki test değerlerine bakıldığında, U büküm çekme değerlerinde 5 kN değerine kadar uzamanın hızlı olduğu ve 5 kN değerinden sonra lineer olarak uzamanın kuvvete göre azaldığı izlenmektedir. Basma testi için ise çekme testi ile benzer kN-mm değerleri alınmıştır. Parça test kuvvetleri sonucunda ortalama 160 mm çekme uzaması gerçekleştirmekte ve 26 kN maksimum kuvvete ortalama 80 sn de gelmektedir. Parçanın formu gereği U profil 2 bölgeden büküme uğradığı için bükümlü bölgeler daha önceden plastik şekil değiştirmeye uğraması durumundan dolayı 20 sn ve

60 sn çekme test değerinde, U profilin 90° bükümlü bölümlerinde değer dalgalanmaları görülmüştür. Basma deneyinde de 25 kN değerinde kuvvet pik değerine ulaşmaktadır ve ortalama 68 sn de parça basma sonucunda deformasyon tamamlanmıştır. Parça formu gereği basma testinde 100 mm kadar bir hareket alanı mevcuttur.



Şekil 5.41. U büküm parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.

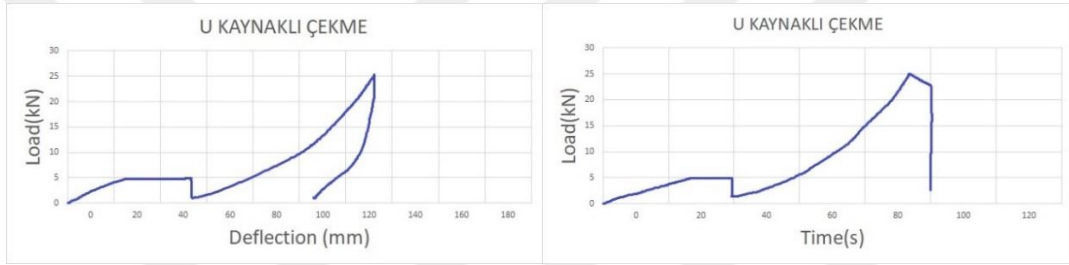
5.3.6. Kaynaklı proses ile üretilmiş “U” konstrüksiyon deneyi

Şekil 5.42’de bulunan U konstrüksiyon kaynak proses ile üretilmiş parçanın hidrolik silindir test cihazında çekme ve basma testi için hazırlanmış hali ve kuvvet uygulandıktan sonra deformasyona uğramış hali bulunmaktadır.



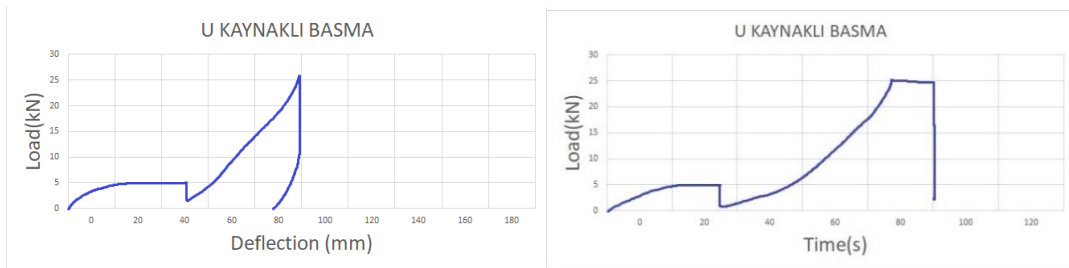
Şekil 5.42. Kaynaklı prosesle üretilmiş “U” parçanın çekme ve basma deneyi.

Şekil 5.43’de U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneğinden elde edilmiş çekme testi grafik değerleri mevcuttur. Grafik değerlerine bakıldığında V, L konstrüksiyonlar gibi 5 kN değeri parçanın deformasyon için eşik değeri olduğu anlaşılmaktadır. 5 kN değerine bakıldığında ilk etapta diğer, V ve L profiller gibi plastik deformasyon değerini aştıktan sonra lineer olarak artan bir grafikte karşı karşıya kalmaktayız. Grafik değerleri incelendiğinde, parça çekme testinde parça ilk etapta kaynak bölgesinde 5 kN akma değerine kademeli olarak çıkmaktadır. 5 kN değerine ulaştıktan sonra kaynak dikişi plastik deformasyona uğramaktadır ve 120 mm kopma uzaması ortalama 80 sn sürede gerçekleştirmektedir. 5 kN değerine kadar çıkan çekme testi, ardından 5 kN bandından elastik şekil değiştirmeye uğrayarak, kN değerlerinde 2 kN’a kadar düşüş meydana gelmekte ve ardından bükümlü üretilmiş numuneler gibi davranış göstermektedir.



Şekil 5.43. U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği çekme testi grafik değerleri.

Şekil 5.44’de U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneğinden elde edilmiş basma testi grafik değerleri mevcuttur. Basma test düzeneğinde de benzer senaryo mevcuttur. Basma testinde numune ölçüleri gereği çekmeye göre daha az bir mesafe 95 mm uzama durumuna kadar kuvvet 80 sn boyunca uygulanmıştır.



Şekil 5.44. U kaynaklı parçanın hidrolik test düzeneği basma testi grafik değerleri.

6. SONUÇ

Şasi ağırlıkları incelendiğinde kaynaklı proses ile üretilmiş ekskavatör low-bed şasisinin toplam ağırlığı, kaynak çekmeleri, kaynak elektrotu ve kaynak çekme etkilerinin daha az olması maksatlı daha kalın S700MC sacı kullanıldığından ortalama 300 kg daha ağır olmaktadır. Kaynaklı low-bed şaside meydana gelen gerilmeler aracın ağırlık merkezi baz alındığında, kaynak metalinden gelen ekstra ağırlıklardan dolayı, aracın ekskavatör havuz bölgesini daha ağır yapmakta ve bu ekstra ağırlığa ilaveten aracın şasi ve tekerleklerden aldığı reaksiyon kuvvetlerinden dolayı 0.5 g (yanal), 1 g (sehim), 2 g (sehim) ve toplam deformasyon değerleri incelendiğinde daha fazla gerilme meydana gelmektedir. Daha açık ifadeyle herbir g etkisine örnek olarak 1 g analiz senaryosu için; bükümlü proses ile üretilmiş low-bed modelde en yüksek gerilme 253 MPa, kaynaklı proses ile üretilmiş low-bed modelde ise en yüksek gerilme 279 MPa değerine kadar ulaşmaktadır. Dolayısıyla kaynaklı low-bed şasilerde g değişkenine bağlı gerilme değerleri bükümlüye göre yaklaşık %10 daha fazla gerilme almaktadır.

Bükümlü low-bed şaside ise büküm bölgesi, punch büküm ile daha önceden plastik deformasyona uğratarak gerekli ölçülere ve forma getirildiği için araç için hem daha hafif hem de daha az işçilik ihtiva etmektedir. Bükümlü model, kaynaklı şasi ile birleşim yerlerini daha düzgün ve büküm toleranslarını daha iyi ayarlayarak şasiye en az kaynak pasosu atılacak şekilde tasarlanmalıdır. Maliyet ve işçilik gibi etkenlerde daha avantajlı olmaktadır. Kaynaklı şaside saclar plastik deformasyona daha önceden uğramadığı için kaliteli ve uygun kaynak prosesi ile bükümlü şasiye göre daha dayanıklı olmaktadır. Bunun yanı sıra işçilik ve maliyet açısından kaynaklı modeller çok daha maliyetli olmaktadır. Analizlerin genel sonucu olarak kaynaklı low-bed şasi modeller, bükümlü şasi modellere göre daha yüksek gerilmelere maruz kalmakta fakat en doğru kaynak uygulaması yapıldığı takdirde daha dayanıklı oldukları ifade edilebilir. Tüm analiz senaryolarında en çok alınan gerilme değeri, kaynaklı üretilmiş low-bed modelde 2 g analiz senaryosunda 535 MPa olarak gerçekleşmekte ve S700MC sacı için akma değerinin çok altında kalmaktadır.

Low-bed şasilerinde kullanılan profillerin detaylı fiziksel testleri incelenerek simülatif ortamda gerçekleştirilen bütünsel analizlerin çıktıları deformasyon değerlerine bağlı kıyaslanarak analizin doğruluğu kontrol edilmiştir. Buna göre V, U, L konstrüksiyon büküm ve kaynaklı proses ile üretilmiş numuneleri hidrolik piston test düzeneği ile çekme ve basma tahribatlı teste tabi tuttuğumuzda sonuçlar tutarlı ve birbiri ile malzeme yapısı gereği benzer sonuçlar oluşmaktadır.

Çekme testleri incelenme aşamasında numunelerin tamamı için 5 kN değeri akma deformasyon bölgesi olarak kabul edebilmiştir. Bükümlü proses ile üretilmiş V, U, L konstrüksiyon malzemeler için, abkant pres büküm makinasında 5 mm zımba ile bükülen parçalar, abkant makinasında akma değeri olan 5 kN bandını aştıktan sonra ortalama 25 kN değerine kadar kopma uzaması gerçekleştirmektedir. Kaynaklı proses ile üretilmiş numunelerin grafik değerlerine bakıldığında, şekil değişikliği ilk etapta 5 kN değerine kadar zamana ve kuvvete göre daha yavaş olmaktadır ve 5 kN akma değeri aşıldığında ortalama 2 kN değerine kuvvet düşüşü yaşanmaktadır. Ardından numuneler bükümlü proses ile üretilmiş numuneler ile benzer tepki göstererek ortalama 25 kN değerine kadar kopma uzaması gerçekleşmektedir. Buna göre; bükümlü parçalar kırılma ve basılma darbelerine kaynaklı üretilmiş numunelere göre daha hızlı tepki verip deformasyona daha kolay uğramaktadır. Kaynaklı modellerin, kaynak parametreleri ve kaynak prosesi doğru yapıldığı takdirde daha mukavim olduğu, ilk etapta darbeleri elastik olarak karşılayabildiği görülmektedir. Ardından kuvvet artırıldığında elastik şekil değişikliği plastik şekil değişikliğine dönüşerek lineer olarak, bükümlü üretilmiş numuneler gibi davrandığı tespit edilmiştir.

Kaynaklı üretim metotları genel olarak düşünüldüğünde, maliyet, ISG, zaman, mekân gibi koşulları büküm prosesinden daha zor ve dezavantajlı olduğu ortadadır. Bükümlü üretim metodunda ise büküm yapılabilen parçalar büküm prosesin doğası gereği daha basit ve daha az komplikedir. Low-bed araçları için standart formda V, U ve L konstrüksiyonlar seçildiğinde şasi üzerinde sac formu kaynaklı benzer mekanik özellikler oluşacaktır. Parçanın formu önem arz etmektedir ve konstrüksiyonun ataleti düşünülerek şasi oluşturulmalıdır. Kaynaklı proses ile üretilen parçalar daha mukavim, daha maliyetli ve kompleks parça üretimi için daha fazla olanak sağlamaktadır. Bükümlü üretim metodu ise hızlı, maliyet açısından avantajlı, seri imalata daha uygun, mukavemet gereği maruz kalacağı yüklere göre iyi hesaplamalar gerektirmekte ve uzmanlık istemektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2005, Kaynak Dikişlerinin Mukavemet Hesabı, <https://aydin.imo.org.tr/Eklenti/6955,kaynak-dikislerinin-mukavemet-hesaplaripdf.pdf>, 1-8.
- Anonim, 2006, Kaynak Tekniği Ders Notları, Bilecik Üniversitesi, 1-28.
- Anonim, 2013, Sac Şekillendirme İşlemleri, Hitit Üniversitesi, 1-11.
- Aydemir F., 2017, Abkant Preslerde Büküm Parametrelerinin Tespiti, Uludağ Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2-8.
- Canteli J.A., 2008, Experimental identification of thermo-mechanical model for air bending, Elsevier Science, Spain, 267-275.
- Chan W.M., 2003, Finite element analysis of spring-back of V-bending sheet metal forming processes, Journal of Material Processing, Singapore, 15-19.
- Demiray, 2014, Kaynaklı İmalatta Proses Öncesi Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizler Ve Deneysel Doğrulama, Balıkesir, 1-4.
- Essa A, Nasr M, Ahmed M., 2016, Variation of residual stresses and springback in sheet bending form plane-strain to plane-stress condition using finite element modelling, Proceeding of 17th International AMME. Military Technical College, 37-49.
- Farsi M., Arezoo B., 2011, Bending Force and Spring-Back in V Die-Bending of Perforated Sheet Metal Components, Iran, 46-52.
- Gattmah J., 2003, Numerical Simulation of Bending Process for Steel Plate Using Finite Element Analysis, Arabian Journal for Science, Saudi Arabia, 1-3.
- Gülmez T., 2011, İmal Usulleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 29-33.
- Herrmann R.L., 1967, Finite-Element Bending Analysis for Plates, American Society of Civil Engineers, America, 13-15.
- Huang Y., 1995, Effect of Process Variables on V-Die Bending Process of Steel Sheet, Elsevier Science, Great Britain, 631-638.
- Hubert D., 2020, Steel Sheets Laser Lap Joint Welding Process Analysis, Poland, 2-8.
- Karaağaç İ., Aslan Y., 2014, V Bükmede Geri Esneme Davranışları, Gazi Üniversitesi Dergisi, Ankara, 256-261.
- Kayaoğlu E., 2002, Okan Üniversitesi Temel İmalat İşlemleri Ders Notları [online], İstanbul, Okan Üniversitesi, https://okanuni.eren.xyz/TIMIS_ders14_2020.pdf [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2023].
- Lange, K., Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, New York, 1985.

- Magnusson C. and Tan Z., 1990, Mathematical modeling of V-die bending process, Proceedings of 16th Biannual IDDRG Congress, Sweden, 363-370.
- Rong Y., Zhang G, Huang Y. 2017, Simulation and Stress Analysis of U-Shaped Seam Welding Process Based on Abaqus, Switzerland, 612-614.
- Roshan W., Ttulankar and Suraj S., 2013, Automation in Sheet Metal Tig Welding Process, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Volume4 - Issue7.
- Pelton A.R., 2014, Simulation and Stress Analysis of U-Shaped Seam Welding Process Based on Abaqus, Switzerland, 612-614.
- Samuel M., 2000, Experimental and numerical prediction of springback and side wall curl in U-bendings of anisotropic sheet metals, J. Mater. Process. Technol., 109-113.
- Shiga C., Murakawa H., Hiraoka K., 2017, Elongated bead weld method for improvement of fatigue properties in welded joints of ship hull structures using low transformation temperature welding materials, WeldWorld., 769–788.
- Serizawa H., Nakamura S., Kanbe K., 2013, Numerical analysis of deformation in multi-pass circumferential TIG welding with narrow gap. Weld World., 615–623.
- Tekiner, Z., 2004, An experimental study on the examination of spring-back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies, Process Technology, 109-116.
- Temiz V., 2013, Kaynak bağlantıları ders notları, İstanbul Tenkik Üniversitesi, İstanbul, 3-5.
- Thomas W.M., 1997, Friction Stir Welding for The Transportation Industries, Elsevier Science, Great Britain, 612-614.
- Xia H, Li L, Ma N., 2016, Analysis of influence of initial gap of laser-arc hybrid butt welds on inherent strain and welding deformation of a pipe structure, , Journal of Laser Applications, 1-3.
- Weinmann K.J., Shippell R.J., 1978, Effect of tool and workpiece geometries upon bending forces and spring-back in 90 degree V-die bending of HSLA steel plate, , Proceeding of the 6th North American Metal Working Research Conference, USA, 220-227.
- Vimal K., Vinodh S., 2015, Modelling, assessment and deployment of strategies for ensuring sustainable shielded metal arc welding process – a case study, Journal of Cleaner Production, india, 1-4.
- Zhang H., Xuanyu S., 2014, Simulation and Stress Analysis of U-Shaped Seam Welding Process Based on Abaqus, Switzerland, 612-614.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Doğuhan AVCI
Uyruđu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Naciye Mumcuođlu Anadolu Lisesi	2012
Üniversite	: Erciyes Üniversitesi	2017
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018-2019	YUMAK AIR BRAKE SYSTEMS.	ARGE MÜHENDİSİ
2019-2023	TIRSAN TREYLER	ÜRÜN GELİŞTİRME MÜHENDİSİ
2023-DEVAM	BMC OTOMOTİV A.Ş.	ASKI VE PALET SİSTEMLERİ MÜHENDİSİ