

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YER ALTI YATAY MİKSERLERDE KAYNAK HASARLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisi Utku USLU

**Temmuz 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YER ALTI YATAY MİKSERLERDE KAYNAK HASARLARININ İNCELENMESİ

Utku USLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15/06/2021

Tezin Savunma Tarihi : 26/07/2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tefik KÜÇÜKÖMEROĞLU

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Madenlerde kullanılan iş makinalarının maden operasyonlarına katkısı büyüktür ve dolayısıyla birim zamanda çıkarılan cevherin miktarı, bu araçların operasyonel verimlerinden doğrudan etkilenir. Söz konusu iş makinaları servis ömürleri içerisinde belirli motor saatleri sonucunda detaylı revizyonlara ihtiyaç duyarlar. Bu revizyonlar sonucunda araçların operasyonel verimlilikleri ve güvenli iş yapabilme kabiliyetleri artar. Literatürde iş makinalarının onarımlarını sistematik olarak inceleyen çalışmalar mevcuttur fakat çalışmaya konu olan yer altı yatay mikserinin kaynak hasarlarını inceleyen benzer bir çalışmaya yapılan literatür araştırmasında rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın literatür bilgi birikimine katkı sağlaması planlanmaktadır. Bu çalışmada revizyon için gerekli motor çalışma saatine ulaşmış yer altı madeninde çalışan yatay mikserin gerçekleştirilen revizyonu esnasındaki şasi kaynak hasarlarının giderilmesi incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma sonucu elde edilen bilgilerin, endüstride yaygın kullanım alanına sahip iş makinalarının revizyon çalışmalarına katkı sağlamasını ümit ederim.

Çalışmaya konu olan yer altı yatay mikserinin revizyon projesini yönetmeye başlamamın ardından üzerine akademik olarak çalışmak istediğim bu konuyu kendisiyle paylaştığım andan itibaren beni destekleyen, bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU'na, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, beni her konuda destekleyen, varlıklarından daima güç aldığım başta annem Asiye USLU ve babam Hulusi USLU olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın en büyük destekçilerinden, akıl hocam, hem manevi babam hem de en yakın dostlolum olan, yakalandığı amansız hastalık sonucu 28.02.2020'de aramızdan ayrılan eniştem Tuncer BİRLİK'i burada özlem ve rahmetle anarım.

Utku USLU
Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yer Altı Yatay Mikserlerde Kaynak Hasarlarının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/07/2021

Utku USLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Madencilik	2
1.3. Yer Altı Madenciliği.....	2
1.4. Yer Altı Madenciliğinde En Yaygın Kullanılan İş Makinaları	4
1.4.1. Anfo	4
1.4.2. Bolter	5
1.4.3. Greyder	6
1.4.4. Jumbo.....	6
1.4.5. Kamyon.....	7
1.4.6. Kepçe	8
1.4.7. Kreyn	8
1.4.8. Platform	9
1.4.9. Robot.....	10
1.4.10. Solomatik.....	10
1.4.11. Yatay Mikser	11
1.5. Amaç.....	12
1.6. Literatür	12

2.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25
2.1.	Yatay Mikserlerin Genel Tanıtımı ve Şasi Yapısı.....	25
2.2.	Gerilme Analizi	29
2.3.	Belirlenen Onarım Yöntemleri	33
2.3.1.	Gerilme Analiz Sonuçlarının Hasar Bulgularıyla Karşılaştırılması	33
2.3.2.	Kaynak Hataları Tashih Prosedürü.....	44
2.4.	Yapılan Onarım Çalışmaları	47
2.4.1.	Üst Şasinin Onarımı.....	47
2.4.2.	Alt Şasinin Onarımı	53
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	59
3.1.	Metalografik İnceleme.....	59
3.2.	Çekme Deneyi	60
3.3.	Tahribatsız Malzeme Muayeneleri	61
3.3.1.	Şasilerin Temizlik Öncesi Hallerine Ait Ön Değerlendirme.....	61
3.3.2.	Şasilerin Tahribatsız Muayenelerine Ait Değerlendirme	62
3.4.	Gerilme Analizlerinin Değerlendirilmesi	68
3.4.1.	Şasilerin Mevcut Durumu İçin Yapılan Gerilme Analizi	68
3.4.2.	Şasiler İçin Ön Görülen Onarımlar Sonucu Yapılan Gerilme Analizi	72
3.5.	Şasilerin Onarımları.....	76
4.	SONUÇLAR.....	85
5.	ÖNERİLER.....	86
6.	KAYNAKLAR.....	87

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

YER ALTI YATAY MİKSERLERDE KAYNAK HASARLARININ İNCELENMESİ

Utku USLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU
2021, 88 Sayfa

Bu çalışmada, bir yer altı madeninde kullanılan yatay mikserin şasisinde meydana gelen kaynak hasarlarının tespiti ve nedenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalarda öncelikle şasi üzerine gelen yüklerin gerilme analizi gerçekleştirildi. Yapılan analizden elde edilen sonuçlar ile tespit edilen hasarların belirlendiği yerlerin büyük ölçüde birbirleriyle örtüşmüş olduğu görüldü.

Mikser şasisindeki kaynak dikişi içeren bölgeler öncelikli olarak gözle muayeneye tabi tutulmuş ve ardından penetrant sıvı ve manyetik parçacık yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Belirlenen hasarların gerilme analizinde en büyük gerilmelerin elde edildiği şasilerin en büyük yük ve momente maruz kalan hareketli bölgelerinde (dönüş sistemi, beton kazanı kaldırma sistemi vb.) oldukları tespit edilmiştir. Şasi çalışma koşulları dikkate alınarak ortaya çıkan hasarların büyüklüğü, gerilme analiziyle birlikte değerlendirilip, tespit edilen hatalar karakterlerine göre sınıflandırıldıktan sonra bu hataların onarım prosedürleri oluşturuldu. Belirlenen onarım prosedürleri doğrultusunda, gerekli şasi onarımları gerçekleştirildi. Yapılan onarımların sonucunda şasi üzerinde belirlenmiş olan kaynak hasarları giderilerek şasi üniform gerilme dağılımına erişildiği, şasinin onarılmış halini simüle eden gerilme analizinden görüldü. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda aracın güvenli iş yapabilme kabiliyeti ve operasyonel verimliliği arttı.

Anahtar Kelimeler: Yer altı yatay mikser, Şasi kaynak hasarı, Tahribatsız muayene

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINE WELDING DAMAGES IN UNDERGROUND HORIZONTAL MIXERS

Utku USLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU
2021, 88 Pages

In this study, it is aimed to determine the welding damages and their causes which are occurred chassis of the horizontal mixer used in an underground mine. In the studies carried out for this purpose, firstly, the stress analysis of the loads on the chassis was carried out. It was seen that the results obtained from the analysis and the places where the detected damages were determined largely overlapped with each other.

The parts of weld beads in mixer chassis were first subjected to visual inspection and then examined using penetrant liquid and magnetic particle methods. In the stress analysis, it has been determined that the determined damages are in the moving parts of the chassis, where the greatest stresses are obtained, which are exposed to the greatest load and moment (steering system, concrete drum lifting system etc.). Considering the operating conditions of the chassis, the extent of the damage was evaluated together with the stress analysis and the repair procedures for these damages were created after the detected damages were classified according to their characters. Necessary chassis repairs were carried out in line with the determined repair procedures. As a result of the repairs, it was seen from the stress analysis simulating the repaired state of the chassis, that the welding damages determined on the chassis were removed and a uniform stress distribution was achieved in the chassis. As a result of the work carried out, the vehicle's ability to work safely and its operational efficiency have increased.

Key Words: Underground horizontal mixer, Chasis welding damage, Non-destructive testing

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Yer altı madeni.....	3
Şekil 2. Anfo.....	5
Şekil 3. Bolter.....	5
Şekil 4. Greyder.....	6
Şekil 5. Jumbo	7
Şekil 6. Kamyon	7
Şekil 7. Kepçe.....	8
Şekil 8. Kreyn.....	9
Şekil 9. Platform.....	9
Şekil 10. Robot.....	10
Şekil 11. Solomatik	11
Şekil 12. Yatay mikser	11
Şekil 13. Test standında hidrolik sistem ile kepçenin uç tırnağından eksantrik kuvvet uygulanması	14
Şekil 14. İş makinesi kepçe mesnet kolları üzerine yerleştirilen, kepçe kovasına malzeme yükleme ve boşlaması esnasında, mesnet kollarına etkiyen kuvvetleri ölçen gerinim ölçerlerin ayrıntılı görüntüleri	14
Şekil 15. Tahrik mili muhafazasının geometrisi (mm).....	16
Şekil 16. Tahrik mili muhafazasının kırılma yüzeyi (Şekil 15'deki R1 kesitindeki).....	16
Şekil 17. Şasi üzerindeki ön yaprak yayların arka oturma yerinin yakınında görünen çatlakların yerini gösteren detay görüntüleri.....	17
Şekil 18. Şasideki ön yaprak yayların arka oturma yerlerinin; a) orijinal hali, b) tasarım değişikliği sonucu ilgili bölgenin son hali	18
Şekil 19. Çatlağın bom üzerindeki yeri ve çatlağın bom üzerinde yürüdüğü yüzeylere ait görüntüler	18
Şekil 20. Ekskavatör bomunun sonlu elemanlar modeli	19
Şekil 21. Ekskavatör bomunun eşdeğer Von Mises gerilme dağılımları	20
Şekil 22. Şasinin, a) SolidWorks ve b) Ansys'de şasinin hasarının statik hesaplanmasındaki şasi geriliminin dağılımı.....	21
Şekil 23. Şasinin, a) SolidWorks ve b) Ansys'de düzgün olmayan arnavut kaldırımı yoldaki hareket sırasında şasinin yorulma durabilitesinin formu	21
Şekil 24. a) Aracın şematik çizimi ve şaside oluşan hasarın yeri, b) Tork mili bağlantısının yakınında görünen şasi çatlakları, c) Tork mili bağlantısının yakınında bulunan, şaside önceden açılmış ve çatlağa sebep olan delik.....	22

Şekil 25. a) Yorulma ile test edilen bir kontrol kolu. b) Kontrol kolundaki gerilim analizi...	24
Şekil 26. a) Yorulma testinden sonra bir kontrol kolu. b) Kaynak dikişindeki yorulma çatlamasının detayı.....	24
Şekil 27. Çalışmaya konu olan yer altı yatay mikseri.	25
Şekil 28. Çalışma konu olan yer altı yatay mikserinin genel boyutları.....	26
Şekil 29. Betonun, mikser kazanından dışarı transferi	26
Şekil 30. Araç şasileri ve temel kısımlarının tanıtımı	27
Şekil 31. Mikser kazanına beton doldurulması	28
Şekil 32. Üst şasinin bilgisayar ortamındaki gerilme analizi	30
Şekil 33. Alt şasinin ön kısmının bilgisayar ortamındaki gerilme analizi.....	31
Şekil 34. Alt şasinin arka kısmının bilgisayar ortamındaki gerilme analizi.....	32
Şekil 35. Aracın üst şasisinin, aracın demontajının ardından arkadan görünüşü	33
Şekil 36. Aracın üst şasisinin, aracın demontajın ardından yandan görünüşü	34
Şekil 37. Aracın alt şasisinin, aracın demontajının ardından arkadan görünüşü.....	34
Şekil 38. Aracın alt şasisinin, aracın demontajının ardından yandan görünüşü.....	34
Şekil 39. Kuşlama sonrası üst şasinin genel görünümü.....	35
Şekil 40. Kuşlama sonrası alt şasisinin genel görünümü.....	35
Şekil 41. Üst şaside belirlenen hataların gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali	36
Şekil 42. Üst şaside belirtilen 1 numaralı kısma ait detay görüntüler	37
Şekil 43. Üst şaside belirtilen 2 numaralı kısma ait detay görüntüler	37
Şekil 44. Üst şaside belirtilen 3 numaralı kısma ait detay görüntüler	38
Şekil 45. Üst şaside belirtilen 4 numaralı kısma ait detay görüntüler	38
Şekil 46. Alt şasinin ön kısmında belirlenen hataların gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali.....	39
Şekil 47. Alt şasinin arka kısmında belirlenen hataların gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali.....	39
Şekil 48. Alt şasilerde belirtilen 1 numaralı kısma ait detay görüntüler	40
Şekil 49. Alt şasilerde belirtilen 2 numaralı kısma ait detay görüntüler	40
Şekil 50. Alt şasilerde belirtilen 3 numaralı kısma ait detay görüntüler	41
Şekil 51. Alt şasilerde belirtilen 4 numaralı kısma ait detay görüntüler	41
Şekil 52. Alt şasilerde belirtilen 5 numaralı kısma ait detay görüntüler	42
Şekil 53. Alt şasilerde belirtilen 6 numaralı kısma ait detay görüntüler	42
Şekil 54. Alt şasilerde belirtilen 7 numaralı kısma ait detay görüntüler	43

Şekil 55. Alt şasilerde belirtilen 8 numaralı kısma ait detay görüntüler	43
Şekil 56. Aşırı ilerlememiş çatlakların taşlama işlem prosedürü	45
Şekil 57. Aşırı ilerlemiş çatlaklarda bölge kesim mesafeleri	46
Şekil 58. a) Oksijenle kesme, b) Kesme taşıyla kesme	47
Şekil 59. Kesme işlemleri sonucu bölgede çentik etkisi oluşturan kesim işlemi	48
Şekil 60. Şasi dış tarafı kesim bölgesinin gösterimi.....	48
Şekil 61. Üst şaside yeniden imal edilecek kısmın bilgisayar ortamındaki çizimi.....	49
Şekil 62. Kaynak ağızlarının açılması	49
Şekil 63. Alt detay kaynaklı parça.....	50
Şekil 64. Üst şaside açılan kaynak ağzı.....	51
Şekil 65. Kaynak kökünde nüfuziyet sağlanması için kökte boşluk bırakılması	51
Şekil 66. Çentik etkisi oluşturabilecek tipik bir birleşim	53
Şekil 67. Alt şaside parça değişimi yapılan kısmın iç ve dış tarafının gösterimi	54
Şekil 68. İç taraf web sacı kesilmiş ağza açılan kaynak ağzının gösterimi	55
Şekil 69. Dış taraf web sacı kesilmiş ağza açılan kaynak ağzının gösterimi.....	55
Şekil 70. İç tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi	56
Şekil 71. Dış tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi.....	56
Şekil 72. Alt – üst saclar ile köşe kaynak birleşimi için iç tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi	57
Şekil 73. Alt – üst saclar ile köşe kaynak birleşimi için dış tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi	57
Şekil 74. Kaynak bölgesine ait mikroyapılar.....	60
Şekil 75. Üst şasinin temizlik öncesi görünümüleri	61
Şekil 76. Alt şasinin temizlik öncesi görünümüleri.....	62
Şekil 77. Üst şasinin ön kısmında görülen hatalar.....	63
Şekil 78. Üst şasinin arka kısmında görülen hatalar.....	64
Şekil 79. Alt şasinin ön kısmının baş tarafında görülen hatalar	65
Şekil 80. Alt şasinin ön kısmındaki dönüş silindirlerinin şasiye bağlantı braketlerinin kaynaklı bölgelerindeki hatalar.....	66
Şekil 81. Alt şasinin arka kısmındaki dönüş silindirlerinin şasiye bağlantı braketlerinin kaynaklı bölgelerindeki hatalar	66
Şekil 82. Kaldırma silindirlerinin alt şaside bağlandığı bölge ve bu bölgede maksimum gerilme değerleri	67
Şekil 83. Alt şasi ile üst şasi arasındaki kaldırma silindirlerinin bağlandığı, alt şasiye ait bölgedeki hatalar	68

Şekil 84. Şasilerin gerilme analizleri; a) üst şasi, b) alt şasi ön kısım, c) alt şasi arka kısım	69
Şekil 85. Üst şasinin kaldırma silindirleri vasıtasıyla açılı olarak yükselmiş hali	70
Şekil 86. Üst şasinin ön ve arka kısımlarının gerilme değerleri.....	71
Şekil 87. Alt şasilerdeki dönüş silindirlerinin bağlandığı kısımların gerilme değerleri.....	72
Şekil 88. a) Üst şasinin bilgisayar ortamındaki analizi, b) Üst şasinin onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi.....	73
Şekil 89. a) Alt şasinin ön kısmının bilgisayar ortamındaki analizi, b) Alt şasinin ön kısmının onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi.....	74
Şekil 90. a) Alt şasinin arka kısmının bilgisayar ortamındaki analizi, b) Alt şasinin arka kısmının onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi.....	75
Şekil 91. Araç şasilerinin bilgisayar ortamında çizilmiş hali	77
Şekil 92. Üst şasinin arka kısmında önceki onarımlarda yapılan kaynaklar ve bu kaynaklardaki hatalar	79
Şekil 93. a) Üst şasiden kesilerek ayrılan arka kısmın görüntüsü, b) üst şaside yenilenen kısmın bilgisayar ortamındaki çizimi.....	80
Şekil 94. Üst şasideki kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profil	81
Şekil 95. Alt şasi arka ayaklarında görülen hasarlar	84

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Orijinal şasi malzemesi ve kaynak teline ait kimyasal bileşim.....	59
Tablo 2. Orijinal şasi malzemesi ve kaynak teline ait mekanik özellikler	61
Tablo 3. Kaynak dikiş bölgelerine ait mekanik özellikler.....	61



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Madenlerde kullanılan iş makinalarının maden operasyonlarına katkıları büyüktür. Bu araçlar sayesinde cevher çıkarma operasyonlarının iş güvenliği kuralları içerisinde gerçekleştirilmesi kolaylaşırken birim zamanda çıkarılan cevher miktarı da artar. Dolayısıyla söz konusu araçların verimi maden operasyonlarının verimini doğrudan etkiler. Maden iş makinalarının verimi ise araçların bakım-onarım faaliyetlerinin etkinliğine bağlıdır. Etkin bakım-onarım sonucunda araçların arıza sıklığının düşmesi ve arızalar arası sürelerinin artmasına bağlı olarak güvenli iş yapabilme kabiliyetleri ve verimlilikleri artar ve aynı zamanda bakım-onarım maliyetleri de düşer. Söz konusu araçların etkin bakım-onarım faaliyetlerinden biri de belli motor çalışma saatleri sonucunda ihtiyaç duydukları detaylı revizyonlardır [1].

Detaylı revizyonlarda araçlar tamamen demonte edilir, araçlardaki mevcut mekanik ve elektrik arızalar ile revizyona kadar geçen çalışma süresi içerisinde araçta oluşan tüm hasarlar sistematik olarak giderilir. Yapılan tüm onarımlar kayıt altına alınarak ekipmanın bakım-onarım izlenebilirliği de artırılmış olunur [1].

Bu çalışmada çalışmaya konu olan yer altı madeninde kullanılan yatay mikserin detaylı revizyonunun en kritik aşamalarından biri olan şasi kaynak hasarlarının giderilmesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda araç şasisi üzerine gelen yüklerin bilgisayar ortamında simüle edilmesi ve bu simülasyon ile yapılan gerilme analizinden sonra tamamen demonte edilip ortaya çıkarılan araç şasisinin kumlanmasının ardından şasi üzerine uygulanan tahribatsız malzeme muayeneleri (gözle, penetrant sıvı ile ve manyetik parçacık yöntemiyle) sonucunda şasi üzerindeki tüm kaynak hatalarının tespiti, tespit edilen bu hataların yerleri ile araç şasisi üzerine gelen gerilmelerin bilgisayar ortamındaki analizi sonucu belirlenen gerilme yığılma bölgeleriyle karşılaştırılması, tespit edilen hataların türlerine göre sınıflandırılması, söz konusu hataların giderilmesi için tadilat prosedürleri oluşturulması ve bu prosedürler doğrultusunda tüm şasi kaynak hasarlarının giderilmesi üzerine çalışılmıştır [1].

1.2. Madencilik

Madenciliğin gelişmesi ve tarihçesi insanlığın gelişmesi ile paraleldir. Madencilik, insan faaliyetlerinin en önce gelişmiş işlemlerinden biridir. Eski insan, hayatını sürdürmek için avcılık ile birlikte bu işlemde kendisine yardımcı alet ve silahların gelişmesinde madencilik faaliyetlerinden yararlanmışır [2].

Madenciliğin ilk gelişmesi flint'in av aletleri yapımında kullanılması ve "Taş Devri"nin oluşumu ile başlar. Günümüzden 450000 yıl öncelerine giden Taş Devrinde ayrıca bazı madenlerin (hematit, okr) boya olarak kullanıldığı bilinmektedir [2].

Toprağın kazılarak, mineral ve kayaç elde edilmesine madencilik denir. Kömür, elmas, maden cevheri ya da petrol gibi doğal hammaddelerin yeryüzüne çıkartılması ve işletilmesi ile ilgili metotların tamamını kapsar. Madenciliğin sadece yer altında yapıldığı düşünülse de, maden her derinlikte bulunabilmektedir [2].

Yeryüzünün altında bulunan maden kütlesine cevher denir. Cevherin toprağın altındaki konumunun yeryüzüne olan dik mesafesine göre çıkarılma teknikleri uygulanır. Yeryüzünün derinliklerinde olan cevherler yer altı (kapalı ocak) madenciliği, yüzeyde veya yüzeye yakın cevherler için yerüstü (açık ocak) madenciliği uygulanır. Bu iki yöntemin uygulanması kendine has teknikler ve ekipmanlar gerektirir [2].

1.3. Yer Altı Madenciliği

Açık işletme metodu uygulaması ekonomik olmayan maden yataklarına tavanın göçertilmesi, açılan boşluğun doldurulması veya topuklar bırakılması esaslarına göre uygulanan üretim sistemine yer altı madenciliği denir. Üretim yöntemi seçimine etki eden parametreler aşağıda sıralanmıştır [2];

- Cevher yatağının fiziksel ve jeolojik karakteristiği (geometri, kalınlık, eğim vs)
- Cevher zonu ve yantaşların tabaka koşulları
- Madencilik ve sermaye maliyetleri
- İşe yararlılık ve emek maliyeti
- Çevresel düzenleme

Yer altı madenciliği, yzzeyden derinlerde yer alan madenleri çıkarmak için seçilen metoddur. Bu metoddla maden çıkarma oldukça zor ve zaman alıccıdır. nce mağaralar açılır, sonra bu mağaralara havalandırma ve aydınlatma sağlanır. Tznelles birbirine ya dik kanallardaki asanszrlerle veya meyilli tznellesle bağlıdır. Tznellesde su birikmemesi için tulumbalar kullanılır. Tznel tavanları kalaslarla kaplanarak zkme znenir. Tznel ucundan yeni maden çıkarabilmek için, znce delikler delinir. Yıkılan maden parçaları bu kısımdan geriye taşınır. Tekrar kalaslarla tznel yapılır ve bu Şekilde kazma işlemi devam eder. Kazma işlemi, aşağıya, yukarıya veya ileri doğru olabilir. Şekil 1’de yer altı madeninden bir gzrztz verilmifitir [2].

Yer altı koşulları, cevheri yzzeyeye çıkarma işlemlerinin zorluğunu bir kademe daha artırmakla beraber, işlemlerin iş gvenliği kuralları dahilinde yapılmasını da zorlaştırır. Bu zorlukların zstesinden gelebilmek için tzrlz yzntemler kullanılır. Bunlardan bir tanesi de iş makinaları kullanımındır. Cevheri yer altından yerzstzne gvenli ve hızlı olarak çıkarabilmek için, zorlu yer altı koşularında çalışmaya elverişli çeşitli yer altı iş makinaları zretilmiştir.



Şekil 1. Yer altı madeni [3].

1.4. Yer Altı Madenciliğinde En Yaygın Kullanılan İş Makinaları

Yer altındaki operasyonları gerçekleştirebilmek ve cevheri yeryüzüne çıkarabilmek için farklı tiplerde iş makinaları (mobil ekipmanlar) kullanılır. Bu ekipmanların boyutları ve kapasiteleri kullanılacakları madendeki galerilerin boyutları, cevherin rezervi, kayaç yapısı vb. etkenlere göre seçilir.

Bu araçlar yaptıkları işlere göre adlandırılır. Bunlardan; dik kaya delgisi yapanlar Solomatik, yatay kaya delgisi yapanlar Jumbo, cevhere ulaşmak için kayaç yapısında açılan patlatma deliklerine patlayıcı şarjı yapanlar Anfo, galeri duvarlarını güçlendirmek için kaya cıvata uygulaması yapanlar Bolter, zemin tesfiesini yapanlar Greyder, kaya cıvata uygulamasından sonra duvarlardaki tahkimat işlemlerinin tamamlanması için püskürtme beton işlemini yapanlar Robot, robotlara beton taşıyanlar Yatay Mikser, malzeme kaldırılması ve nakliyesini yapanlar Kreyn, zeminden yüksekte çalışılmasını sağlayanlar Platform, cevheri yer altından yerüstüne taşıyanlar Kamyon ve kamyonlara cevher yükleyenler Kepçe olarak adlandırılır.

1.4.1. Anfo

Galeride ve ana rampada ilerlemek, cevhere ulaşmak için yapılacak patlama operasyonları için açılan deliklere patlayıcı uygulaması yapan ekipmandır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Patlayıcı madde farklı farklı tekniklerle açılan deliklere şarj edilir. Şekil 2'de basınçlı hava ile söz konusu uygulamayı yapan bir anfo aracı görülmektedir. Aracın arkasındaki sepet sayesinde operatör patlayıcı maddeyi şarj edecekleri deliklere ulaşır ve uygulamayı yapar.



Şekil 2. Anfo [4].

1.4.2. Bolter

Galeri duvarlarını güçlendirmek için püskürtme beton uygulamasından önce tavana ve yan duvarlara çelik hasır montajı yapan kaya civata ekipmanıdır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Aracın kullanılacağı galerinin ve operasyonun durumuna göre duvarlara hasır yerleştirme işlemi manuel ya da direkt çift bomlu bolter aracıyla olabilir, bu durumda aracın bir bomu hasır serme mekanizmasıyla diğer bomu delme ve çakma işlemlerini yapacak tabancalarla donatılmıştır. Şekil 3’de tek boma sahip bolter aracı görülmektedir.



Şekil 3. Bolter [5].

1.4.3. Greyder

Galeri ve ana rampa yollarının tesfiesini yaparak, yer altında çalışan araçların düzgün zemin üzerinde yol almalarını sağlayan ekipmandır. Araç, üzerinde bulunan hidrolik silindirlerle kontrol edilen bıçakları vasıtasıyla zeminde gerekli düzenlemeleri yapar. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Şekil 4'te yer altı greyderi görülmektedir.



Şekil 4. Greyder [6].

1.4.4. Jumbo

Galeride ve ana rampada ilerlemek, cevhere ulaşmak için yapılacak patlatma operasyonları için açılması gereken delikleri yatayda delen ekipmandır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Şekil 4'te çift bomla delme kabiliyetine sahip bir Jumbo görülmektedir. Yeni nesil Jumbolar, yapılan delginin ölçü doğruluğunu kontrol eden ve hatta otomatik delgi yapabilen donanımlara sahiptir.



Şekil 5. Jumbo [7].

1.4.5. Kamyon

Yer altından çıkan cevheri yerüstüne taşıyan ekipmandır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Bu araçların, kullanıldıkları madenlerdeki cevher kapasitesi ve galeri koşulları göz önüne alınarak uygun cevher taşıma tonajlı modelleri tercih edilir. Şekil 5'te 36 tonluk cevher taşıma kapasitesine sahip bir yer altı maden kamyonu görülmektedir.



Şekil 6. Kamyon [8].

1.4.6. Kepçe

Yer altındaki cevheri kamyonu yükleyen ekipmandır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Kepçenin kovasının taşıma kapasitesini; aracın kapasitesi, gücü vb. özelliklerini belirler. İşlevi gereği yer altında tahkimatsız kısımlarda çalışmak zorunda kalan bu ekipmanların, söz konusu yerlerde yaşanabilecek göçüklerden dolayı operatörüne zarar gelmemesi için uzaktan kumandalı modelleri de mevcuttur. Şekil 6'da kovası 17 ton cevher taşıma kapasitesine sahip ve uzaktan kumandalı bir kepçe görülmektedir.



Şekil 7. Kepçe [9].

1.4.7. Kreyn

Çeşitli taşıma ve yükleme işlemlerini yapan mobil vinç ekipmanıdır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Aracın üzerinde taşıyacağı malzemeyi bulunduğu yerden alıp kasasına yükleyebilecek, aracın operatörü tarafından kontrol edilen bir vinç sistemi mevcuttur. Şekil 7'de bir yer altı kreyni görülmektedir.



Şekil 8. Kreyn [4].

1.4.8. Platform

Galeride yer seviyesinden yüksekte çalışma imkanı sağlayan mobil platform ekipmanıdır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Üzerinde bulunan ve kapasitesine göre çeşitli büyüklüklerdeki yükleri kaldırma kabiliyetine sahip hareketli bir kasa sistemine sahiptir. Şekil 8’da makaslı tip bir platform görülmektedir.



Şekil 9. Platform [4].

1.4.9. Robot

Yer altındaki püskürtme beton uygulamalarını gerçekleştiren ekipmandır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Üzerinde bulunan kompresör tertibatı sayesinde betonu ilgili yere püskürterek uygular. İşlevi gereği yer altında tahkimatsız kısımlarda çalışmak zorunda kalan bu ekipmanların, söz konusu yerlerde yaşanabilecek göçüklerden dolayı operatörüne zarar gelmemesi için uzaktan kumandalı modelleri de mevcuttur. Şekil 9’da uzaktan kumandalı bir robot görülmektedir.



Şekil 10. Robot [10].

1.4.10. Solomatik

Yer altında kat arası göçertme vb. işlemler için yapılacak patlama deliklerini dik olarak delen ekipmandır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Aracın bomu, delgi yapacağı yere uygun açıda konumlandırıldıktan sonra yine bomun üzerinde bulunan dayama silindirleri sayesinde delgi yaparken silindirlerin dayandırıldığı zeminden destek alır. Şekil 10’da delgiye başlamak üzere hazırlanmış bir solomatik görülmektedir.



Şekil 11. Solomatik [11].

1.4.11. Yatay Mikser

Yer altında yapılan püskürtme beton vb. uygulamalarında kullanılmak üzere yerüstünden yer altına beton taşıyan ekipmandır. Yer altı galerilerinin alçak tavanlı olmasından dolayı üzerindeki beton kazanı araç yüksekliğini azaltmak amacıyla yatay vaziyette araca monte olduğundan yatay mikser olarak adlandırılır. Manevra kabiliyetinin artırılması için belden kırmalı şasi yapısına sahiptir. Kullanılacağı madendeki beton nakil ihtiyacına göre farklı beton kazanı kapasitelerine sahip modelleri mevcuttur. Şekil 11’de bir yer altı yatay mikseri görülmektedir.



Şekil 12. Yatay mikser [12].

1.5. Amaç

Artan çalışma sürelerinde mikserlerin çalışma koşullarına bağlı olarak şasisinde ve üzerindeki komponentlerde (tork, şanzıman, motor vb.) istenilmeyen bazı değişimler ortaya çıkar. Bu değişimler sonucunda aracın çalışma performansı düşer ve buna bağlı olarak verimliliği azalır. Dolayısıyla araç üzerinde oluşan arızalar arası zaman kısaltmaya başlar ve aracın serviste kalma süresi kısalmaya başlar. Bunlara ek olarak aracın onarım maliyetleri artarken verimliliğinde ihmal edilemez düşüş oluşur.

Tüm bu olumsuz durumların giderilmesi ya da en aza indirilmesi için bu araçların detaylı incelenerek genel bir revizyona tabi tutulması ihtiyacı ortaya çıkar. Dolayısıyla bu çalışma, söz konusu revizyon için optimum onarımı sağlayacak çalışmaları sistematik hale getirir. Bu amaca ulaşmak için söz konusu iş makinasının yapısı analiz edilerek ihtiyaç duyulan optimum onarım uygulamaları belirlenir. Detaylı revizyon sayesinde; aracın çalışma performansı iyileştirilerek onarıma ihtiyaç duyma süresinin artırılması, bakım maliyetlerinin düşürülmesi, verimliliğinin artırılması ve tüm bunların bileşimi olarak güvenliği iş yapabilme kabiliyetinin artırılması amaçlanır.

Bu çalışmada çalışmaya konu olan yer altı madeninde kullanılan yatay mikserin detaylı revizyonunun en kritik aşamalarından biri olan şasi kaynak hasarlarının giderilmesinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada belirlenmiş olan amaçla ilgili olarak günümüze kadar yapılmış olan çalışmaların değerlendirilmesi için aşağıda verilmiş olan literatür araştırması gerçekleştirilmiştir.

1.6. Literatür

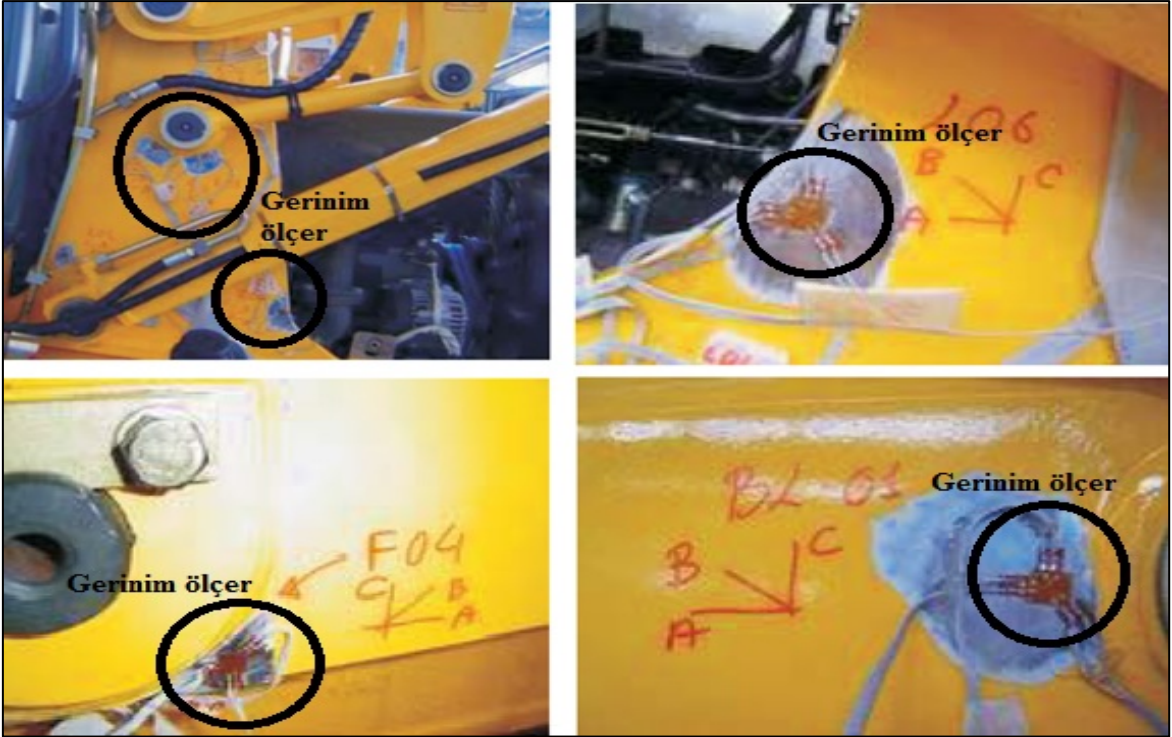
Ağırlıklı olarak kaynaklı konstrüksiyon imalatı olan iş makinaları şasileri, çalışma şartları nedeniyle yüksek gerilmelerin etkisi altındadır. Bunun yanında yer altı madenlerinde kullanılan iş makinalarının şasileri, çalıştığı yerler nedeniyle yüksek gerilmelere ek olarak yüksek korozyon etkisi altındadır. Bu dezavantajları ortadan kaldırabilmek için belirli çalışma süreleri sonucunda şasilerin detaylı etütleri sonucu mevcut durumlarının (hasar, korozyon vb.) belirlenmesi ve ortaya çıkan sorunların

giderilmesi için bakım-onarımını (detaylı revizyonunu) anlatan pek çok çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmalarda, revizyona başlamadan evvel, iş makinalarının şasilerinin mevcut durumunu ve onarımına yoğunlaşılacak kısımlarını ortaya koyabilen gerilme analizi ile işe başlayan çalışmalara literatürde çok az rastlanmıştır. Bu çalışmaya konu olan yer altı madenlerinde kullanılan yatay mikserler için yapılan detaylı revizyonun bir benzerine yapılan literatür araştırmasında rastlanmamıştır. Bu nedenle bu tez özgün bir çalışma olup, tezin literatür bilgi birikimine katkı sağlaması planlanmaktadır.

Toprak vd., ağır iş makinalarında teorik ve deneysel gerilme analizleri, tasarım ve boyutlandırma aşamasında dikkat edilmesi gereken noktaları incelemişlerdir. Çalışma şartları nedeniyle hem yüksek gerilmelerin hem de malzeme yorulması problemleriyle karşı karşıya olan iş makinelerinin bileşenlerinin tasarımı, hidrolik silindirler vasıtasıyla uygulanabilecek en büyük kuvvetler dikkate alınarak, gerilme analizleri ve boyutlandırmalarıyla yapılmıştır. Ancak bilgisayar ortamında çok gelişmiş yazılımlarla bile yapılan sayısal analizlerde, hem uygulanan olası kuvvet sistemi ve hem de dinamik etkilerin gerçeğe yakın modellenmesi genellikle mümkün olmamaktadır. Ayrıca kaynak dikişlerindeki hatalardan ve geometrik süreksizliklerden kaynaklanacak gerilme yığılmalarının mertebesini tasarım aşamasında belirleme konusu da, tasarımcıyı her zaman düşündüren ve zor durumda bırakan konudur. Bu nedenlerle, iş makinalarında olduğu gibi, bilhassa dinamik ve darbeli yüklerin etkisinde kalan bütün sistemlerde, tasarımdan sonra mutlaka yapılacak deneysel analizlerle tasarımın modifiye edilmesi gerekir. Bu çalışmada, ağır iş makinalarında teorik ve deneysel gerilme analizleri, tasarım ve boyutlandırma aşamasında dikkat edilmesi gereken noktalar incelenmiş, ayrıca endüstriyel uygulamalardan örnekler verilmiştir. Çalışmada üzerinde deneysel çalışma yapılan iş makinesinin; Şekil 13'ten görüldüğü gibi kepçenin uç tırnağı sabit bir mesnete bağlanarak iş makinesinin hidrolik sistemi yardımıyla yüke tabi tutulmuştur. Bu sayede yüklenen iş makinesinin mesnetlerine etki eden kuvvetlerin ölçülebilmesi için kepçe mesnet kollarının uygun yerlerine gerinim ölçerler yapıştirılarak etkiyen kuvvetler gerçek koşullar altında belirlenmiştir. Bu söz konusu gerinim ölçerlerin yerleştirildiği konumlar Şekil 14'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir [13].



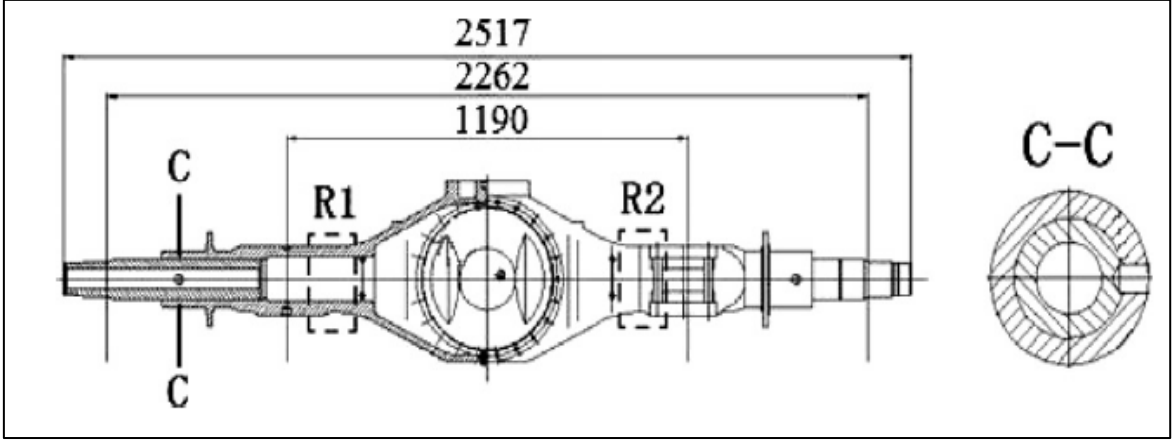
Şekil 13. Test standında hidrolik sistem ile kepçenin uç tırnağından eksantrik kuvvet uygulanması [13].



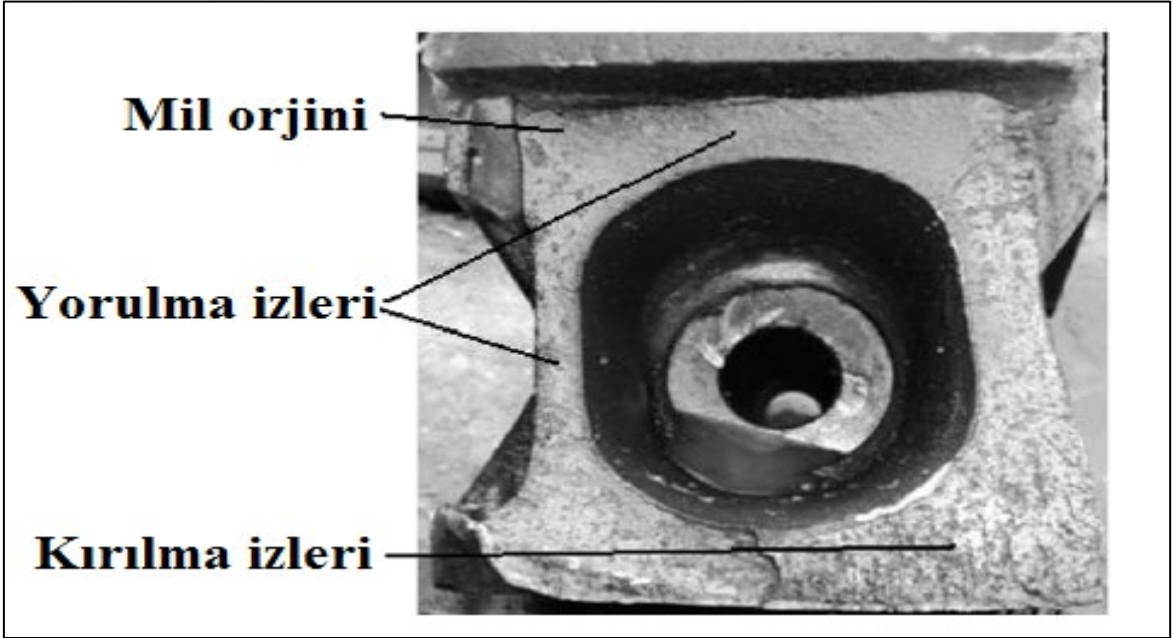
Şekil 14. İş makinesi kepçe mesnet kolları üzerine yerleştirilen, kepçe kovaasına malzeme yükleme ve boşlaması esnasında, mesnet kollarına etkiyen kuvvetleri ölçen gerininim ölçerlerin ayrıntılı görüntüleri [13].

İş makinaları, zor çalışma koşullarında çalışan ve genellikle kaynaklı imalat yöntemi ile imal edilen makinalardır. Bu makinalarda bilhassa etkiyen gerilmelerin (eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentleri) yüksek olduğu bölgelerde imalat aşamasında oluşan hatalardan dolayı ek gerilme yığılmaları meydana gelebilmektedir. Ayrıca dinamik ve darbeli yüklerin söz konusu olduğu konstrüksiyonlarda, söz konusu olan tekil noktalardaki gerilme yığılmalarının gerçek değerlerinin hesaplanabilmesi için kullanılan sayısal yöntemlerin yetersiz olacağı görülmektedir. Dolayısıyla bu etkilerin dikkate alınabilmesi için çalışmada yapılan teorik gerilme analizlerinin deneysel gerilme değerleriyle desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır [13].

Shao vd., damperli maden kamyonlarının tahrik mili muhafazalarında (Şekil 15) erken yorulma kırılması problemi için sonlu elemanlar analizi ile birlikte gerçek maden yolu yüzey koşullarından dinamik gerinim ölçümüne dayalı yeni bir analiz yöntemi önermiştir. Gerçek maden yolu yüzey koşullarına dayalı yorulma ömrü tahmininin sonuçları, gerçek arıza süresi ile çakıştığını gözlemlemiştir. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak elde edilen gerilmelerin yoğunlaştığı bölgelerin, gerçekte yorulma çatlaklarının ortaya çıktığı bölgelerle de çakışmış olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmada önerilen yöntem, mekanik bileşenlerin arızalarının analizi için kullanılabilir. Bu çalışmada, maden kamyonunun tahrik mili muhafaza yuvası kırılmasının yorulma hasarından kaynaklandığı belirlendi. Yorulma çatlakları, Şekil 16'dan görüleceği gibi gerilmenin yoğun olduğu bölgelerden başlamaktadır. Muhafazanın statik koşullar altında maksimum yükleme için güvenlik koşullarını karşıladığını, ancak dinamik yüklemenin muhafaza üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Gerçek maden yolu yüzey koşulları dikkate alınarak yapılan, yorulma ömrü tahmininin daha isabetli olduğunu, tasarımda öncelikli hasar mekanizmasının yorulma kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmaya konu olan tahrik mili muhafazasının tasarım kriterleri sonsuz ömrü sağlanacak şekilde gerçekleştirilememiştir [14].



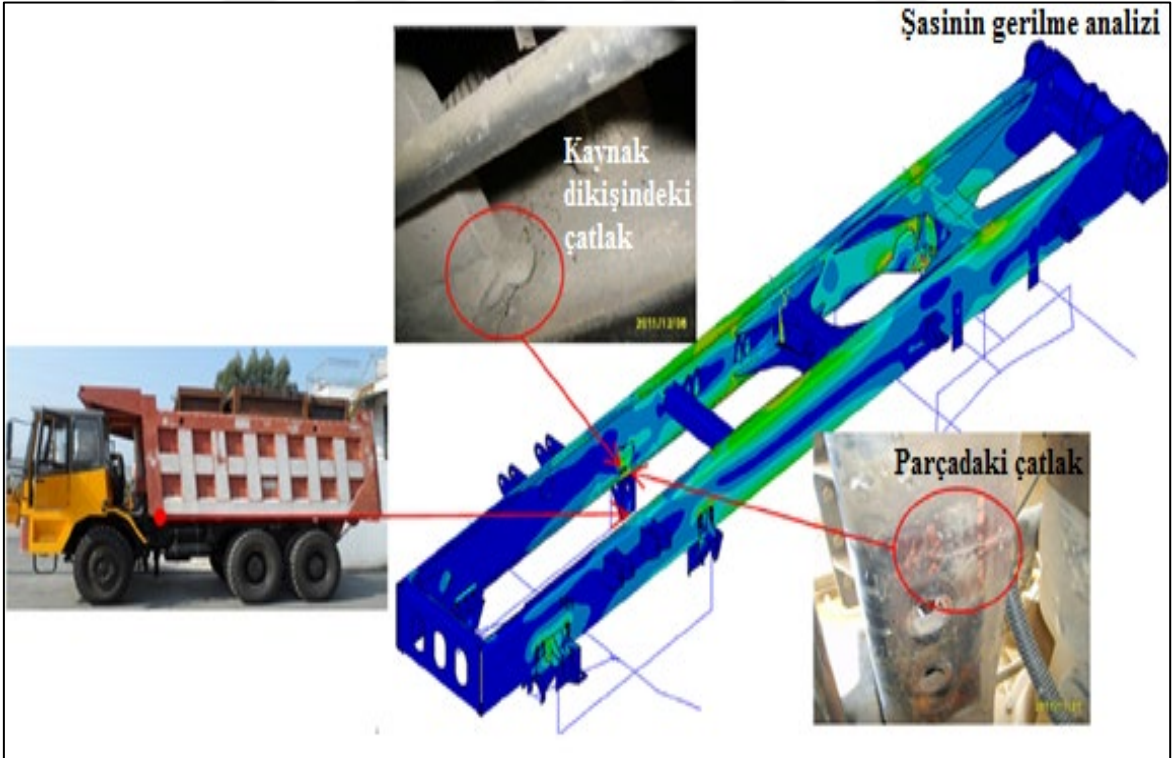
Şekil 15. Tahrik mili muhafazasının geometrisi (mm) [14].



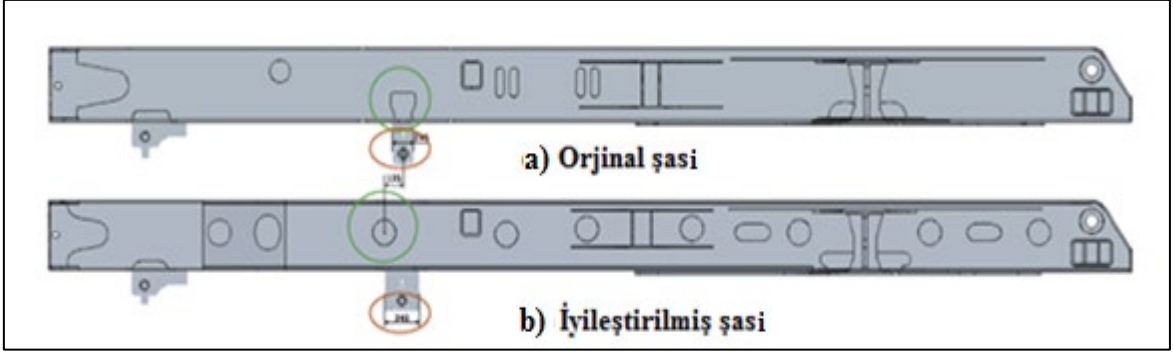
Şekil 16. Tahrik mili muhafazasının kırılma yüzeyi (Şekil 15'deki R1 kesitindeki) [14].

Zheng vd., Geniş gövdeli, damperli maden kamyonlarının şasileri üzerindeki Şekil 17'de görülen ön yaprak yayların arka oturma yerinin yakınında görülen çatlakların nedenini belirlemek ve onarmak için sonlu eleman analizi (SEA) ile birlikte statik ve dinamik test ile birleştirilmiş pratik bir yöntem kullanmışlardır. İyileştirilmiş şasinin SEA sonuçlarını doğrulamak için statik ve dinamik testler yapıldı. Analiz sonuçları, gerilmelerin şasi, ön yaprak yaylarının arka oturma yerinin yakınında yoğunlaştığını ve bunun da yorulma çatlaklarının erken ortaya çıkmasına neden olduğunu gösterdi. Orijinal şaside, çatlamanın ortaya çıkmasının iki ana nedeni, şasi ile ön yaprak yaylarının arka oturma yeri

arasındaki karmaşık ve büyük etkileşim yükleri ve orijinal şasideki ön yaprak yaylarının arka oturma yerindeki tasarım hatası olarak belirlendi. Çatlama sorununun ise çeşitli iyileştirmelerin uygulanmasıyla çözülebildiği belirtildi. Şasideki ilgili bölümünün değiştirilmesi, şasinin eğilme mukavemetini arttırdı. Şasideki açıklıkların modifiye edilmesi, iç plaka ile alt yüzey arasındaki ara yüzün sürekli olmasını sağlamıştır. Ön yaprak yaylarının arka oturma yerini daha geniş yapmak, gerilmeleri etkileyen cıvatalar arasındaki eğilme momentini azalttı. Gerçekleştirilen tasarım iyileştirmelerinin çatlama yol açan gerilme konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığı görüldü ve bunun neticesinde tasarımı iyileştirilmiş şasinin beklenen çalışma süresini başarıyla tamamlamış olduğunu gözlemlendi. Bu iyileşme sonucunda şaside yorulma çatlakları oluşturan gerilmelerin 235 MPa'dan 43 MPa'ya düşmesi sağlandı ve şasinin beklenen çalışma süresinde herhangi bir yorulma hasarına rastlanılmadı. Şekil 18'de çalışmaya konu olan kamyon şasisindeki, ön yaprak yaylarının arka oturma yerlerinin orijinal hali ve tasarım değişikliği sonucu ilgili bölgenin son hali görülmektedir [15].



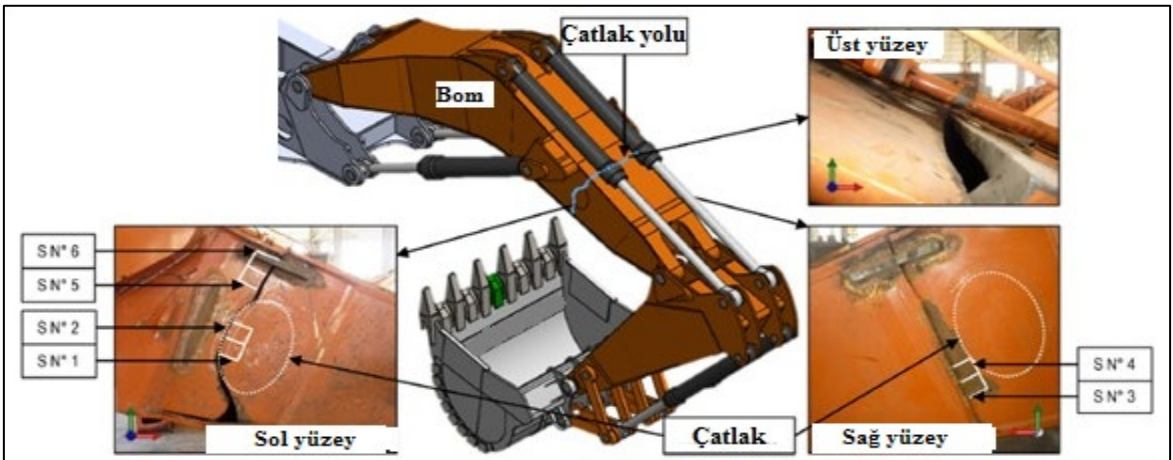
Şekil 17. Şasi üzerindeki ön yaprak yaylarının arka oturma yerinin yakınında görülen çatlakların yerini gösteren detay görüntüleri [15].



Şekil 18. Şasideki ön yaprak yayların arka oturma yerlerinin; a) orijinal hali, b) tasarım değişikliği sonucu ilgili bölgenin son hali [15].

Şaside yapılan tasarım değişikliği, ilgili bölgedeki gerilme yığılmasını daha üniform hale getirerek gerilme konsantrasyonu azaltılmıştır [15].

Maury vd., bir kömür madenindeki hidrolik ekskavatörün (23 m³ kapasiteli) bom bölümünün yaklaşık 40.000 saatlik çalışmasından sonra bomunun enine kesitinin %75'ini kaplayan çatlığın hasar analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu hasarın madendeki diğer ekskavatörlerde oluşmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Hasarın tespiti için çeşitli muayene yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde bom üzerindeki hasarın ilgili bölgede kullanılan malzemenin söz konusu yerde oluşan gerilmelere karşı yeterli mukavemette olmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu kısım üzerinde oluşan gerilmelere karşı mukavemetli malzemeyle onarılarak sorun giderildi. Şekil 19'da çatlığın bom üzerindeki yeri ve çatlığın bom üzerinde ilerlediği yüzeylere ait görüntüler görülmektedir [16].

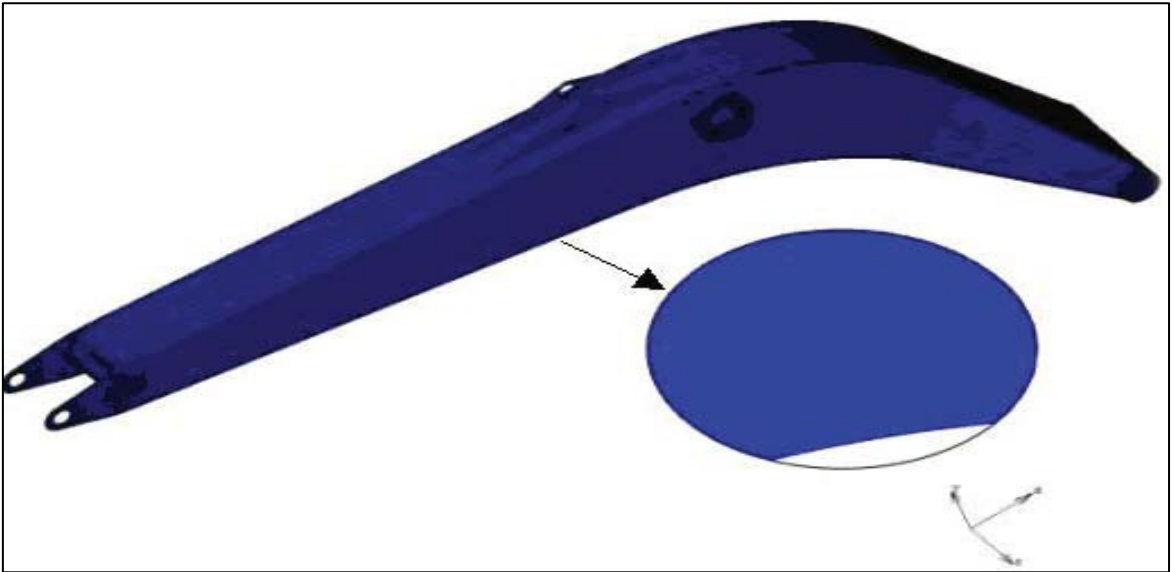


Şekil 19. Çatlığın bom üzerindeki yeri ve çatlığın bom üzerinde yürüdüğü yüzeylere ait görüntüler [16].

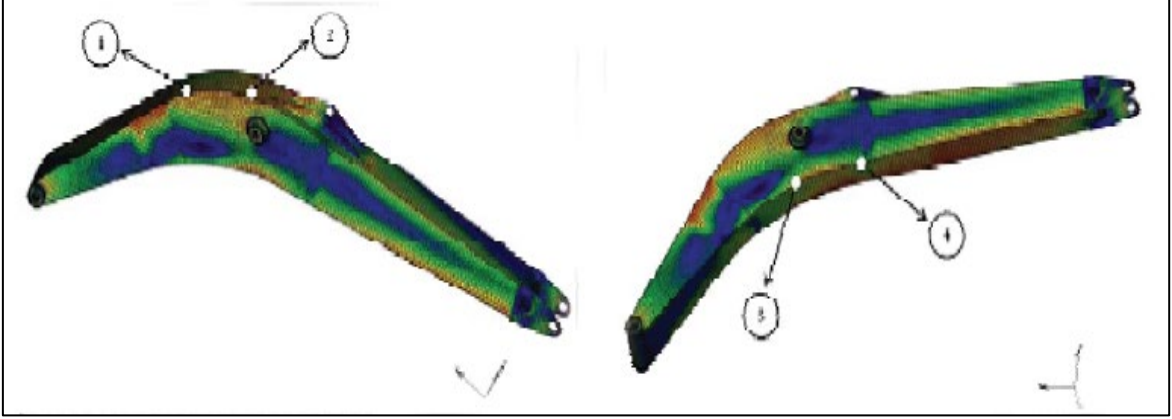
Bom üzerinde çatlağın ilerlediği bölgede kullanılan malzeme mukavemetinin artırılmasıyla etki eden gerilmelerin yorulma dayanım sınırlarının altında kalacağı belirtilmiştir [16].

Dağ vd., Hidromek Ltd. şirketi tarafından imal edilmekte olan HMK220LC-2 model 22 ton kapasiteli bir ekskavatör bomunun parametrik üç boyutlu sonlu elemanlar modelini geliştirdiler. Bu model kullanılarak ekskavatör bomu üzerinde istenilen noktalarda eşdeğer Von Mises gerilme dağılımı hesaplayabildiler. Ekskavatör kepçesinin sabit büyüklükte çevrimsel yüke maruz kaldığı varsayılarak değişik noktalar için yorulma hesaplamalarını yaptılar. Dayanıklılık sınırı ve Goodman yaklaşımının kullanıldığı yorulma hesaplarında farklı tasarım geometrileri için yorulma ömründe meydana gelen farklılıklar incelendi. Elde edilen sonuçlar farklı dayanıklılık sınırı kullanılarak yapılan hesapların ömür hesaplamalarında birbirine yakın sonuçlar ortaya koydu. Bu çalışmada, geliştirilen modelin parametrik olmasının getirdiği avantajlar kullanılarak tasarım değişikliklerinin hızlı bir şekilde ele alındı ve farklı yükleme koşullarında gerilme dağılımları hesaplandı. Makina tasarımında yapılan değişikliklerin yorulma ömrü üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak hesaplanabildi. Çalışmaya konu olan ekskavatör bomunun; Şekil 20’de analizde kullanılan sonlu elemanlar modeli, Şekil 21’de sonlu elemanlar analizi neticesinde elde edilen eşdeğer Von Mises gerilme dağılımları görülmektedir [17].

Bu çalışmada parametrik analiz modelinin kullanılması ile incelenen bölgeye etkileyen gerilmelerin hesabının efektif yapılabilmesi nedeniyle analizin daha başarılı ve gerçekçi sonuç verdiği görülmüştür [17].



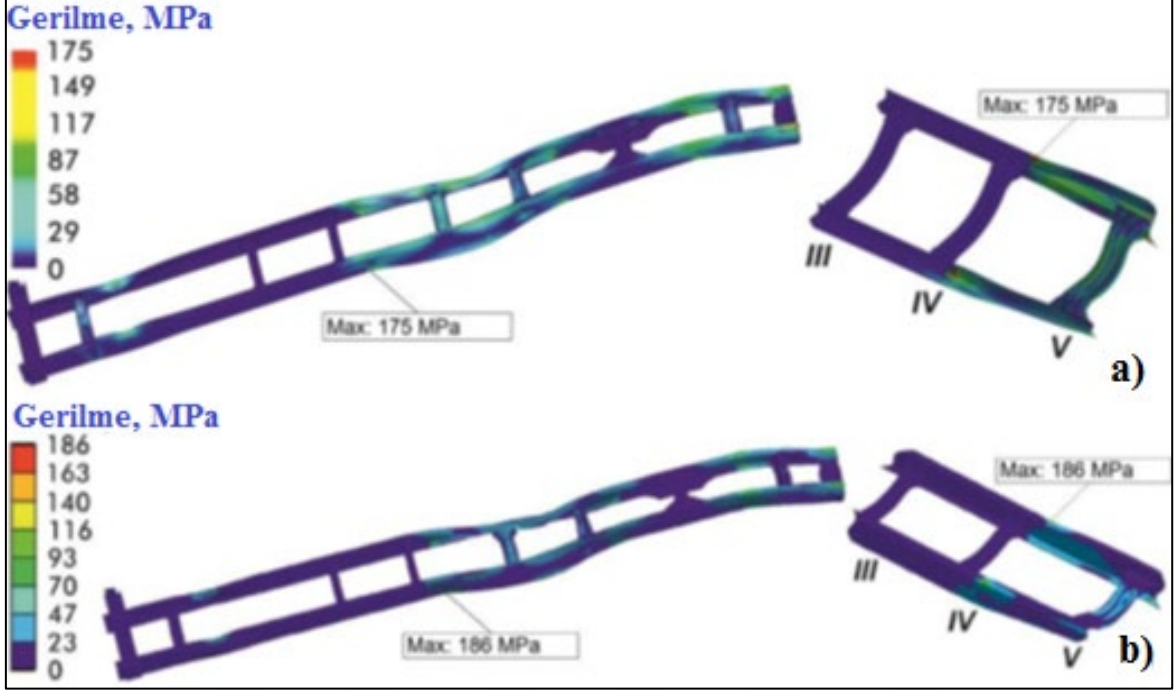
Şekil 20. Ekskavatör bomunun sonlu elemanlar modeli [17].



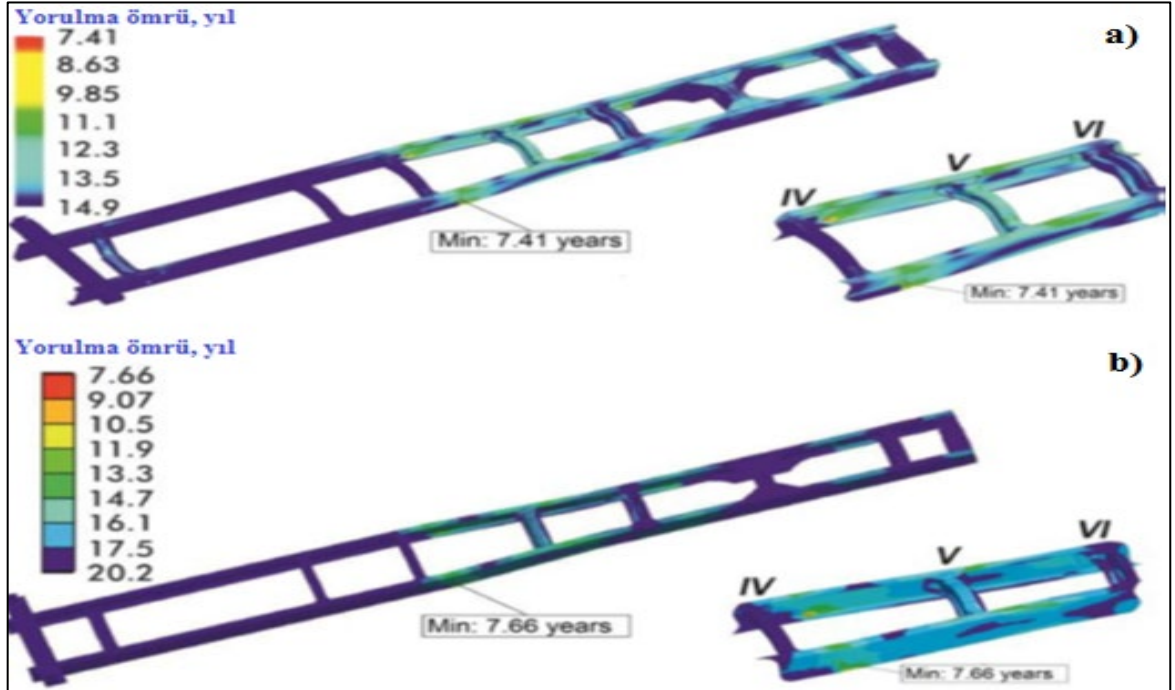
Şekil 21. Ekskavatör bomunun eşdeğer Von Mises gerilme dağılımları [17].

Savkin vd., servis yükü altında kamyon şasi yorulma ömrünün tahmini üzerine yaptıkları çalışmada şasisinin titreşim yükleri ve dinamik gerilmelerinin deneysel ve teorik araştırmalarına yönelik yöntemleri sundular. Sonlu eleman gerilmesi ve ivmesinin karşılaştırmalı analizi, SolidWorks ve Ansys yazılımı ile araç yol testleri sırasında elde edilen dirençli gerinim ölçüleri ve g-metre verileri kullanılarak gerçekleştirildi. Araçların yük taşıyan yapıları; hıza, akım ağırlığına, yol profiline ve diğer faktörlere bağlı olarak zaman ve frekans değişkenli harici yüklere maruz kalır. Bu tür bir yükleme modu, yorulma çatlaklarının ortaya çıkmasına ve bunların ilerlemesiyle kırılmaya neden olabilir. Çalışmada gerçek yol koşullarında şasi üzerindeki gerilmelerin tespiti için kullanılan yol profilleri; beton, düzgün arnavut kaldırım ve düzgün olmayan arnavut kaldırımıdır. Bu çalışmada, sonlu eleman hesaplaması ile tasarımın çeşitli noktalarında hesaplanan gerilme ve ivme değerleri, testler sonucunda elde edilen değerlerle yaklaşık olarak aynı olduğu görüldü. Tasarımın statik durabilitesi sağlandığında ve tüm yol türlerinde hareket sırasında, çalışmaya incelenen şasi üzerindeki en büyük gerilim, Şekil 22’de görülen IV nolu çapraz kolun yakınındaki bir yan elemanın alt tarafında ortaya çıktı. Düşük kaliteli arnavut kaldırımlı yol için aracın hareketinin statik hesaplanmasında gerilim boyutu SolidWorks'te 175 MPa, Ansys'de 186 MPa olarak hesaplandı. Tasarımın yorulma durabilitesi sağlansa bile eski ekipmanın düzgün olmayan yollarda yoğun servisi sırasında yorulma çatlaklarının ortaya çıkmasının mümkün olduğu görüldü. Düzgün olmayan arnavut kaldırımlı yolda aracın sürekli servisinde çalışan bir şasinin yorgunluk dayanıklılığı SolidWorks'te 7,41 yıl ve Ansys'de 7,66 yıl olarak hesaplandı. Çalışmada incelenen şasinin; Şekil 22’de hasarının statik hesaplanmasında a) Solidworks a) ve b) Ansys’de elde edilen gerilme dağılımları,

Şekil 23'te düzgün olmayan arnavut kaldırımlı yoldaki hareketi için a) Solidworks ve b) Ansys'te yorulma durabilitesinin formu görülmektedir [18].



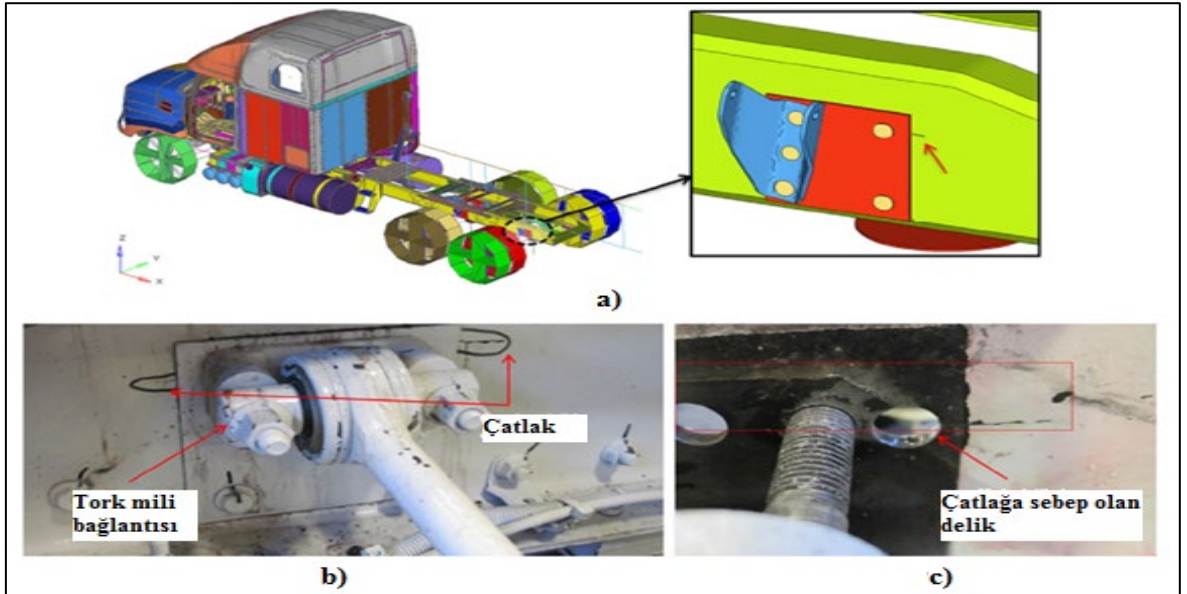
Şekil 22. Şasinin, a) SolidWorks ve b) Ansys'de şasinin hasarının statik hesaplanmasındaki şasi geriliminin dağılımı [18].



Şekil 23. Şasinin, a) SolidWorks ve b) Ansys'de düzgün olmayan arnavut kaldırımlı yoldaki hareket sırasında şasinin yorulma durabilitesinin formu [18].

Yapılan analizlerde, zorlaşan yol koşulları sebebiyle şasi üzerinde ortaya çıkan ek gerilmeler ve dinamik koşulların, şasinin yorulma ömrünü kısalttığı belirlenmiştir [18].

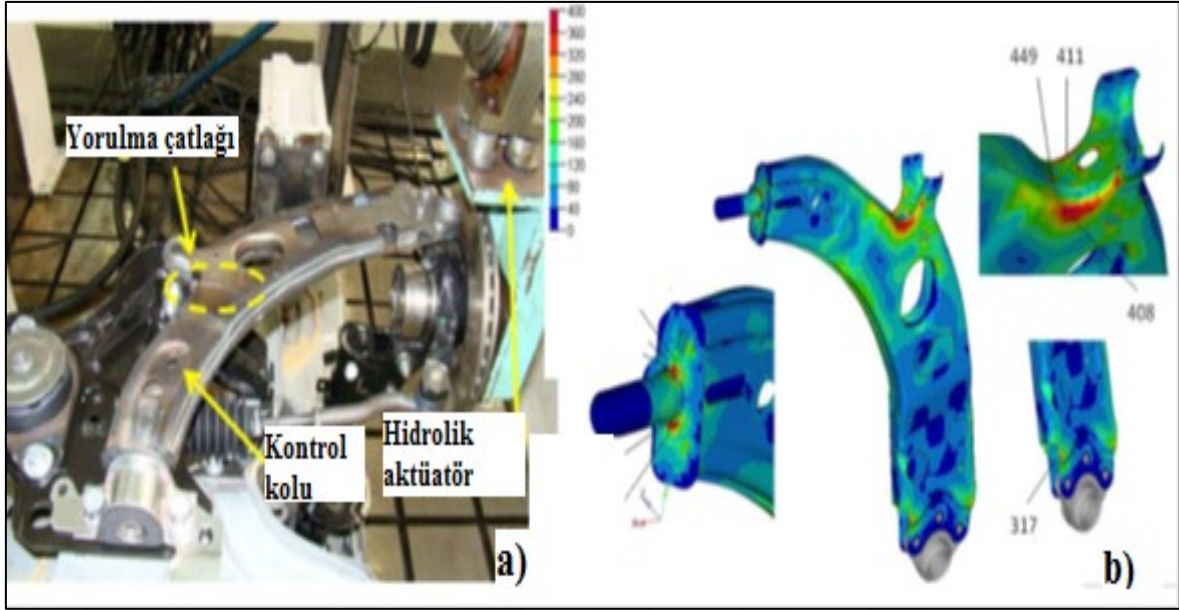
Rao vd., ağır hizmet tipi kamyon şasindeki karışık modlu çatlak büyümesinin analizi üzerine yaptıkları çalışmada, sertlik testi sırasında elde edilen çatlamış bir ağır hizmet kamyon şasisi üzerinde bir hata analizi incelemesi gerçekleştirdiler. Gözlemlenen kırılma, aracın arka tahrik aksına tork mili bağlantısındaki şasi ağındadır. Şasinin bu bölümü yol yükleri altında düzlem dışı eğilme, burulma ve kesme dahil çok eksenli yükleme koşullarını temsil eder. Metalografik inceleme, yüksek gerilim yoğunluğuna sahip bir alanda bulunan açık bir deliğin kenarlarında mikro çatlakları ortaya çıkardı. Bu üretim hatası, bir gerilim arttırıcı görevi gördü ve yorulma çatlağının başlamasına neden oldu. Tam bir araç modelinden dinamik yükler kullanılarak şasideki çatlak büyümesinin simülasyonu tamamlandı. Çatlağın, önceden açılan bir delik nedeniyle meydana geldiği sonucuna varıldı. Çalışmada, deneysel gözlemlere ve simülasyon sonuçlarına dayanarak, önceden açılmış deliğin, şasinin yüksek gerilimli bölgelerinde küçük çatlaklar başlattığı ve bunun da aracın dinamik yükleri altında çatlak büyümesine neden olduğu görüldü. Çalışma, ağır hizmet kamyonlarındaki şasi çatlaklarının arıza analizine uygulanan başarılı bir metodoloji sağladı ve bunun, diğer mühendislik arıza analizi problemleri için de uygulanabileceği düşünüldü. Şekil 24’de çalışmaya konu olan kamyon şasisindeki çatlağın, araç çizimindeki ve araç üzerindeki yerinin detayları görülmektedir [19].



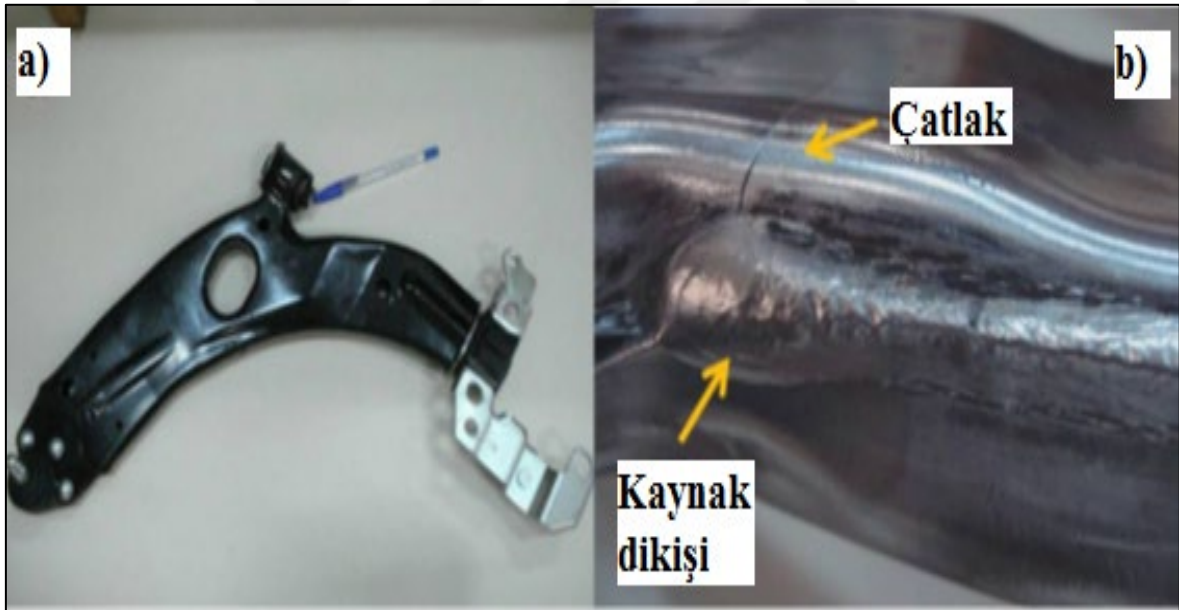
Şekil 24. a) Aracın şematik çizimi ve şaside oluşan hasarın yeri, b) Tork mili bağlantısının yakınında görülen şasi çatlakları, c) Tork mili bağlantısının yakınında bulunan, şaside önceden açılmış ve çatlağa sebep olan delik [19].

NASTRAN sonlu eleman çözücüsü ile birleştirilen FRANC3D çatlak yayılma aracı, çatlak ilerleme mekanizmasını gerçeğe uygun şekilde simule ettiğinden başarılı sonuç verdi [19].

Godefroid vd., kaynaklı bir araç parçasının yorulma hatası üzerine yaptıkları çalışmada yüksek mukavemetli ve düşük alaşımlı çelikten yapılmış kaynaklı imalat ile üretilen bir kontrol kolundaki (araç hareket sisteminin bileşeni) yorulma çatlağının nedenini araştırdılar. Kontrol kolunun yorulma çatlama standartlaştırılmış yorulma yükleme bloklarının uygulanması sırasında meydana geldi. Malzeme özellikleri ve çatlak yüzeyi dikkatli bir şekilde değerlendirilerek tüm standart çatlak analizi prosedürleri uygulandı ve kaynak işleminin başlangıcında kaynak dikişi yakınında yorulma çatlaklarının başladığı sonucuna varıldı. Bu bölgenin derinlemesine bir analizi, kaynak başlangıcındaki aşırı miktarda ısı nedeniyle gerilim yoğunlaşmasının varlığını ve çeliğin mikro yapısının tamamen değiştiğini gösterdi. Çalışmada, yorulma testinde kontrol kolu için belirtilen kullanım ömrü sağlanarak, kaynak prosedürünün değiştirilmesi önerildi. Gerçekleştirilen stres analizi, özellikle yorulma çatlağı bölgesinde stres konsantrasyonunun varlığını tespit etti. Kontrol kolunun imal edildiği çelik, kolun kendinden beklenen çalışma fonksiyonlarını yerine getirebilecek mekanik özelliklere sahip olduğu görüldü. Kaynak prosedürünün başlangıcı, nispeten yüksek ısı girdisi ile yapıldığını gösteren yüksek malzeme birikimi ile gerçekleşir. Bu yüksek miktardaki ısının sonucunda artan sıcaklık malzemede mikro-yapısal değişikliklere yol açarak malzeme özelliklerinde önemli oranda kayba yol açtığı görüldü. Kaynak işleminin başlangıcındaki yüksek ısı girdisi sonucunda artan sıcaklık malzemenin iç yapısında değişikliğe yol açarak, ilgili bölgede malzeme mukavemetinin önemli oranda düşmesine sebep olduğu belirlenmiştir. Kontrol kolunun; Şekil 25'te yorulma testi ve gerilme analizi, Şekil 26'ta yorulma testinin ardından kaynak dikişindeki çatlağı görülmektedir [20].



Şekil 25. a) Yorulma ile test edilen bir kontrol kolu. b) Kontrol kolundaki gerilim analizi [20].



Şekil 26. a) Yorulma testinden sonra bir kontrol kolu. b) Kaynak dikişindeki yorulma çatlamaasının detayı [20].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Yatay Mikserlerin Genel Tanıtımı ve Şasi Yapısı

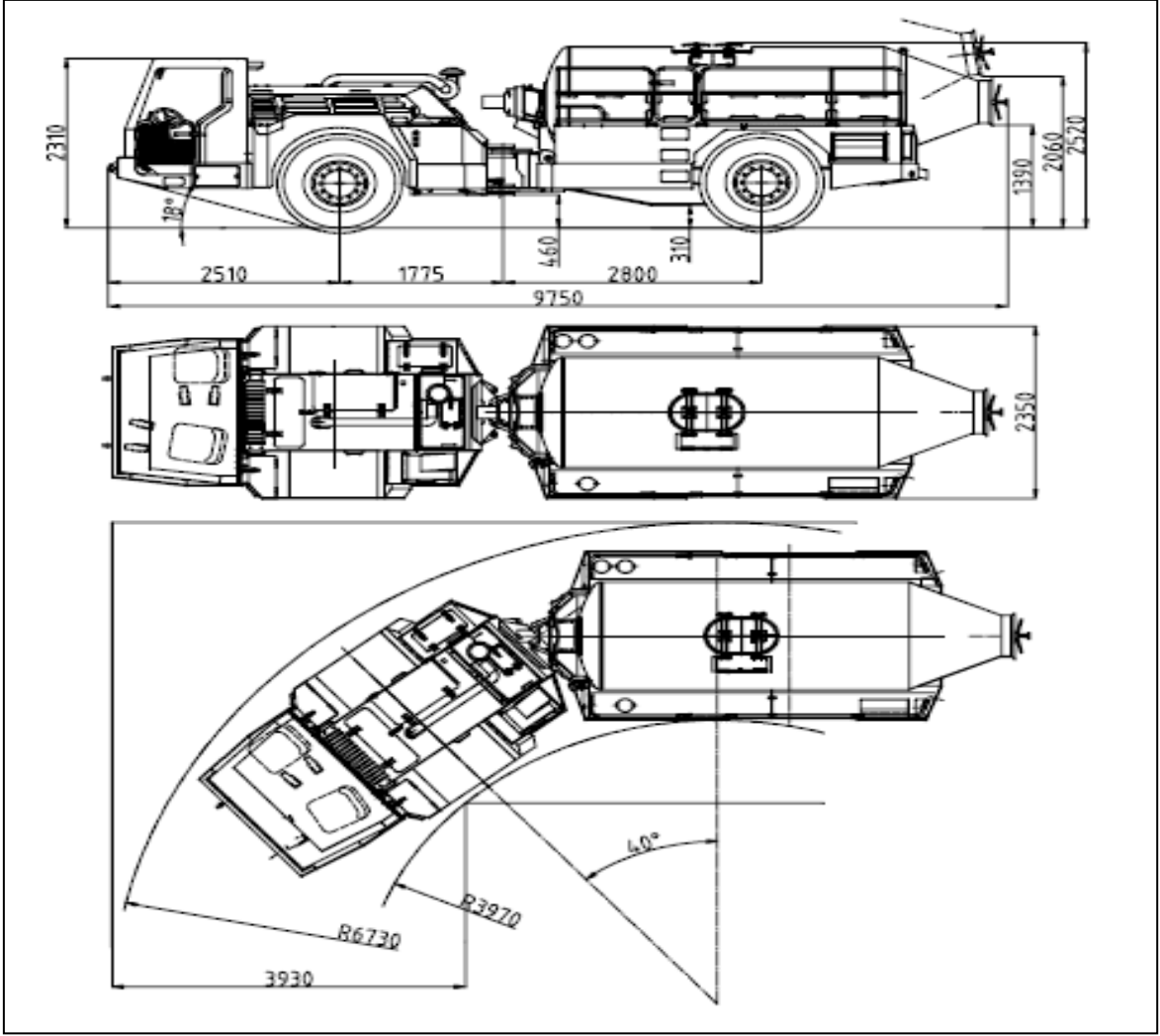
Çalışmaya konu olan yer altı yatay mikseri Şekil 27’de görülmektedir. Aracın genel boyut ölçüleri ise Şekil 28’de görülmektedir.



Şekil 27. Çalışmaya konu olan yer altı yatay mikseri [12].

Söz konusu araç 7,1 m³ beton taşıma kapasitesine sahiptir. Beton kazanının üst kısmında dolum kapağı, arka kısmında ise boşaltma kapağı mevcuttur. Beton kazanının içinde, helezon şeklinde boydan boya sac levha montajlıdır. Beton kazanına monte bir hidromotor sayesinde kazan kendi ekseninde dönebilmektedir. Bu dönüş sisteminin ve beton kazanının içindeki helezon yapının 2 görevi vardır bunlar;

1. Dönme kabiliyeti sayesinde betonun, ihtiyaç duyulan yere, nakli esnasında kazan içinde donmasını önlemek ve helezon yapı sayesinde, betonun homojen olarak karışmasını sağlamak.
2. Betonlu ilgili yere nakledildikten sonra boşaltmak. Bu aşamada kazan arkasındaki kapak aracın operatörü tarafından açılır ve kazan döndürülmeye başlanınca içindeki helezon yapı sayesinde beton, kazanın içinden dışarıya, kazan yatay vaziyetteyken, dökülür. Şekil 29’de betonun, mikser kazanından dışarı transferi görülmektedir.



Şekil 28. Çalışma konu olan yer altı yatay mikserinin genel boyutları [12].



Şekil 29. Betonun, mikser kazanından dışarı transferi [12].

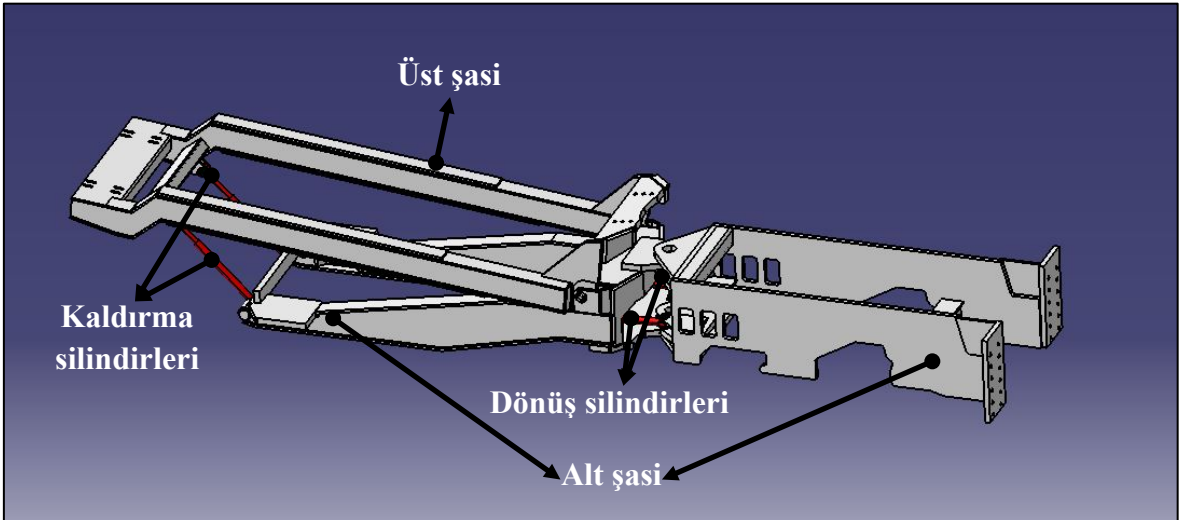
Sürücü kabini iki kişi taşıma kapasitesine sahip, ROPS (Roll-Over Protection Certificate - Devrilmeye Karşı Koruyuculuk Sertifikası), FOPS (Falling Object Protective Certificate - Malzeme Düşmesine Karşı Koruyuculuk Sertifikası) sertifikalıdır. Bu sertifikalar, sürücü kabini içerisindeki kişilerin, aracın yer altındaki operasyonu esnasında yaşanabilecek olası tehlikelere karşı, sürücü kabini tarafından korunabilecek kadar mukavemetli olduğunu tesciller.

Araç üç ileri, üç geri vitesli otomatik şanzımana, 165 kW maksimum güç üretebilen, su soğutmalı 6 silindir turbo dizel motora ve 4 tekerden çekiş sistemine sahiptir. Aracın ağırlığı 12500 kg'dır.

Araç üzerinde otomatik ve manuel yangın söndürme sistemleri mevcuttur. Otomatik yangın söndürme sistemi, aracın motor bölgesinde, herhangi bir açık alev, yangın vb. algılayabilecek ve algıladıktan sonra kendiliğinden devreye girebilecek kabiliyettedir. Manuel yangın söndürme ise araç üzerindeki yangın söndürme tüpleriyle, aracın operatörü tarafından yapılan yangın söndürme işlemidir.

Araç üzerindeki yüzey yağlama sistemi sayesinde, operasyona başlamadan evvel, aracın tüm yüzeyi bu sistemin tabancasıyla basınçlı olarak, sistemin yağı ile kaplanır ve tüm yüzeye yapılan bu kaplama sayesinde operasyon esnasında araç yüzeyine beton yapışıp kalmaz. Operasyon sonrası araç yıkanırken üzerindeki tüm kirlilikler (beton atıkları, yüzeye püskürtülen yağ vb.) kolayca araç yüzeyinden uzaklaştırılır.

Araç alt ve üst olmak üzere S355JR2 malzemeden üretilmiş 2 şasiye sahiptir. Şekil 30'de araç şasileri gösterilmiş ve temel kısımları tanıtılmıştır.



Şekil 30. Araç şasileri ve temel kısımlarının tanıtımı

Alt şasi aracın tüm ekipmanlarını taşıyan belden kırmalı boydan boya temel şasisidir. Belden kırılma işlemi, 2 parça olan alt şasinin orta kısımdan pivotlu yapısı ve 2 adet dönme silindiri sayesinde, aracın manevra kabiliyetini tanımlar. Yer altında galerilerin yer yer dar olması aracın manevra yeteneğini zorlar. Belden kırma dönüş sisteminde, araç manevrasını herhangi bir teker dönüşüyle değil de şasinin ortadan bükülmesiyle yaptığından, ortaya çıkan manevra kabiliyeti, yer altındaki dar ortamlarda, etkin olarak dönüşlerini gerçekleştirmesini sağlar.

Üst şasi belden kırma kısmından aracın arkasına kadar olan, alt şasiye ön kısımdan pivotlu ve arka kısımdan 2 adet kaldırma silindiriyle bağlı, bu sayede açılı olarak yükselip alçalabilen ve beton kazanını taşıyan şasisidir. Bu açılı olarak yükselme sayesinde kazana beton doldurulması esnasında kazan yukarı kaldırılır ve kazan içerisine betonun düzgün olarak ve tam kapasiteyle doldurulması sağlanır. Şekil 31’de mikser kazanına beton doldurulması gösterilmiştir.



Şekil 31. Mikser kazanına beton doldurulması [12].

Araç üzerindeki tüm ekipmanları taşıyan ve araç bütünlüğünü sağlayan şasi, üzerindeki yüklerle beraber yer altı koşullarındaki dar alanlardaki zorlu operasyon koşullarında kendinden beklenen görevi yerine getirirken çoklu dinamik gerilme modlarına maruz kalır. Bu sebeple şasi üzerinde aracın üretici firmasının belirlediği servis ömrü içerisinde yorulma çatlaklarının oluşumu görülebilir. Bu çatlaklar, ilk önce şasi üzerindeki gerilme yığılmalarının yoğun olduğu bölgelerde beklenir ve zamanla ilerleyerek bu

kısımlarda hasara dönüşür. Çalışma koşulları dikkate alınarak şasiye etki eden yükler ve oluşan gerilmelerin analiz edilmesiyle potansiyel hasar başlangıç noktalarının önceden belirlenebilmesi için detaylı bir gerilme analizine ihtiyaç duyulmaktadır.

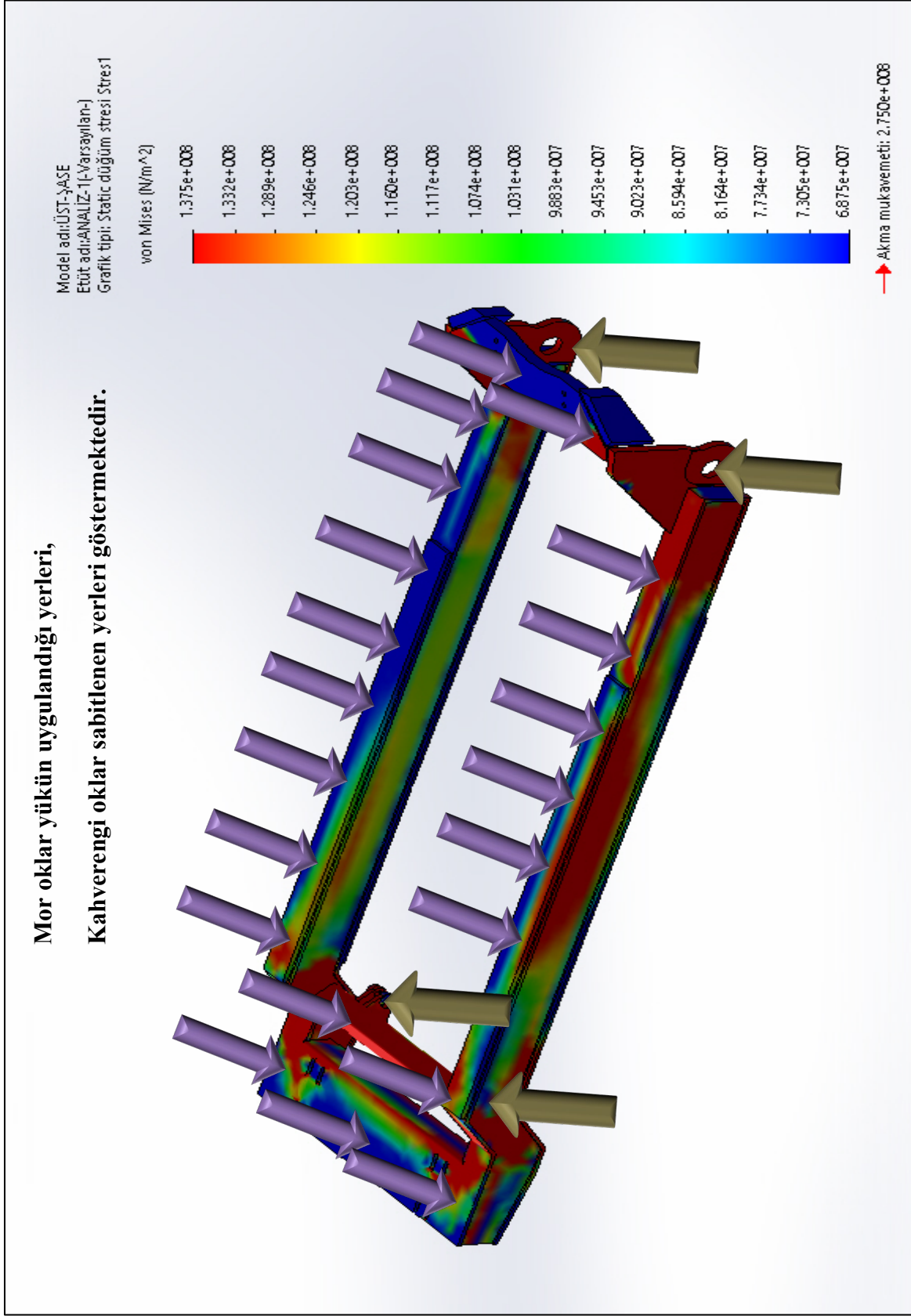
2.2. Gerilme Analizi

Araç şasisinin üç boyutlu modellemesi ve şasinin gerilme analizi Solidworks 2020 yazılımıyla yapılmıştır. Şasi üzerine gelen yüklerin bilgisayar ortamında simüle edilmesiyle ortaya çıkan gerilme analizi sayesinde revizyona başlamadan önce (araç daha tamamen demonte edilip, şasi ortaya çıkarılmadan evvel) şasinin yük altında en çok zorlanan ve onarıma en çok ihtiyaç duyan kısımları, işin başında öngörülmüş ve bu sayede yapılacak onarım çalışmaları hakkında ön fikir elde edilmiştir.

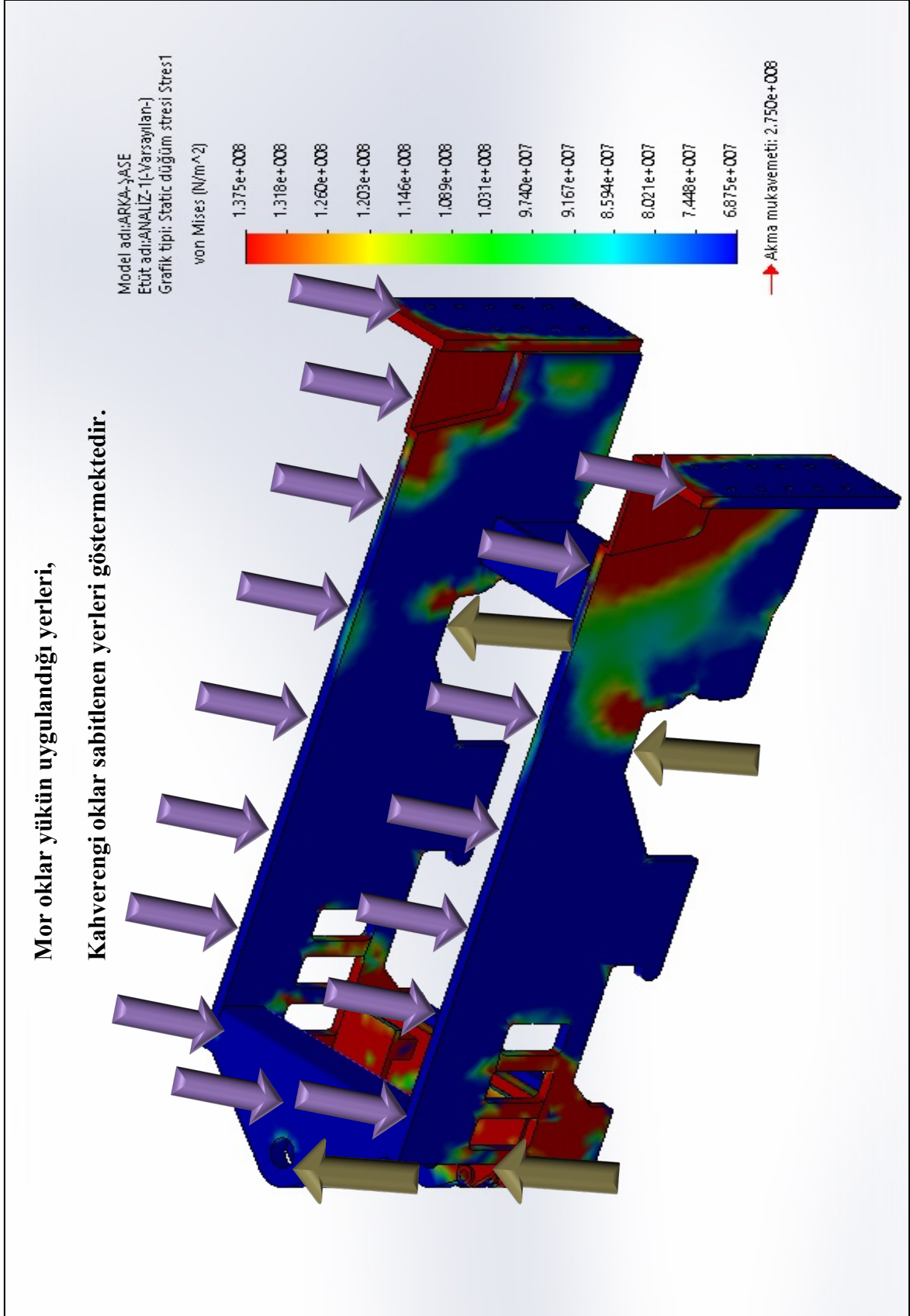
S355JR2 malzemedен üretilen şasinin akma sınırı 275 Mpa olup, analizde emniyet katsayısı; şasinin maruz kaldığı zorlu operasyon koşulları göz önüne alınarak, şasiden beklenen servis ömrü içerisinde üzerine gelen yüklerin akma sınırının %50 altında kalıp, şasi boyutlarının dar yer altı koşullarına uyumu da göz önüne alınıp “2” olarak belirlenmiş ve aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Emniyet katsayısı 2 olarak alınınca şaside müsaade edilen en yüksek gerilme 137,5 Mpa olarak belirlenmiş ve söz konusu bölgeler kırmızı renkle gösterilmiştir.

Üst şasi sadece 7,1 m³ beton taşıma (12400 kg) kapasiteli beton kazanını taşıdığından, kazanın tam dolu halde iken üzerine gelen yüklerle birlikte gerilme analizine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuç Şekil 32’de gösterilmiştir.

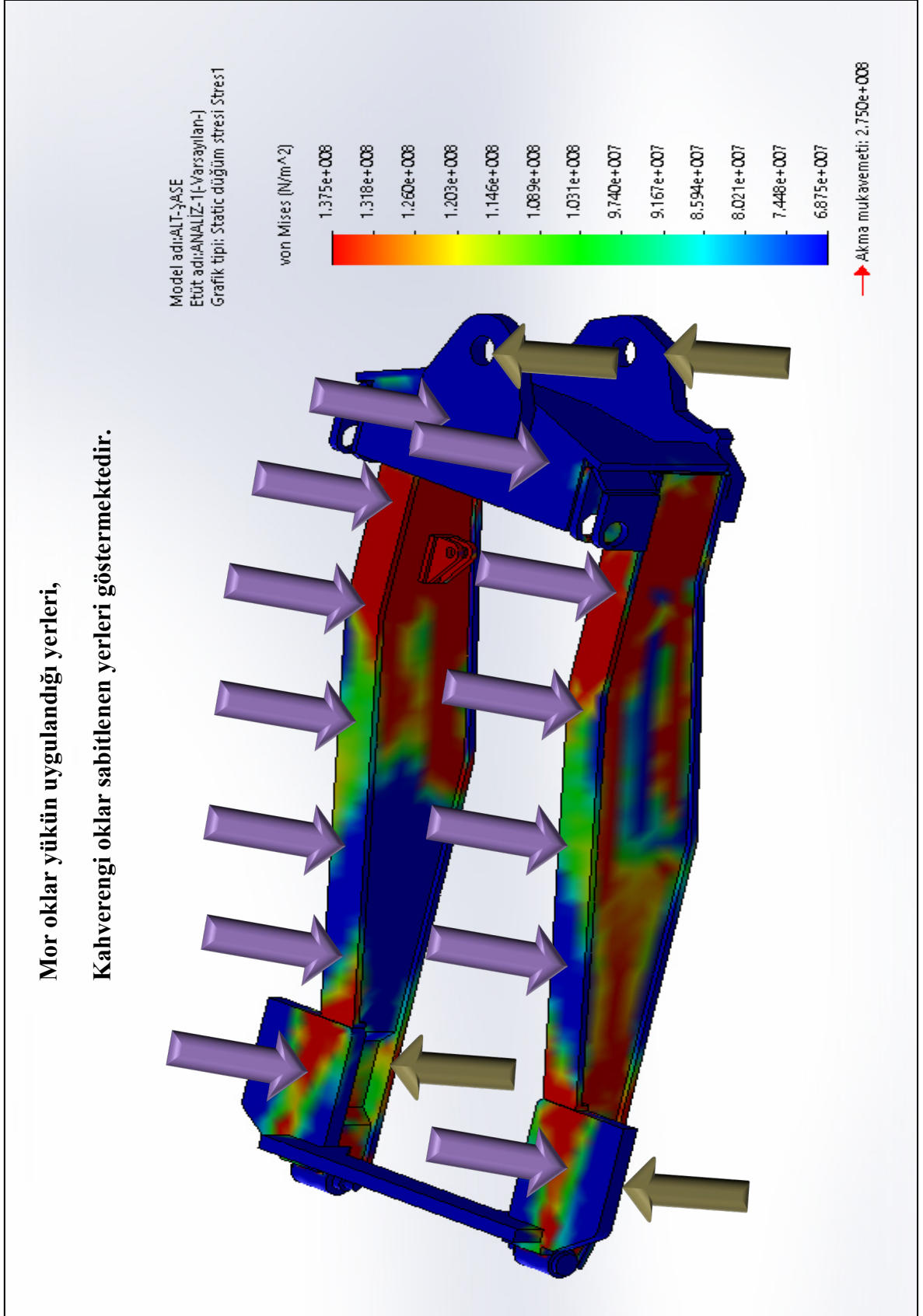
2 parçalı olan alt şasinin aracın tüm ağırlığını (beton kazanı tam kapasite ile dolu halde iken ((24800 kg))) taşıdığı hali bilgisayar ortamında analiz edilmiştir. Söz konusu 2 parçaya gelen yüklerin karakteristikleri birbirlerinden farklı olduğundan 2 parça ayrı ayrı analiz edilmiş ve araç defransiyellerinin bağlı olduğu kısımlar sabit olarak kabul edilip sanki bu noktalardan şasi zemine temas ediyormuş gibi gerekli parametreler bilgisayar ortamında ayarlanıp, gerçek durumu ortaya koymaya yakın bir simülasyon yapılmaya çalışılmıştır. Şekil 33’de alt şasinin ön kısmının, Şekil 34’de alt şasinin arka kısmının bilgisayar ortamındaki gerilme analizi gösterilmiştir.



Şekil 32. Üst şasinin bilgisayar ortamındaki gerilme analizi



Şekil 33. Alt şasinin ön kısmının bilgisayar ortamındaki gerilme analizi



Şekil 34. Alt şasinin arka kısmının bilgisayar ortamındaki gerilme analizi

2.3. Belirlenen Onarım Yöntemleri

Serviste kaldığı süre içerisinde maruz kaldığı çok modlu dinamik gerilmeli yüklerin neticesinde mikser şasilerinin üzerinde çatlaklar meydana gelir. Bu çatlaklar şaside mikro çatlaklar olarak başlayıp zaman içerisinde ilerler. Revizyona tabi tutulan şasinin üzerindeki çatlakların bir kısmı çıplak gözle görülebilecek kadar ilerlemiş olup bir kısmı da daha detaylı incelemelerin neticesinde çıplak gözle görülebilecek kadar belirgin hale getirilmesi gerekir. Bu amaçla şasi üzerindeki tüm çatlaklar, önce penetrant sıvı ile ardından manyetik parçacıkla muayene edilmiştir.

2.3.1. Gerilme Analiz Sonuçlarının Hasar Bulgularıyla Karşılaştırılması

Bu kısımda araç tamamen demonte edilip, şasilerin üzerindeki tüm komponentler sökülerek şasiler, çalışma koşulları sonucu karşı karşıya kaldığı durumların detaylı incelemeye başlanılmasına hazır hale getirildi. Şekil 35-36'da üst şasinin, Şekil 37-38'de alt şasinin aracın demontajının sonrasındaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 35. Aracın üst şasisinin, aracın demontajının ardından arkadan görünüşü



Şekil 36. Aracın üst şasisinin, aracın demontajın ardından yandan görünüşü



Şekil 37. Aracın alt şasisinin, aracın demontajının ardından arkadan görünüşü



Şekil 38. Aracın alt şasisinin, aracın demontajının ardından yandan görünüşü

Aracın demontajının ardından araç şasileri, şasi çeliği üzerindeki tüm katmanların (beton kalıntıları, boya vb.) ortadan kaldırılması ve hataların ortaya net olarak çıkarılması için kumlandı. Şekil 39'da üst şasinin, Şekil 40'da alt şasinin kumlamadan sonraki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 39. Kumlama sonrası üst şasinin genel görünümü



Şekil 40. Kumlama sonrası alt şasisinin genel görünümü

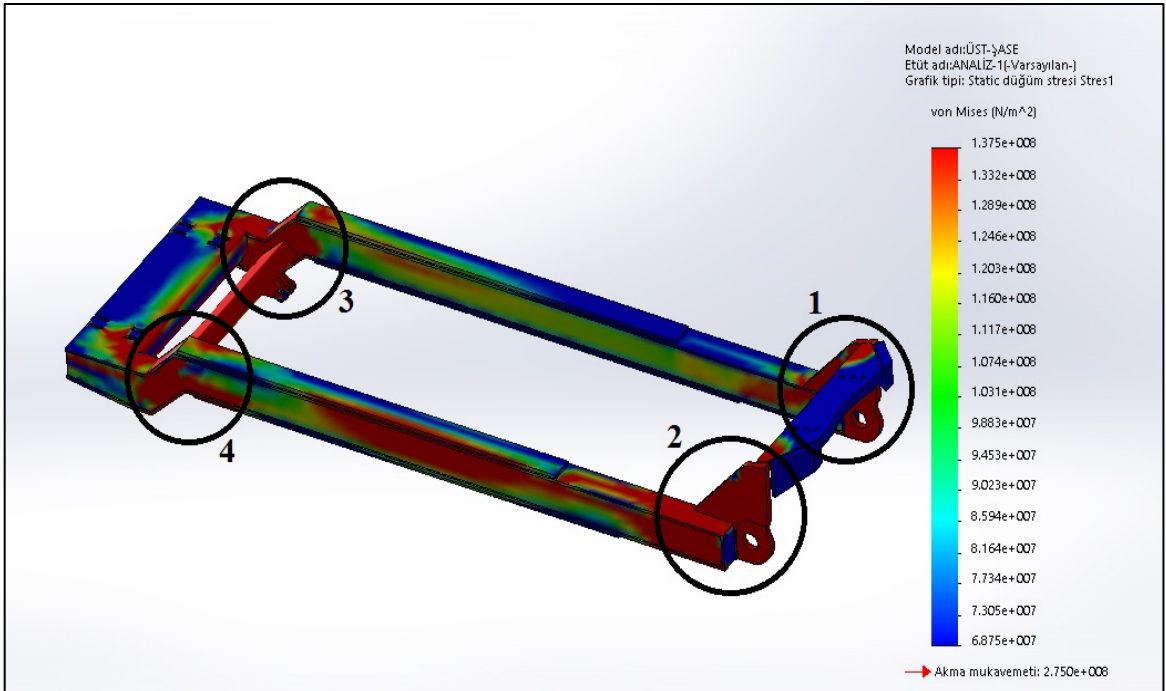
Tahribatsız muayene çalışmaları üst şasinin alt şasiden ayrılmasının akabinde tüm şasilerin kumlanmasının ardından başladı. Görsel muayene araç kumlanmadan önce ve araç kumlandıktan sonra aracın kaynaklarının durumu, çatlakların, gözeneklerin vb.

kaynak hatalarının tespitini kapsayan detaylı incelemeyi içermektedir. Ayrıca penetrant ve manyetik muayene öncesi ve sonrası da görsel muayene her safhada uygulanmıştır.

Tahribatsız muayeneler ilgili standartlar kapsamında gerçekleştirilmiştir. Görsel muayene ISO 17637 Ergitme Kaynaklarının Tahribatsız Muayenesi - Ergitme Kaynaklı Birleştirmelerin Gözle Muayene standardı kapsamında gerçekleştirilmiştir. Kaynak dikişlerinin görsel muayenesi EN ISO 5817 Kaynaklı Birleştirmeler - Kusurlar için Kalite Seviyeleri Standardında örsel muayene ile tespit edilebilecek hataların değerlendirilmesi, süreksizliklerin ilgili kabul seviyesinin üzerine çıktığı durumlarda süreksizliklerin hata olarak belirlenmesi ve hataların tashih için araç üzerinde işaretlenmesi süreçlerini kapsamaktadır.

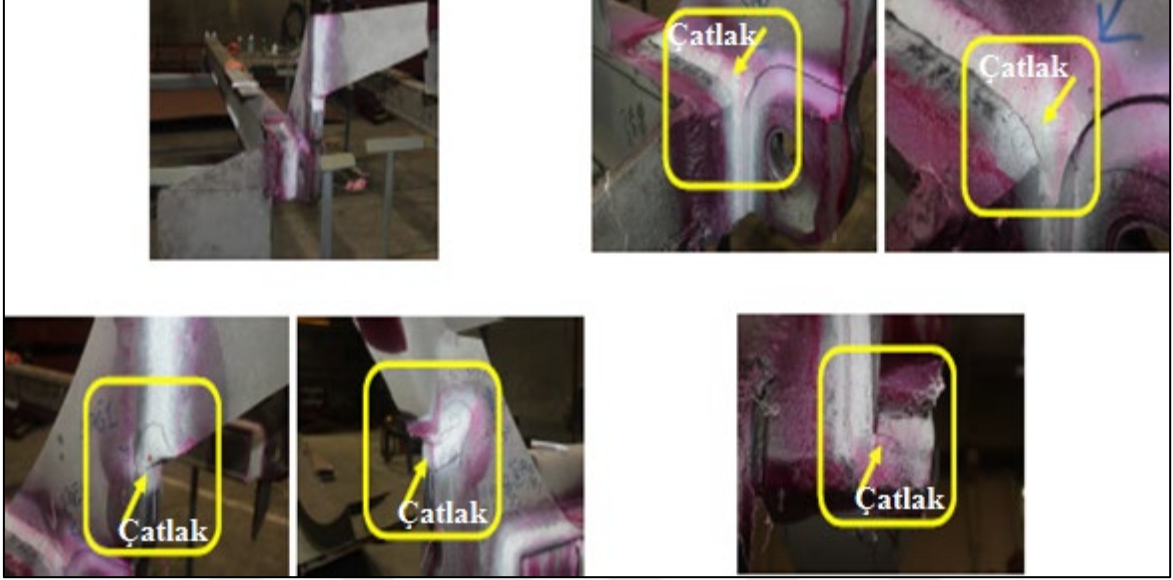
Manyetik muayene testinde EN ISO 23278 Kaynakların Tahribatsız Muayenesi- Kaynakların Manyetik Parçacıkla Muayenesi - Kabul Seviyesi standardında süreksizliklerin ve gözden kaçabilecek çatlak, yüzey delikleri vb. yüzeye açık ve/veya yüzeyin hemen altında bulunan kusurların tespiti ile süreksizlik değerlendirmesi yapılmıştır.

Şekil 41'de üst şasinin kumlama işleminin ardından penetrant sıvı ve manyetik parçacıkla muayene edildikten sonra belirlenen hatalarının, bilgisayar ortamında yapılan gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali verilmiştir.

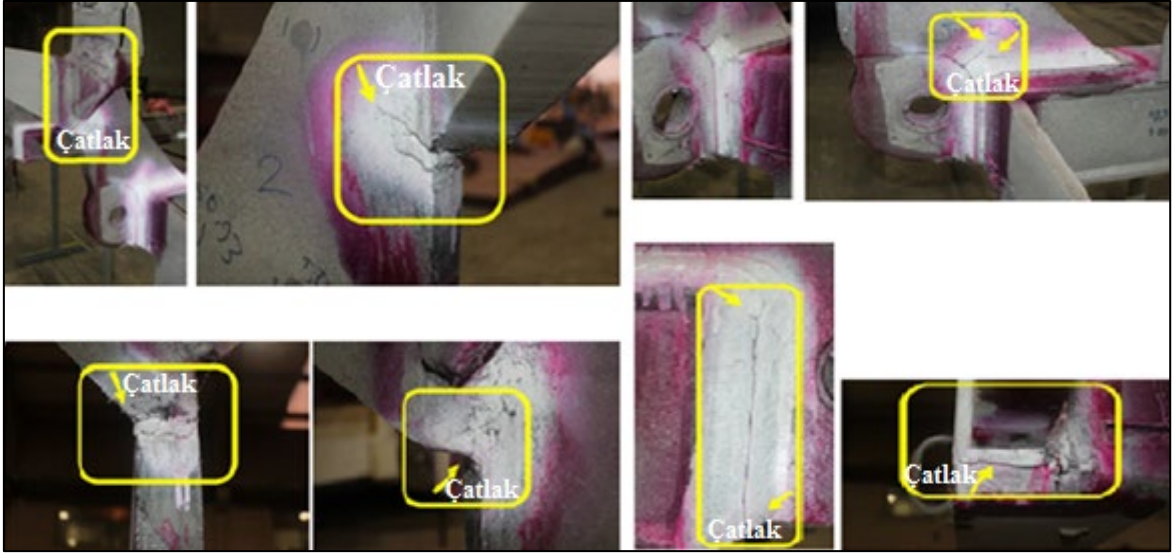


Şekil 41. Üst şaside belirlenen hataların gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali

Tahribatsız muayene uygulamaları sonrası üst şaside belirlenen hatalara ait detay fotoğraflar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekil 41'deki; 1 numaralı kısım Şekil 42'de, 2 numaralı kısım Şekil 43'de, 3 numaralı kısım Şekil 44'de, 4 numaralı kısım Şekil 45'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 42. Üst şaside belirtilen 1 numaralı kısma ait detay görüntüler



Şekil 43. Üst şaside belirtilen 2 numaralı kısma ait detay görüntüler

Şekil 44-45'de belirlenen hatalarda, daha önceden uygulanan tadilat kaynakları ve bu kaynaklar üzerinden tekrar başlayan çatlaklar görülmektedir. Söz konusu bölgeler yüksek gerilme ve dinamik yük altında çalıştığından aracın servis süresinde en çok zorlanan

kısımları buralar olmuş ve dolayısıyla zaman zaman tadilata da en çok ihtiyaç duyan kısımlar da yine bu kısımlar olmuştur. Hatta yine fotoğraflardan görüleceği üzere önceki tadilatlar esnasında bu kısımlara takviye parça uygulaması da yapılmıştır.



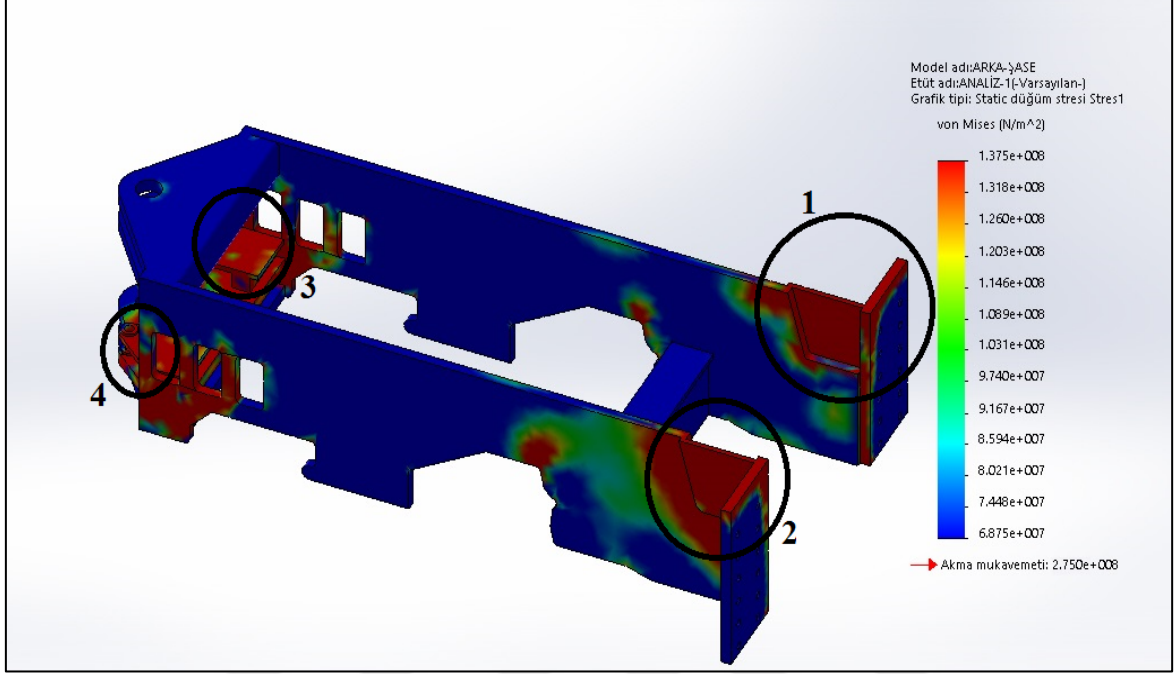
Şekil 44. Üst şaside belirtilen 3 numaralı kısma ait detay görüntüler



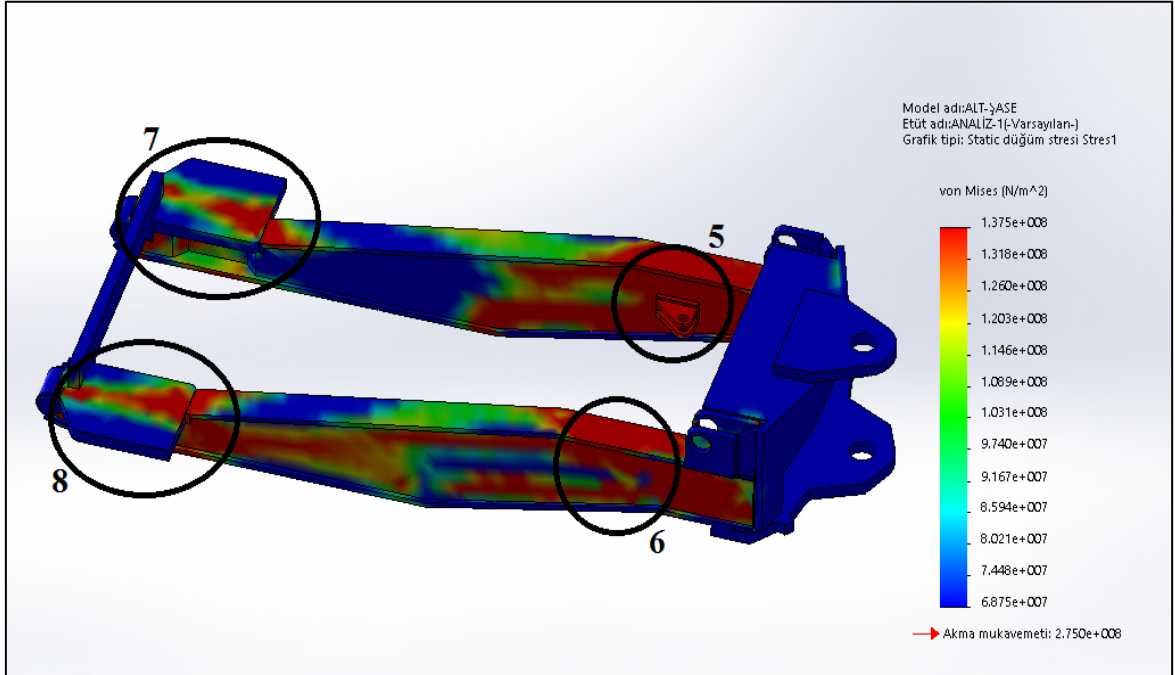
Şekil 45. Üst şaside belirtilen 4 numaralı kısma ait detay görüntüler

Şekil 46'da alt şasinin ön kısmının, Şekil 47'de ise alt şasinin arka kısmının, kumlama işleminin ardından penetrant sıvı ve manyetik parçacıkla muayene edildikten

sonra belirlenen hatalarının, bilgisayar ortamında yapılan gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali verilmiştir.



Şekil 46. Alt şasinin ön kısmında belirlenen hataların gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali



Şekil 47. Alt şasinin arka kısmında belirlenen hataların gerilme analiziyle karşılaştırılmış hali

Tahribatsız muayene uygulamaları sonrası alt şasilerde belirlenen hatalara ait detay fotoğraflar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekil 46'daki; 1 numaralı kısım Şekil 48'de, 2 numaralı kısım Şekil 49'da, 3 numaralı kısım Şekil 50'de, 4 numaralı kısım Şekil 51'de detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 47'deki; 5 numaralı kısım Şekil 52'de, 6 numaralı kısım Şekil 53'de, 7 numaralı kısım Şekil 54'te, 8 numaralı kısım Şekil 55'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 48. Alt şasilerde belirtilen 1 numaralı kısma ait detay görüntüleri

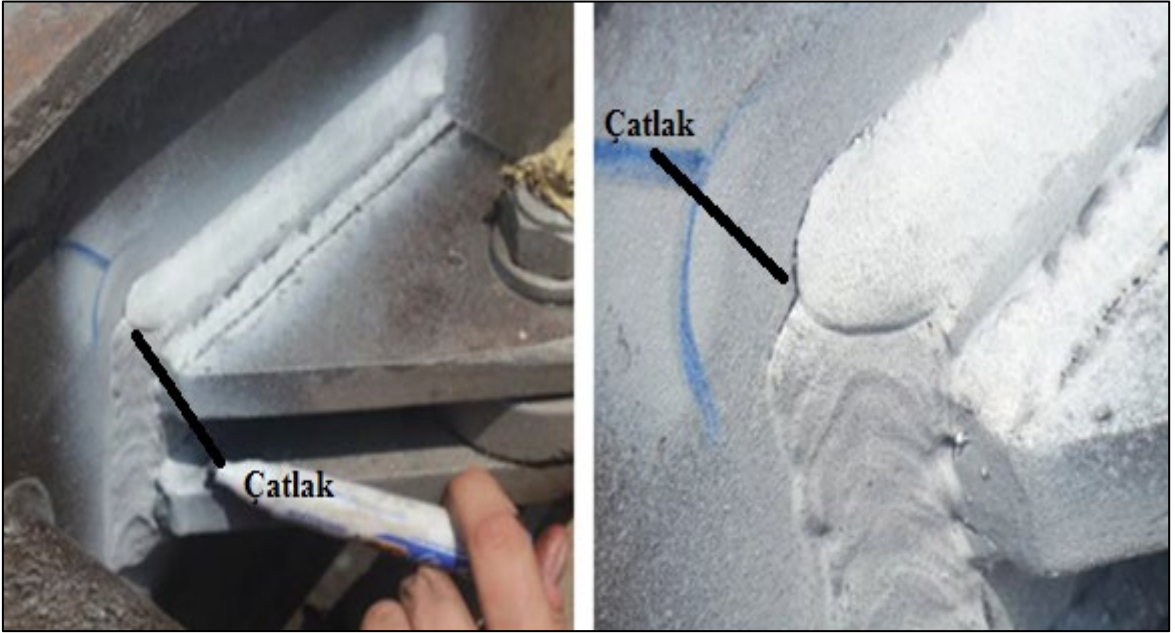


Şekil 49. Alt şasilerde belirtilen 2 numaralı kısma ait detay görüntüleri

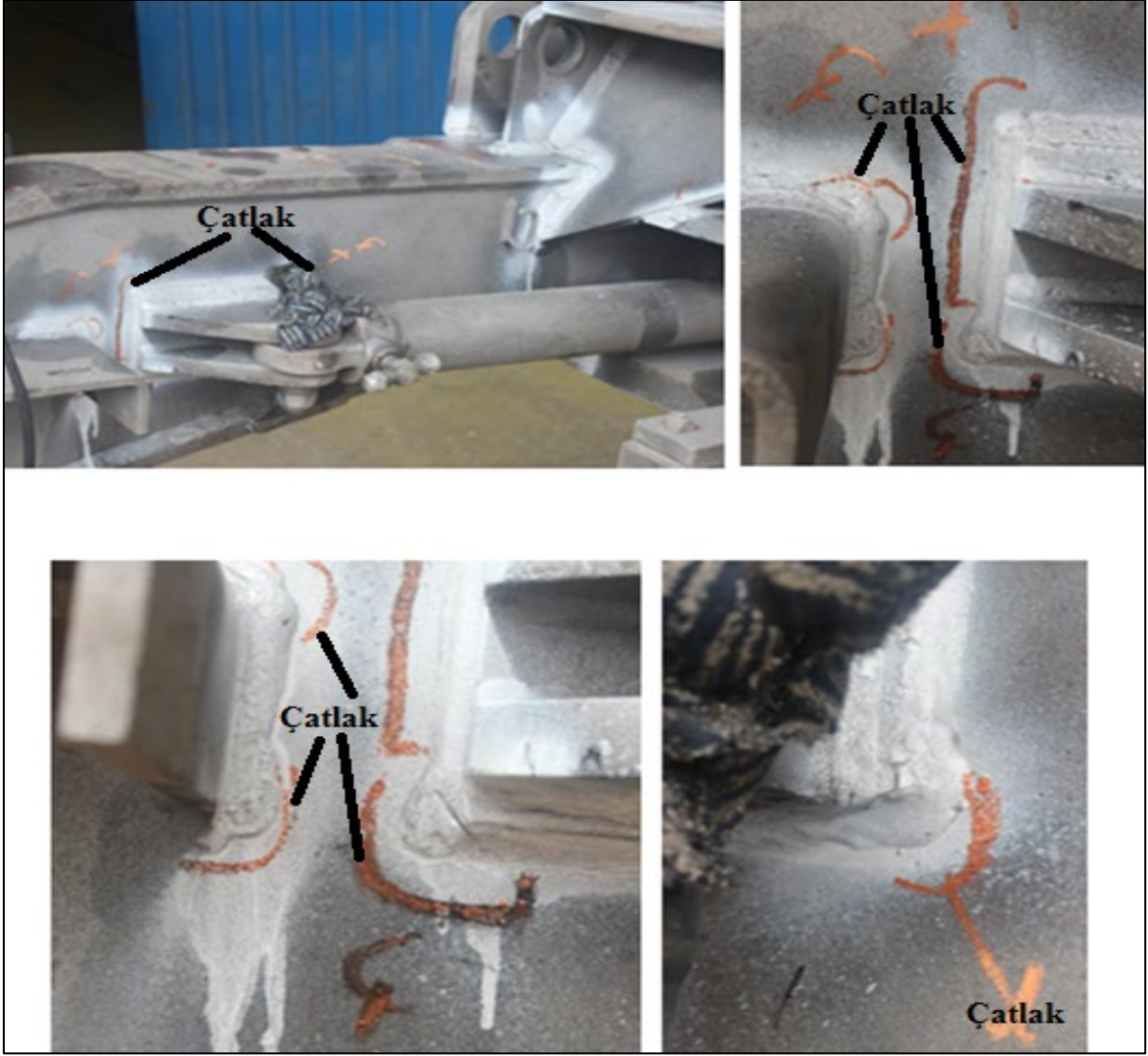
Şekil 50-53'de belirlenen hatalar, daha önceden uygulanan tadilat kaynakları ve bu kaynaklar üzerinden tekrar başlayan çatlaklar görülmektedir. Söz konusu bölgeler yüksek gerilme ve dinamik yük altında çalıştığından aracın servis süresinde en çok zorlanan kısımları buralar olmuş ve dolayısıyla zaman zaman tadilata da en çok ihtiyaç duyan kısımlar da yine bu kısımlar olmuştur.



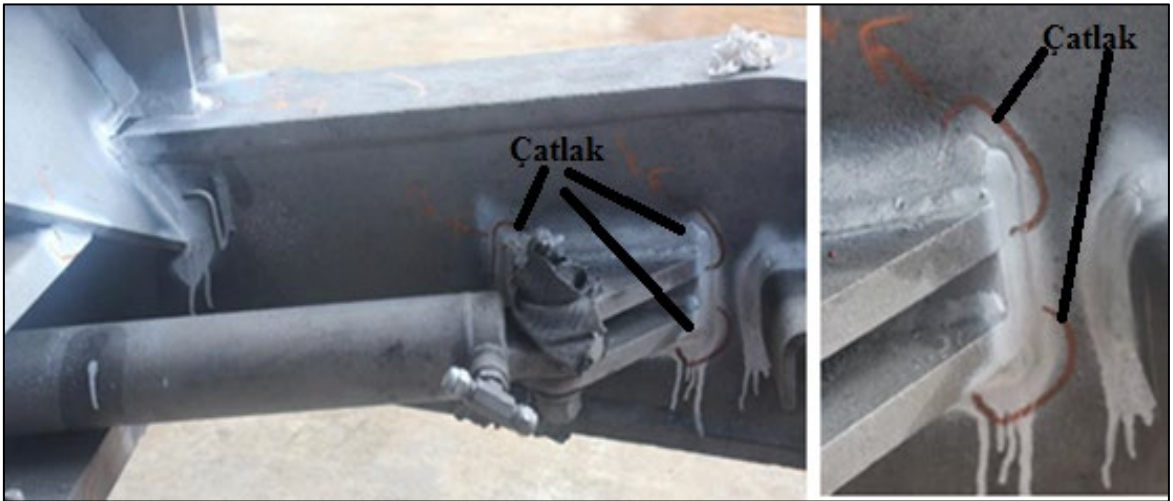
Şekil 50. Alt şasilerde belirtilen 3 numaralı kısma ait detay görüntüleri



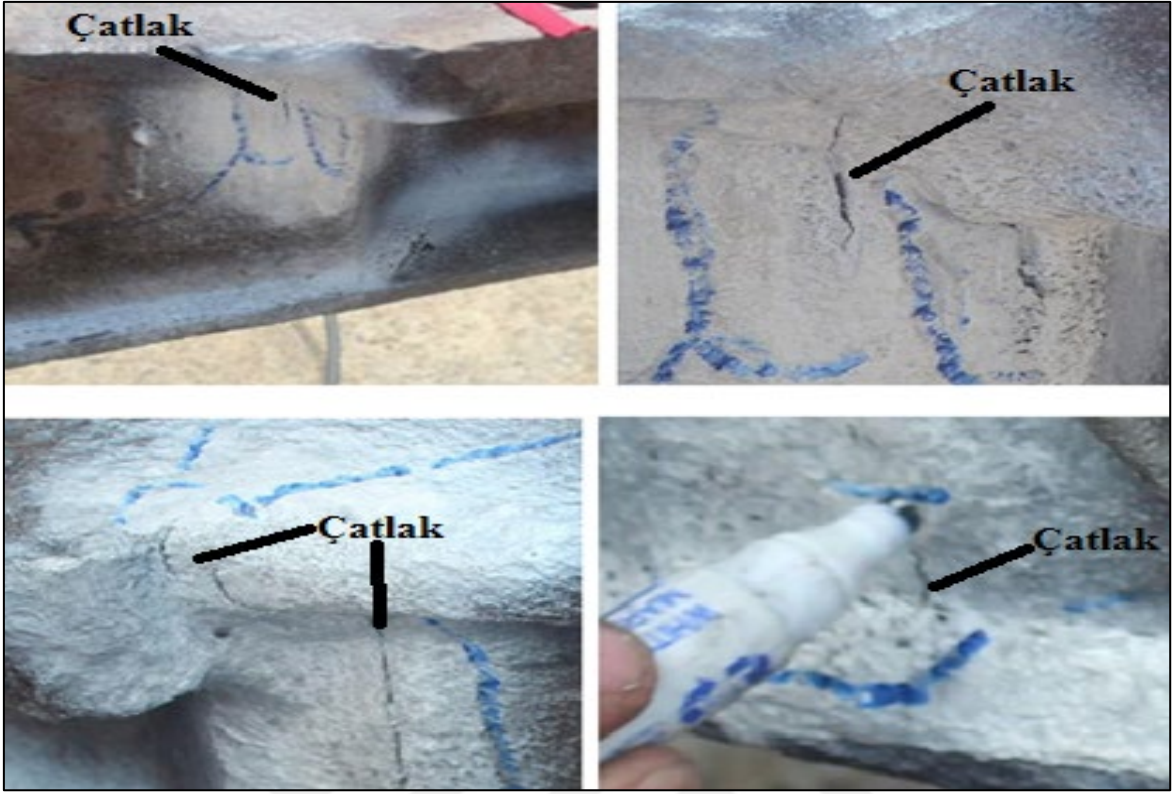
Şekil 51. Alt şasilerde belirtilen 4 numaralı kısma ait detay görüntüleri



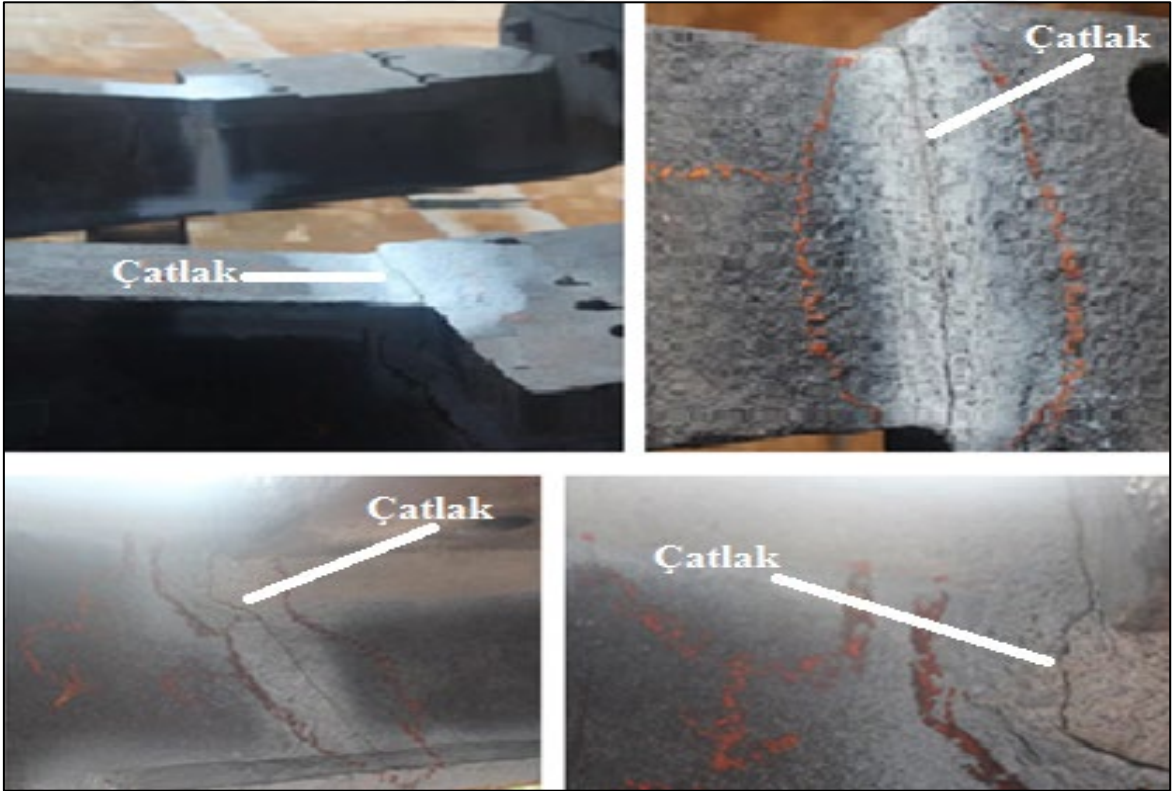
Şekil 52. Alt şasilerde belirtilen 5 numaralı kısma ait detay görüntüler



Şekil 53. Alt şasilerde belirtilen 6 numaralı kısma ait detay görüntüler



Şekil 54. Alt şasilerde belirtilen 7 numaralı kısma ait detay görüntüler



Şekil 55. Alt şasilerde belirtilen 8 numaralı kısma ait detay görüntüler

Şasilerin üzerlerindeki tüm kaynak hataları belirlendikten sonra kaynak hataları tashih prosedürü oluşturuldu. Oluşturulan bu prosedüre göre şasi kaynak dikişlerindeki çatlaklar giderildi.

2.3.2. Kaynak Hataları Tashih Prosedürü

Tashih işlemleri şasilerde görülen kaynak hatalarının cinsi ve boyutlarına göre tanımlanmaktadır.

Tashih işlemleri için; Kaynak Düzensizlikleri ve Kaynak Hataları Aşırı İlerlememiş Çatlakların Tashih Yöntemi ve Aşırı Boyutlara Ulaşmış Çatlakların Tashih Yöntemi olarak 2 farklı proses belirlenmiştir. Derinliği, bulunduğu sacın en kesit kalınlığının yarısına kadar ilerlememiş olan çatlaklar aşırı ilerlememiş, derinliği, bulunduğu sacın en kesit kalınlığının yarısına ve/veya yarısından fazlasına kadar ilerlemiş çatlaklar aşırı boyutlara ulaşmış çatlaklar olarak kabul edilmiştir.

Proses No1. Kaynak Düzensizlikleri, Kaynak Hataları, Aşırı İlerlememiş Çatlakların Tashih Yöntemi

Çatlak boyutları aşırı değerlere ulaşmamış, derinlik değerlerinin aşırı değerlere ulaşmadığı tespit edilen kaynak çatlaklarını kapsamaktadır.

- İşlemden önce öncelikli amaç kaynak çatlaklarının giderilmesidir.
- Onarılacak kaynak dikişleri taşlama işlemine tabi tutulmadan önce dikişlerin uçları matkapla delinerek, dikiş üzerindeki çatlakın taşlama esnasında ilerleme ihtimali ortadan kaldırılmalıdır.
- Matkapla delinme işlemi sonrası çatlaklı bölge dikkatlice taşlanmalı, taşlama sonrası bölgede çatlakın kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir. Bu kontrol penetrant sıvı ve/veya manyetik parçacıkla muayene ile olmalıdır.
- Çatlak uçları göz önünde bulundurularak çatlak uçlarından ve kenarlarından Şekil 56'da görüldüğü üzere en az 10 mm uzak olacak şekilde taşlama yapılarak bölgenin çatlaktan arındırılması gerçekleştirilmelidir. Şekil 56'daki temsili çatlak için; sarı daireler çatlak uçlarını, siyah çizgiler taşlama bölgesini, kırmızı çizgiler çatlak ucu ve eninden min. 10 mm uzak olacak şekildeki taşlama sınırlarını göstermektedir.



Şekil 56. Aşırı ilerlememiş çatlakların taşlama işlem prosedürü

- Taşlama işlemi yapılırken min. 10 mm lik mesafenin sağlanması, yapılan taşlama işleminin belirlenen sınırlar içinde kalması açısından önem arz etmektedir.
- Taşlama işlemiyle onarılacak bölgedeki çatlaklar tamamen ortadan kaldırıldıktan sonra kaynaklı onarıma başlanmalıdır.
- Kaynak sonrası kaynak dikişi (montaj parçasına engel teşkil edecek bir durum söz konusu değilse) taşlanmamalıdır.
- Aşırı dışbükey onarım kaynak dikişlerinden, aşırı dışbükeyliğin oluşturabileceği çentik etkisinden dolayı kaçınılmalıdır.
- Onarım kaynak dikişleri işlemlerinin bitiminde, bu dikişlerin hepsi penetrant sıvı ve/veya manyetik parçacıkla muayene edilerek üzerlerinde herhangi bir çatlak vb. kusur içermediklerinden emin olunmalıdır.

Proses No2. Aşırı Boyutlara Ulaşmış Çatlakların Tashih Yöntemi

Çatlak boyutları aşırı değerlere ulaşmış, derinlik değerlerinin aşırı değerlere ulaştığı tespit edilen kaynak çatlaklarını kapsamaktadır.

- İşlemden öncelikli amaç kaynak çatlaklarının giderilmesidir.
- Onarılan kaynak dikişleri taşlama işlemine tabi tutulmadan önce dikişlerin uçları matkapla delinerek, dikiş üzerindeki çatlakın taşlama esnasında ilerleme ihtimali ortadan kaldırılmalıdır.
- Matkapla delinme işlemi sonrası çatlaklı bölge dikkatlice taşlanmalı, taşlama sonrası bölgede çatlakın kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir. Bu kontrol penetrant sıvı ve manyetik parçacıkla muayene ile olmalıdır.

2.4. Yapılan Onarım Çalışmaları

2.4.1. Üst Şasinin Onarımı

Üst şasi kaynaklarındaki tüm hatalar ortaya konulduktan sonra onarım aşamasına geçildi. Bu aşamada hatalar, onarımlarında parça değişimine ihtiyaç duyulan ve duyulmayan olarak 2 gruba ayrıldı. Parça değişimine ihtiyaç duyulmayan hatalar (Şekil 42-43'de detay fotoğrafları verilen hatalar) Kaynak Hataları Tahsis Prosedürü'ne göre giderildi. Parça değişimine ihtiyaç duyulan hataların giderilmesinde izlenen yol aşağıda anlatılmıştır.

Çatlak hatası içeren bölge sınırları (Şekil 44-45) belirlendikten sonra kesim işlemi gerçekleştirilip, parça yenilemesinde uygulanacak tashih işlem adımları aşağıda verilmiştir.

Araç üst şasisi arka bölgesinde web sacı – cross parça bağlantı bölgelerinde (Şekil 44-45'de detay fotoğrafları verilen) tespit edilen çatlakların hem sayıca fazla olması, hem bölgede oluşan çatlağın şasi kolonunu alt, üst ve iç taraftan dolaştığı hem de daha önce de tadilat görmüş ama üzerinde tekrardan çatlak oluştuğu, tespit edildiğinden bölgenin tadilatı ziyade değişimine karar verildi. Lokal olarak parça kesimi ve kaynaklı imalat prosedüründe altta verilen adımlar izlendi.

- Kesme İşlemleri: Kesme işlemi oksijen kesme ve kesme taşı (Şekil 58'de gösterilen) kullanılarak gerçekleştirildi. Bu esnada şasi alt ve üst saclarında kesme, yaralama vb. çentik etkisi yaratacak (Şekil 59'da gösterilen) durumlarının oluşması engellendi.

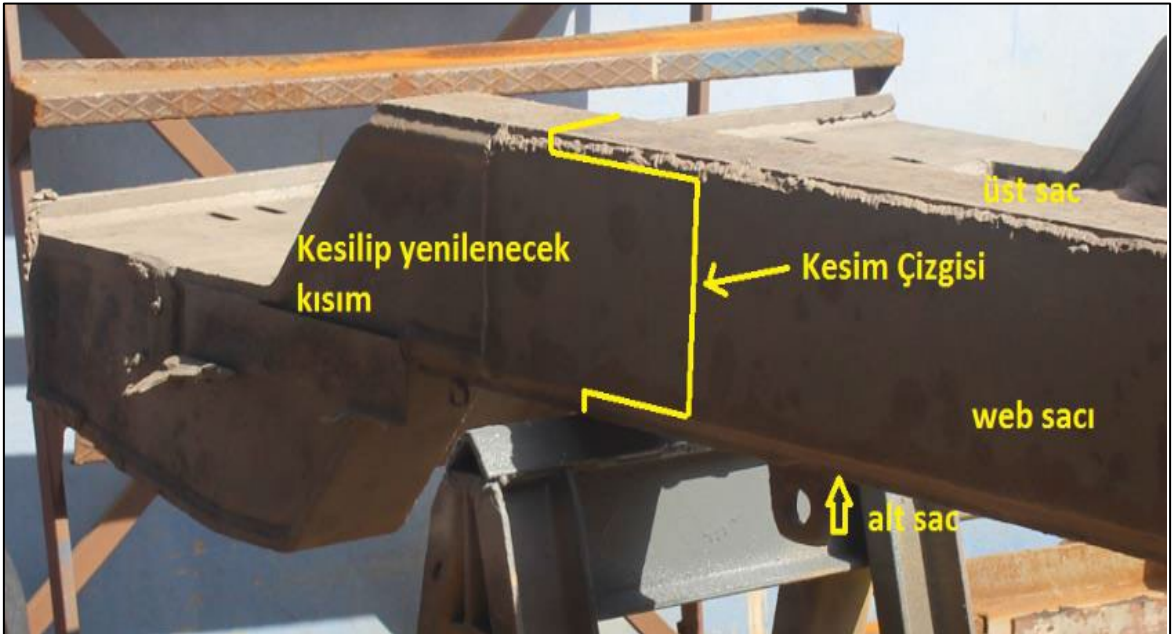


Şekil 58. a) Oksijenle kesme, b) Kesme taşıyla kesme



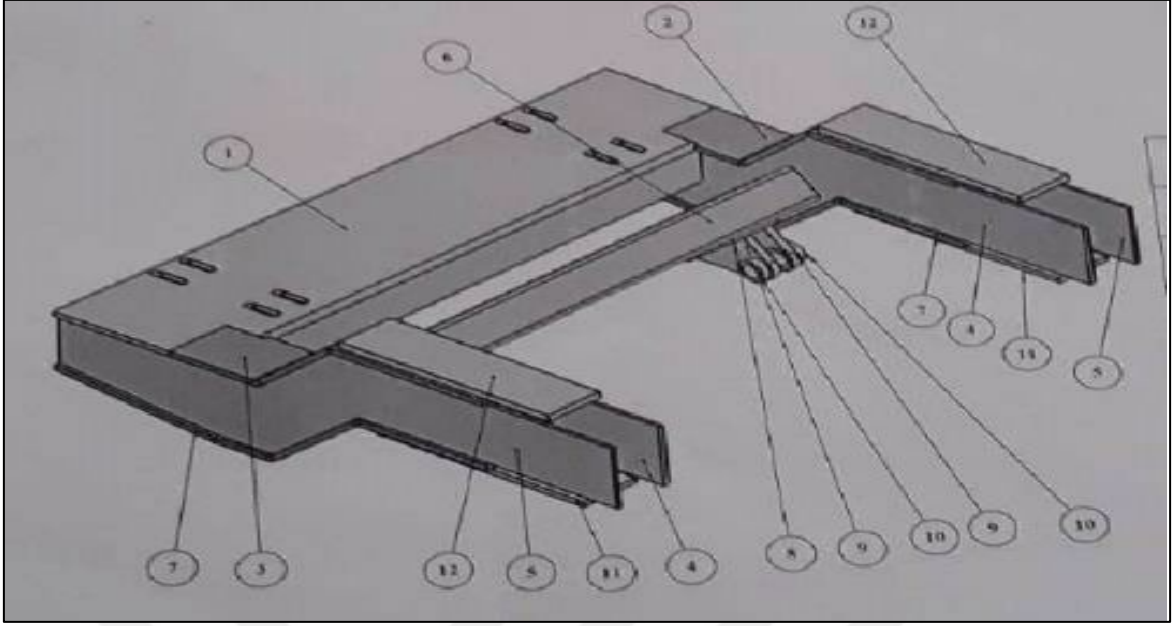
Şekil 59. Kesme işlemleri sonucu bölgede çentik etkisi oluşturan kesim işlemi

- b. Şasi Web Sacı, Alt ve Üst Saclar Kaynak Ağızı Açma İşlemleri: Kesim sonrası web saclarındaki kesilmiş yüzeyler kaynak ağızı açma işlemine tabi tutuldu. Şekil 60'da şasi dış tarafı kesim bölgesi gösterilmiştir.



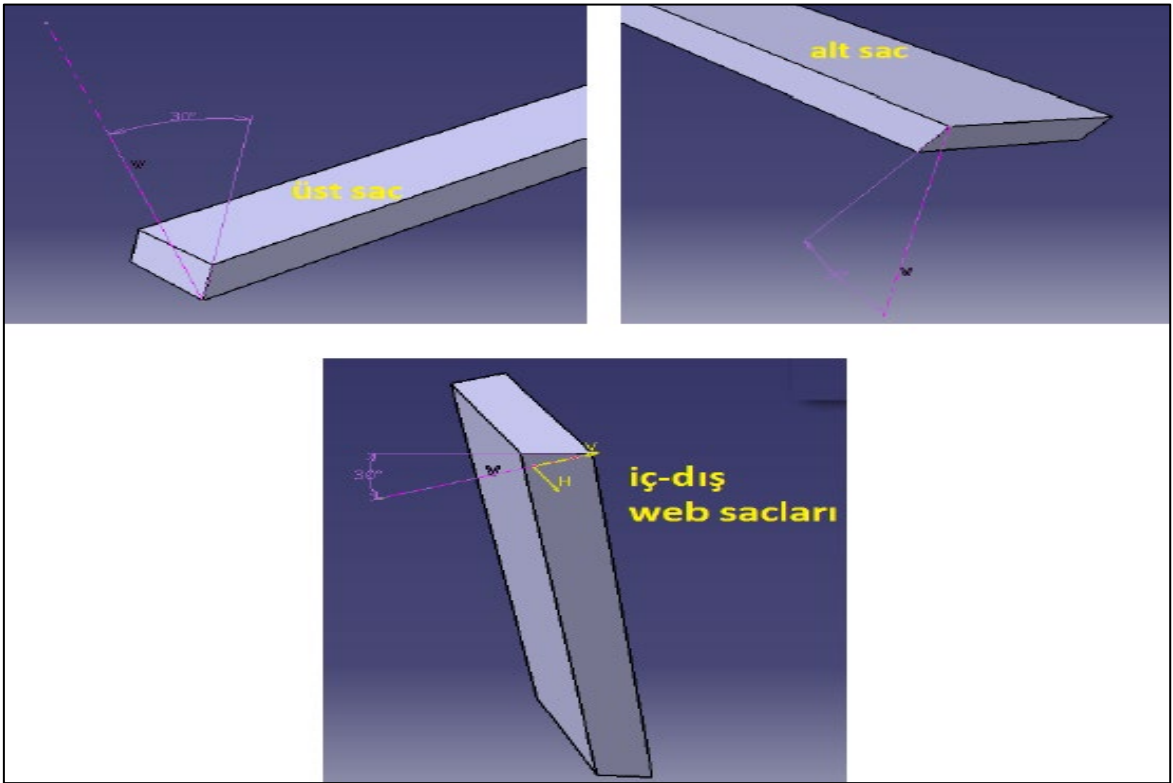
Şekil 60. Şasi dış tarafı kesim bölgesinin gösterimi

Üst şaside yeniden imal edilecek kısmın bilgisayar ortamındaki çizimi Şekil 61'de verilmiştir.



Şekil 61. Üst şaside yeniden imal edilecek kısmın bilgisayar ortamındaki çizimi

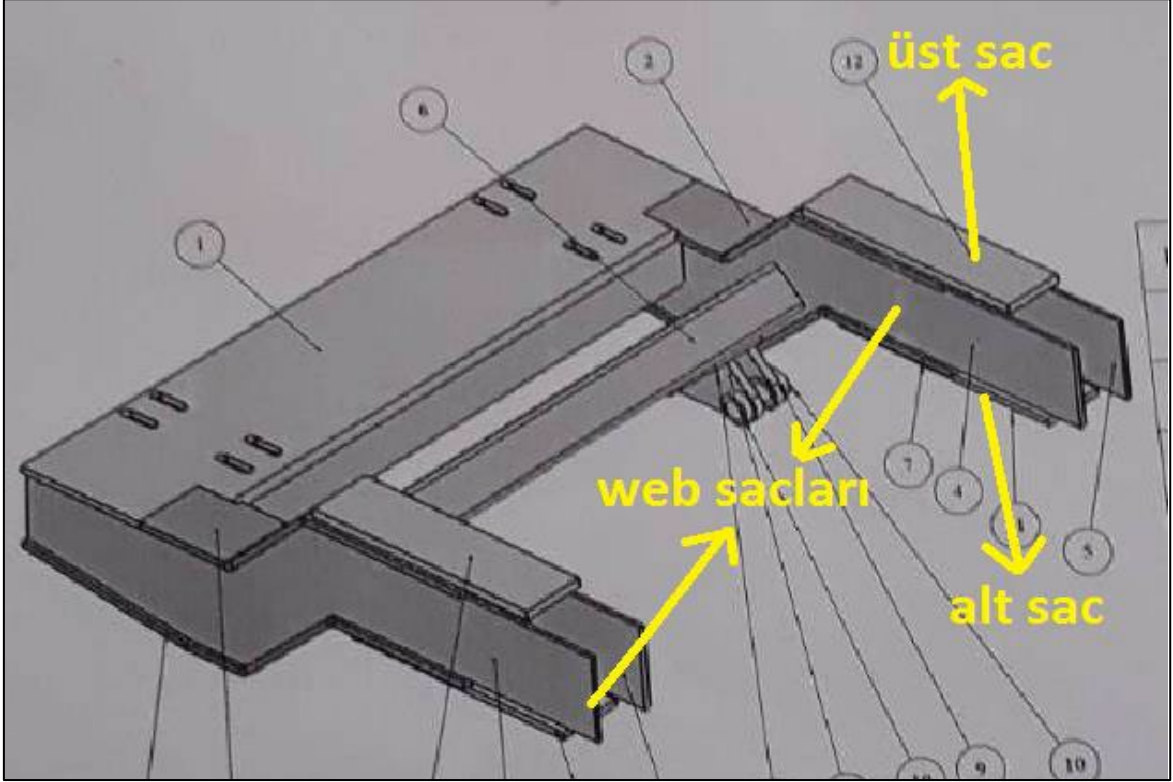
Alt detay kaynak işlemleri tamamlanmış (Şekil 61’de görülen) parçanın kesilmiş şasiye kaynak işlemi gerçekleştirilmeden önce hem parçanın hem de kesilmiş şasinin birleşim bölgelerine Şekil 62’de tarif edildiği üzere kaynak ağızları açıldı.



Şekil 62. Kaynak ağızlarının açılması

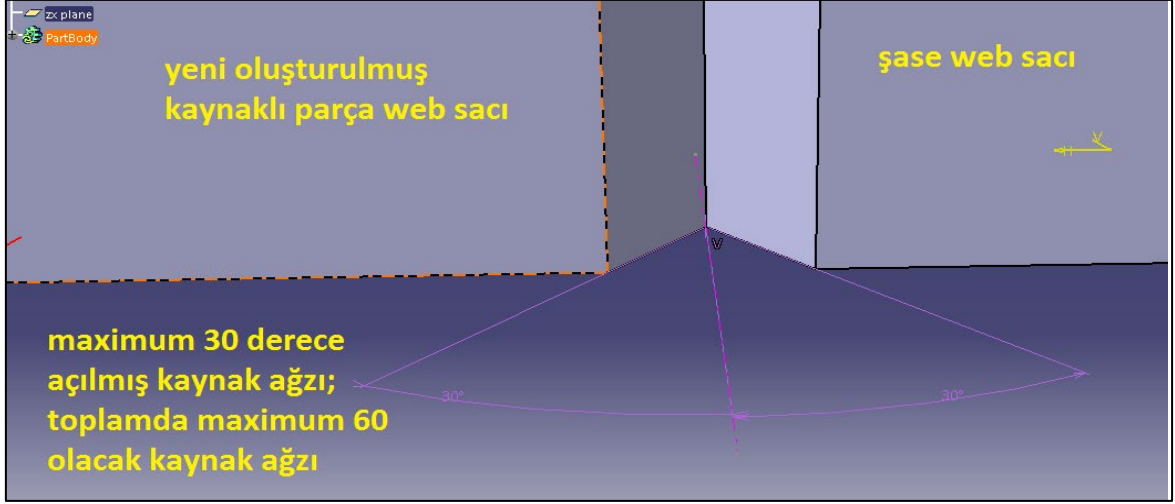
Tasarım sebebiyle içerden kaynak yapabilecek durum söz konusu olmadığından alt-üst saclara ve web saclarına açılacak kaynak ağzı V kaynak ağzını oluşturmaya yarayacak yarım V ağzı açılarak oluşturuldu. Her bir parçaya açılan kaynak ağzlarının 30°'yi geçmeyecek şekilde açılmasının sebebi, açılacak kaynak ağzlarının 30°'den büyük olması durumunda ilgili parçayı monte etmek için daha geniş kaynak dikişlerine ihtiyaç duyulması ve geniş dikişlerden dolayı kaynak bölgesine daha fazla ısı girdisinin olması ve bu yüzden Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) sınırlarının genişlemesidir.

- c. Alt detay Kaynaklı Parçaya Kaynak Ağzı Açma İşlemleri: Alt detay kaynaklı parça resmi Şekil 63'te verilmiştir.



Şekil 63. Alt detay kaynaklı parça

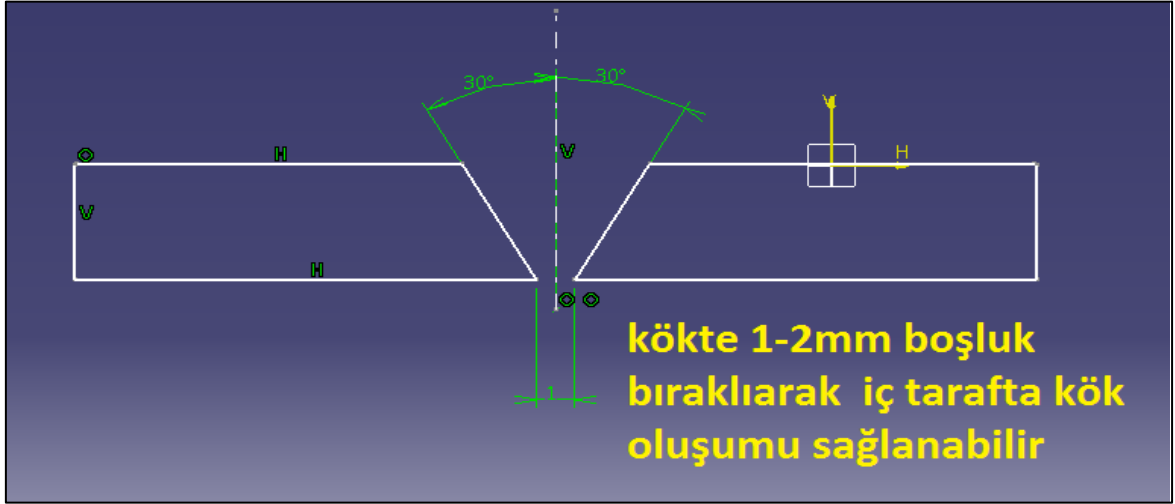
Alt detay kaynaklı parçanın kaynak işlemleri tamamlandıktan sonra kesilmiş şasiye kaynak işlemi gerçekleştirildi. Bu kaynaklı parçanın kesilmiş şasiye kaynaklanacak yüzeyleri de kaynak ağzı işlemine tabi tutuldu. Tasarım gereği iç kısma ulaşılabilirlik söz konusu olmadığından kaynak ağzları bu parçaya da Şekil 64'de belirtildiği gibi yarım V şeklinde açıldı.



Şekil 64. Üst şaside açılan kaynak ağzı

Yeni oluşturulmuş kaynaklı parçanın kesilmiş şasiye kaynak olacak yüzeylerine 30°'yi geçmeyecek şekilde açılacak kaynak ağzı ile Şekil 64'deki gibi tek taraflı V kaynak ağzı alt – üst saclar ve web sacları birleşim bölgelerinde oluşturuldu.

Tek taraflı yapılacak bu kaynak işlemlerinde Şekil 65'de gösterildiği gibi kökte 1-2 mm kök aralığı bırakarak, kökte nüfuziyet oluşturulması sağlandı.



Şekil 65. Kaynak kökünde nüfuziyet sağlanması için kökte boşluk bırakılması

- d. Yeni Oluşturulacak Kaynaklı Parça İmalatı: Detayları Şekil 61'de gösterilen üst şasi arka kısmı için yeniden oluşturulacak kaynaklı kompleye ait parçaların kaynak montaj sıralaması Şekil 61'deki numaralandırmaya göre yapıldı. Ayrıca 6 numara ile gösterilen kısım şasi web saclarının içine geçecek şekilde daha uzun

imal edilerek yükün ilgili bölgede alın kaynağına değil de parçaya taşıtılması sağlandı.

Yukarıda onarımı anlatılan üst şasinin ilgili kısmındaki kaynak çatlaklarının çatlaklarının iç taraftan başladığı ve iç taraftaki çatlakların boyut olarak dış taraftaki çatlaklara oranla çok ve büyük boyutlarda oldukları tespit edildi. Bu sebepten Şekil 61'deki kaynaklı kompleye ait parçaların kaynak işlemleri sırasında, iç tarafta kalacak olan web sacları çift taraflı kaynak prosesine tabi tutulacak şekilde kaynak sıralaması yapıldı.

Şekil 61'deki 11 numaralı alt taban sacı üzerine 4 numaralı iç taraf web sacı ve üzerine gelecek olan 12 numaralı üst sac puntalanıp konumlandırıldıktan sonra iç ve dış taraf kaynak işlemlerinin yapılarak çift taraflı kaynak işlemleri gerçekleştirildi.

- e. Yeni Oluşturulacak Kaynaklı Parça İç Kısmına Destek Parça (Bayrak) Takviyesi: Mikser kazanından şasiye aktarılacak olan yükün şasi kaynak dikişlerine binmesini önlemek ve/veya azaltmak için yeni imal edilen kaynaklı komplenin iç kısımlarına kesit kalınlığı web sacı kalınlığı kadar, aralarındaki mesafe 100-150 mm olacak şekilde sık aralıklarla dikmeler konuldu ve yukarıda anlatıldığı gibi çift taraflı kaynak prosesi ile kaynatıldı. Dikme kaynaklarının web sacı kaynak dikişi üstüne binmesinden kaçınıldı. Dikmeler alt ve üst sac arasına yerleştirilirken dikme boyları ara bölgede boşluksuz monte olacak şekilde oturtuldu. Böylece mikser kazanından gelecek olan yük, dikme kaynak dikişleri yerine dikme parçalarına taşıtıldı.
- f. Kaynak İşlemi / Tadilatı Tamamlanmış Kaynak Dikişlerinin Tahribatsız Muayene İle Kontrolü: Kaynakların bitiminde görsel muayene sonrası yapılan penetrant ve manyetik muayene ile tespit edilen hatalar yukarıda açıklanan tashih prosedürüne göre tekrardan tashih edildi.
- g. Şaside Çentik Etkisi Yaratacak İşlemlerden Kaçınma: Çentik etkisi yorulma mukavemetini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu sebeple şaside çentik etkisi yaratabilecek her türlü olumsuz durum önlendi. Şekil 66'da gösterilen

boşaltma işlemi ve ilave parça kesimi çentik etkisi bakımından köşe etkisi yani yorulma mukavemetini düşürücü etki yaratmaktadır.



Şekil 66. Çentik etkisi oluşturabilecek tipik bir birleşim

2.4.2. Alt Şasinin Onarımı

Alt şasi kaynaklarındaki tüm hatalar ortaya konulduktan sonra onarım aşamasına geçildi. Bu aşamada hatalar, onarımlarında parça değişimine ihtiyaç duyulan ve duyulmayan olarak 2 gruba ayrıldı. Parça değişimine ihtiyaç duyulmayan hatalar (Şekil 48-54'te detay fotoğrafları verilen hatalar) Kaynak Hataları Tahsis Prosedürü'ne göre giderildi. Parça değişimine ihtiyaç duyulan hataların giderilmesi aşağıda anlatılmıştır.

Bölgesel olarak kesim işlemi gerçekleştirilip parça yenilemesine gidilecek tashih işlemleri ile ilgili (Şekil 55'de detay fotoğrafları verilen);

Araç alt şasi aks bağlantı bölgesindeki çatlak, şasi etrafınca yürümüş, boyut olarak büyük bir çatlak olduğundan bölgenin tadilatın ziyade değişimi daha uygun görüldü. Lokal olarak parça kesimi ve kaynaklı imalat prosedüründe altta verilen adımlar izlendi.

- a. Kesme İşlemleri: Kesme işlemi oksijen kesme ve kesme taşı kullanılarak gerçekleştirildi. Bu esnada şasi alt ve üst saclarında kesme, yaralama vb. çentik etkisi yaratacak (Şekil 58'de gösterilen) durumların oluşmaması için azami gayret gösterildi.

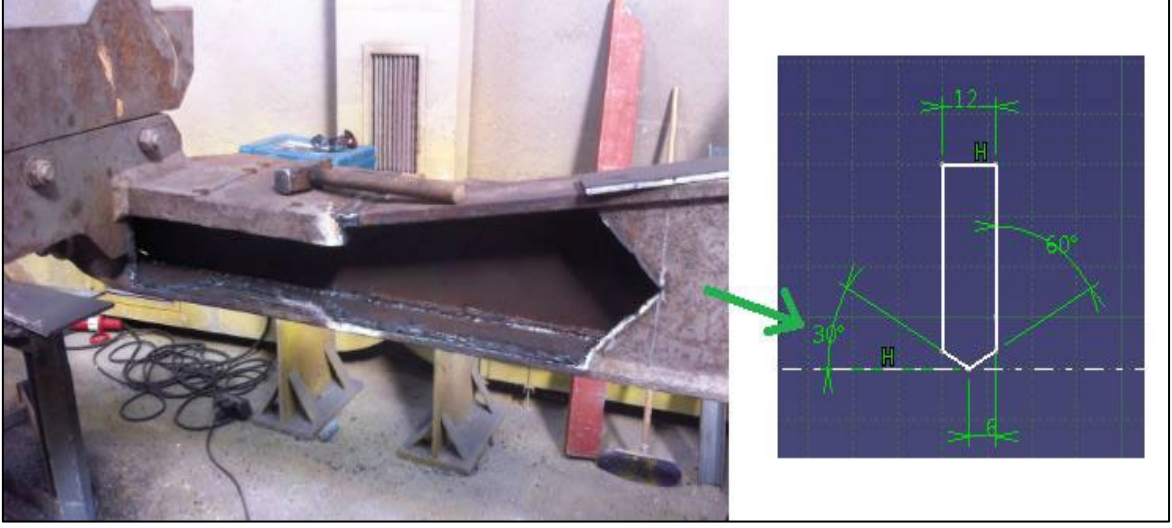
- b. Şasi Web Sacı Kaynak Ağzı Açma İşlemleri: Kesim sonrası web saclarındaki kesilmiş yüzeyler kaynak ağzı açma işlemine tabi tutuldu. Şekil 67’de şasi iç ve dış tarafı gösterilmiştir. Şasinin aks bağlantı bölgesi web sacları iç ve dış taraflarında çatlak tespit edildi lakin iç taraftaki çatlakların çok daha büyük olduğu görüldü. Bu sebepten web sacları konumlandırılırken öncelikle iç tarafta kalan web saclarının konumlandırıldı ve kaynak yapıldı. Böylece iç taraftaki web sacları çift taraflı kaynak edildi.



Şekil 67. Alt şaside parça değişimi yapılan kısmın iç ve dış tarafının gösterimi

Sonrasında iç kısma bayrakların (dikmelerin) konumlandırıldı ve peşi sıra konumlandırılan bayrakların kaynak işlemleri gerçekleştirildi. Son olarak dış taraf web sacları konumlandırılarak tek taraflı (dıştan) kaynak işlemleri gerçekleştirildi.

İç taraf web sacı kesilmiş ağza Şekil 68’de gösterilen şekilde kaynak ağzı açıldı. Çift taraflı kaynak işlemi gerçekleştirilecek bu bölge için konumlandırılacak ilave parçaya da açılan kaynak ağzıyla X kaynak ağzı oluşturuldu.



Şekil 68. İç taraf web sacı kesilmiş ağza açılan kaynak ağzının gösterimi

Dış taraf web sacı kesilmiş ağza Şekil 69’da gösterilen şekilde kaynak ağzı açıldı. Tek taraflı kaynak işlemi gerçekleştirilecek bu bölge için konumlandırılacak ilave parçaya da açılan kaynak ağzıyla V kaynak ağzı oluşturuldu.

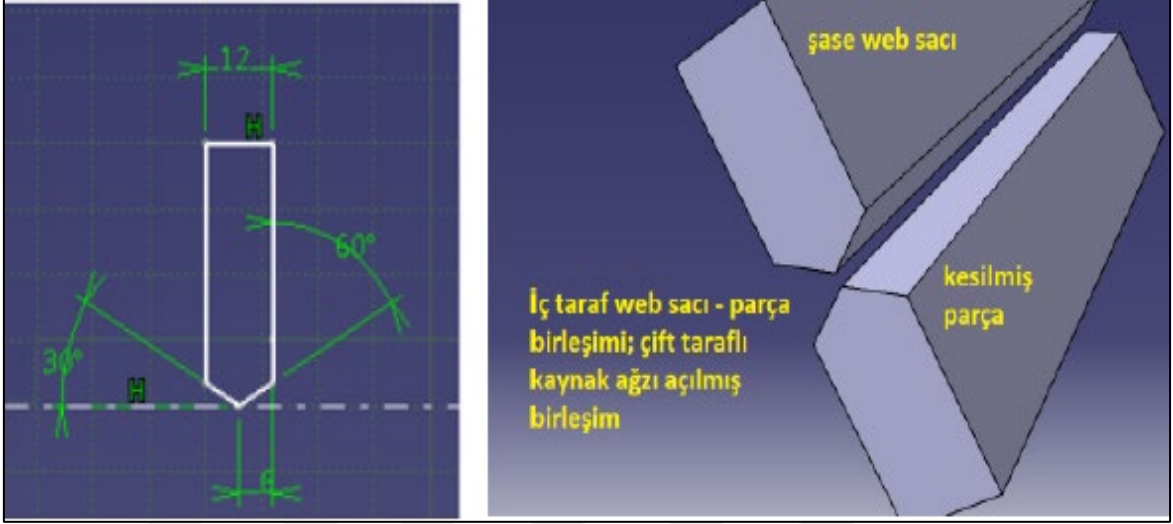


Şekil 69. Dış taraf web sacı kesilmiş ağza açılan kaynak ağzının gösterimi

- c. İlave Parçaya Kaynak Ağzı Açma İşlemleri: İlave parça şasi web sacı ile alın kaynak prosesine, alt ve üst tarafta bulunan saclar ile de köşe kaynak prosesine tabi tutuldu.

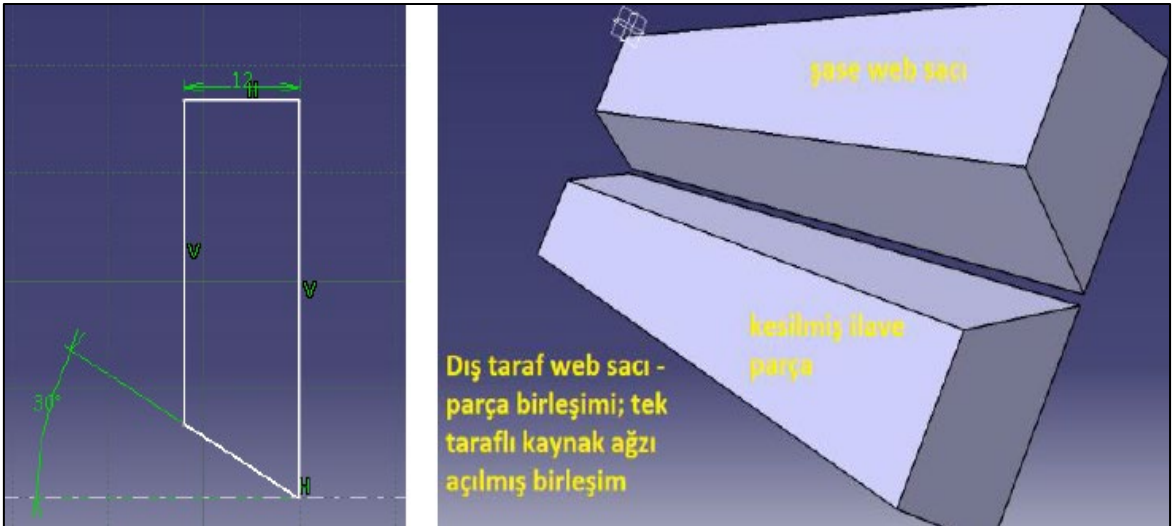
Şasi Web sacları ile alın kaynak birleşimi için ilave parçaya açılacak kaynak ağzları, iç tarafa konumlandırılan ilave parçaya Şekil 70’de gösterilen şekilde

açıldı. Çift taraflı kaynak işlemi gerçekleştirilecek bu bölge için konumlandırılan bu ilave parçaya da kaynak ağzı açılarak X kaynak ağzı oluşturuldu.



Şekil 70. İç tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi

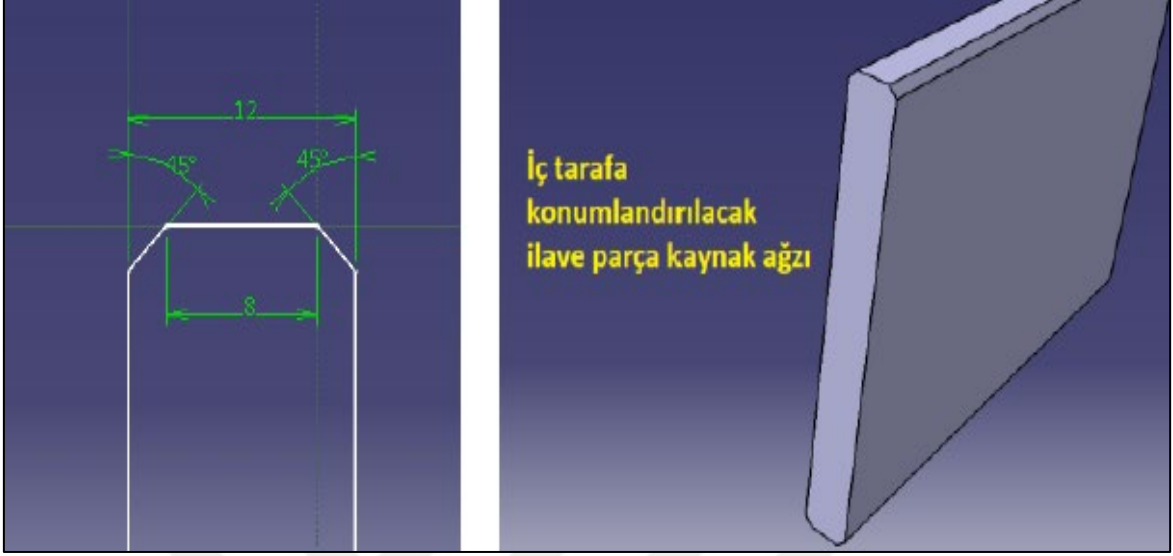
Dış tarafa konumlandırılan ilave parçaya Şekil 71’de gösterilen şekilde kaynak ağzı açıldı. Tek taraflı kaynak işlemi gerçekleştirilen bu bölge için konumlandırılan bu ilave parçaya da kaynak ağzı açılarak V kaynak ağzı oluşturuldu.



Şekil 71. Dış tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi

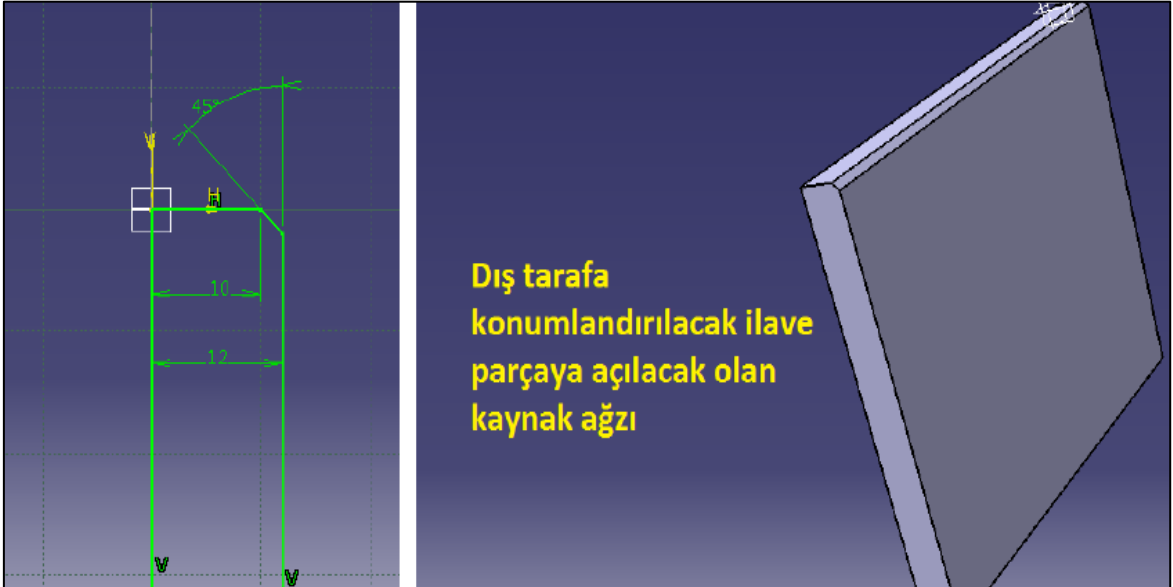
Alt – üst saclar ile köşe kaynak birleşimi için ilave parçaya açılacak kaynak ağzıları, iç tarafa konumlandırılan ilave parçaya Şekil 72’de gösterilen şekilde

açıldı. Çift taraflı kaynak işlemi gerçekleştirilecek bu bölge için konumlandırılan bu ilave parçaya da kaynak ağzı açılarak X kaynak ağzı oluşturulması sağlandı.



Şekil 72. Alt – üst saclar ile köşe kaynak birleşimi için iç tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi

Dış tarafa konumlandırılan ilave parçaya Şekil 73’de gösterilen şekilde kaynak ağzı açıldı. Tek taraflı kaynak işlemi gerçekleştirilen bu bölge için konumlandırılan bu ilave parçaya da kaynak ağzı açılarak V kaynak ağzı oluşturulması sağlandı.



Şekil 73. Alt – üst saclar ile köşe kaynak birleşimi için dış tarafa konumlandırılan ilave parçaya açılan kaynak ağzının gösterimi

Bu şekilde alt ve üst saca monte edilecek olan (iç ve dış taraftaki) ilave parçanın kaynak ağızları küt şekilde bırakılarak yükün üst sacdan alt saca aktarımı ilave parça ile sağlandı ve kaynak dikişlerine yük taşıtılmamış oldu.

- d. İç Kısmı Bayrak Takviyesi: Aks bağlantı bölgesinden şasiye aktarılacak olan yükün ilave parça kaynak dikişlerine binmesini önlemek ve/veya azaltmak için iç kısımlara kesit kalınlığı web sacı kalınlığı kadar, aralarındaki mesafe 100-150 mm olacak şekilde sık aralıklarla dikmeler konuldu ve çift taraflı kaynak prosesi ile kaynatıldı. Dikme kaynaklarının web sacı kaynak dikişi üstüne binmesinden kaçınıldı. Dikmeler alt ve üst sac arasına yerleştirilirken dikme boyları ara bölgeye boşluksuz girmesi sağlandı. Böylece aks bölgesinden gelecek olan yük dikme kaynak dikişleri yerine dikme parçalarına taşıtıldı.
- e. Kaynak İşlemi / Tadilatı Tamamlanmış Kaynak Dikişlerinin Tahribatsız Muayene İle Kontrolü: Kaynakların bitiminde görsel muayene sonrası yapılan penetrant ve manyetik muayene ile tespit edilen hatalar yukarıda açıklanan tashih prosedürüne göre tekrardan tashih edildi.
- f. Şaside Çentik Etkisi Yaratacak İşlemlerden Kaçınma: Çentik etkisi yorulma mukavemetini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu sebeple şaside çentik etkisi yaratabilecek her türlü olumsuz durum önlendi. Şekil 66'da gösterilen boşaltma işlemi ve ilave parça kesimi çentik etkisi bakımından köşe etkisi yani yorulma mukavemetini düşürücü etki yaratmaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

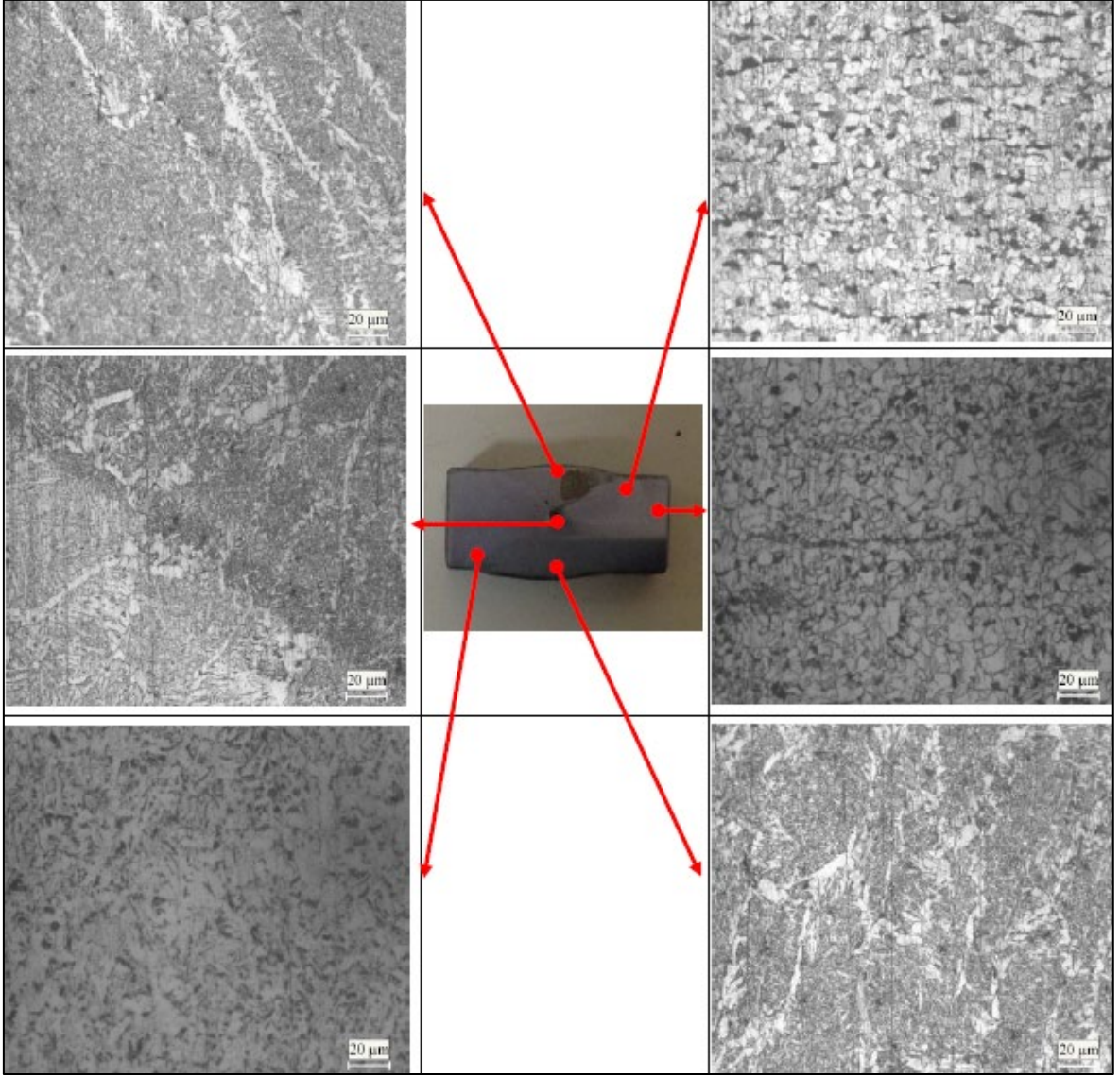
3.1. Metalografik İnceleme

İncelenen mikser şasileri S355JR2 malzemenen üretilmişlerdir. S355JR2 malzemesinin kaynaklı onarımı, SG3 kaynak teli, MIG gaz altı kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. S355JR2 malzemesine ve SG3 kaynak teline ait kimyasal bileşim Tablo 1’de verilmiştir (1).

Tablo 1. Orijinal şasi malzemesi ve kaynak teline ait kimyasal bileşim [1].

Malzeme	% Kimyasal Bileşim
Şasi Malzemesi (S355JR2)	C(0,23), Si(0,55), Mn(1,6), P(0,025), S(0,025), Cu(0,55)
SG3 Kaynak Teli	C(0,08), Si(1), Mn(1,7)

Onarım amaçlı kaynak işlemi uygulanmış bölgeden elde edilen mikro yapılar Şekil 74’te verilmiştir. Gerçekleştirilen kaynak işleminde, kaynak bölgesinde eşdeğer karbon oranının yaklaşık %0,50 olması nedeniyle orta bölgede martenzitik dönüşüm meydana gelmiştir. Merkez bölgeden uzaklaşıldıkça iri tane oluşumunu takip eden Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB)’nin karakteristik olarak meydana geldiği görülmektedir. Birleşme bölgesinde herhangi bir çatlak ve gözenek oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu durum kaynak bölgesinin mekanik özellikleri dikkate alınarak değerlendirildiğinde, iş parçası kütlesi tarafından depolanan ısının oluşturduğu menevişleme etkisiyle oldukça sünek bir yapının meydana gelmiş olduğu belirlenmiştir [1].



Şekil 74. Kaynak bölgesine ait mikroyapılar [1].

3.2. Çekme Deneyi

S355JR2 şasi malzemesine ve SG3 kaynak teline ait mekanik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den görüleceği üzere kullanılan kaynak teli, şasi malzemesinden daha mukavemetli ve sünek bir yapıya sahiptir. Onarım kaynak dikişi uygulanmış bölgelerden dik ve paralel doğrultuda hazırlanan standart çekme numunelerinden elde edilen mekanik özelliklerin ortalama değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’den görüleceği üzere onarım kaynak dikişi uygulanmış bölgeden dik doğrultuda alınan numune, paralel olarak alınan numuneye göre mukavemeti düşük fakat daha sünektir [1].

Tablo 2. Orijinal şasi malzemesi ve kaynak teline ait mekanik özellikler [1].

Malzeme	Akma Sınırı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)
Şasi Malzemesi (S355JR2)	337	526	35
SG3 Kaynak Teli	470	570	25

Tablo 3. Kaynak dikiş bölgelerine ait mekanik özellikler [1].

Numune bölgesi	Akma Mukavemeti (%2 MPa)	En Yüksek Çekme Dayanımı (Mpa)	Kopma Uzaması (%)	Kesit Büzülmesi (%)
Kaynak dikişine dik	346 ±5	438 ±6	48,3 ±1	67,6 ±3
Kaynak dikişine paralel	469 ±7	523 ±7	25,6±1	47,4 ±3

3.3. Tahribatsız Malzeme Muayeneleri

3.3.1. Şasilerin Temizlik Öncesi Hallerine Ait Ön Değerlendirme

Aracın şasilerinin temizliği kumlamayla gerçekleştirildi. Şekil 75’de üst şasinin, Şekil 76’da alt şasinin temizlenmeden önceki durumları görülmektedir. Aracın tamamen demontajının akabinde şasilerin gözle muayenelerinin ardından yapılan ön değerlendirmeye ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 75. Üst şasinin temizlik öncesi görünümü



Şekil 76. Alt şasinin temizlik öncesi görünümüleri

Çatlaklar genellikle bağlantı bölgelerinde, özellikle kaynak dikişlerinden başlamış olduğu tespit edilmiştir.

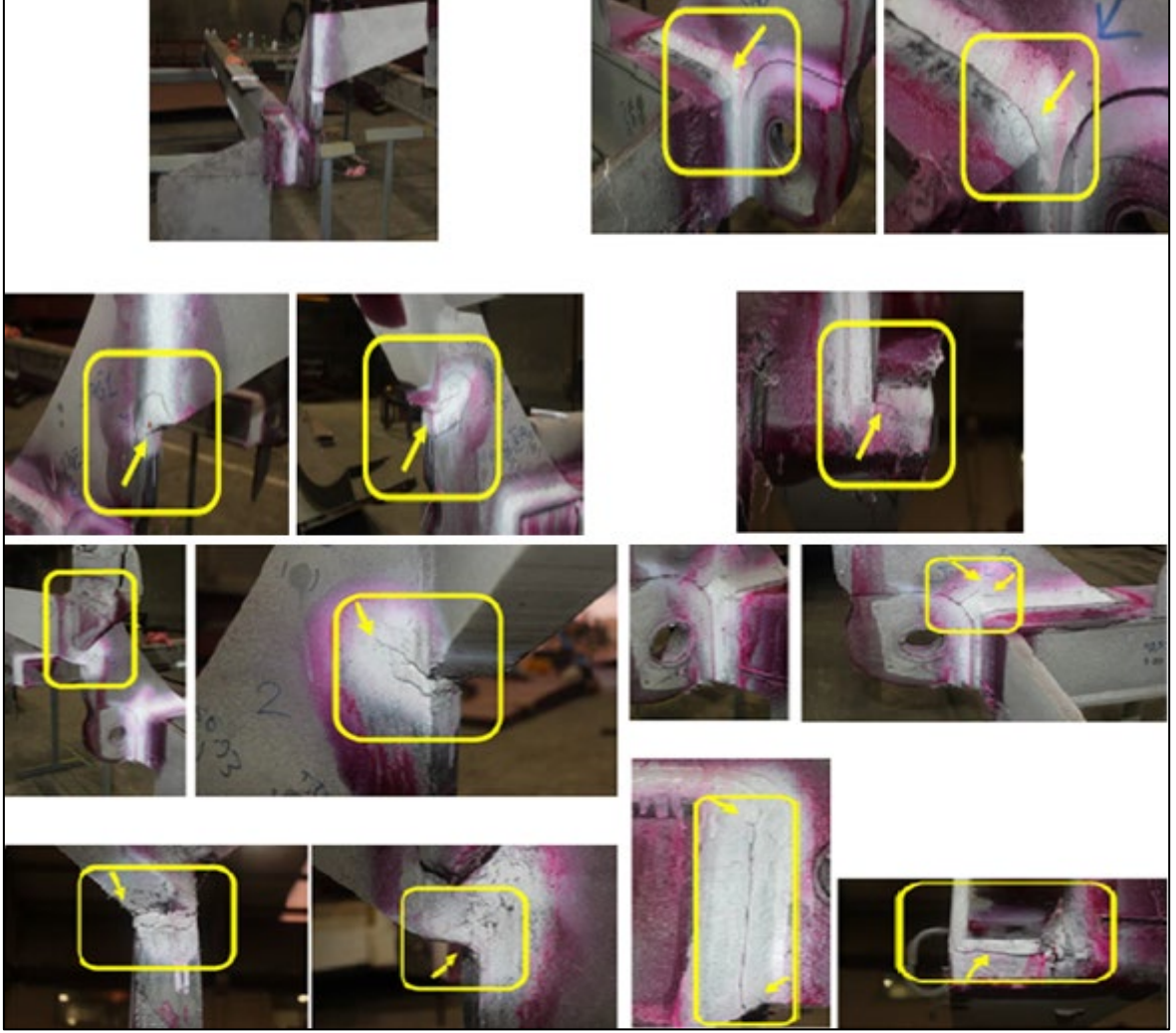
Çatlakların çoğunlukla daha önceden yapılmış olan tadilat kaynakları üzerinden başladığı tespit edilmiştir. Bu durumda 2 farklı olasılığı değerlendirmek gerekir. Bunlardan birincisi önceki kaynaklı onarımlarda çatlak tamamen temizlenmeden üzerine çekilen onarım kaynakları üzerinden yok edilmemiş çatlağın tekrardan yüzeye açılması, ikincisi ise önceki onarımlarda çatlağın tamamen yok edilmiş olmasına rağmen kaynaklı bölgenin yüksek dinamik zorlamalara maruz kalması sonucu ortaya çıkan yeni çatlaklar. Önceki onarımlarla ilgili detaylı bilgiye sahip olunmamasından dolayı çatlak oluşum nedeni ile ilgili bu aşamada kesin yargılara varılamamıştır.

Eğer bu bölgelerdeki çatlaklar ikinci durumda bahsettiğimiz şekilde yani çatlak tamamen temizlenip onarım kaynakları yapılmış olan kaynaklı bölgelerde oluşmuş ise bu durum söz konusu bölgelere gelen yüklerin, o bölgeleri aşırı zorladığı gerçeğini ortaya çıkardığı düşünülmektedir.

3.3.2. Şasilerin Tahribatsız Muayenelerine Ait Değerlendirme

Şekil 77’de üst şasinin ön kısmında tespit edilen hatalar görülmektedir. Üst şasinin alt şasiye pivotlu bağlantı bölgesindeki çatlakların penetrant kuma seviyesinden yola çıkılarak çatlağın derinliği hakkında yorum yapamamaktayız. Lakin kuma miktarlarına bakıldığında bu bölgedeki çatlakların derinliklerinin fazla olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çatlaklara bakıldığında bazı çatlakların ana malzemeye yönlendiği hatta bazılarının epeyce bir yol izlediği tespit edilmiştir. Üst şasinin, beton kazanının hidromotorunun oturduğu

bölgede çatlaklar kaynak dikişi üzerinden ana malzemeye doğru ilerlemiştir. Dış tarafa yürüyen çatlaklar daha önce tadilat görmüş çatlakların üzerinden tekrar yürümüş ana malzemeye doğru da devam etmektedir. Buradaki çatlaklardan bilhassa iç taraftaki çatlaklarının derin olduğu düşünülmektedir.



Şekil 77. Üst şasinin ön kısmında görülen hatalar

Şekil 78’de üst şasinin arka kısmında tespit edilen hatalar görülmektedir. Bu bölgede oluşan çatlaklar kaynak dikişi üzerinde başlamış malzemeye doğru yönelen çatlaklardır. Bu çatlaklar kaynak dikişini enine kesen çatlak başlangıçlarıdır. Söz konusu bölgede revizyondan önce yapılan onarımlarda eklenen takviye parça uygulamaları görülmektedir. Çatlağın takviye parça altına ilerleme durumunun tespit edilmesi önem arz etmektedir.

Dinamik zorlanma etkilerinin en çok görüldüğü bölgelerden biri de bu bölgedir. Çatlaklar hem cross parça hem de cross arkasındaki ara takviye parçaların, kaynak dikişi

ortasından, dikiş kenarlarından, kaynak dikişinden başlayıp şasi malzemesine doğru yürüyen, şasi üst, yan ve alt saclarına doğru ilerleyen çatlaklardır.

Önceki tadilat kaynaklarının çok geniş ve yatay şekilde yapılması bölgenin birkaç sefer tadilat geçirdiğine işaret etmektedir. Kaynak dikişlerinin bu derecede geniş olması bölgede IEB'nin de genişlemesine ve malzeme özelliklerinin bu bölgelerde hem mukavemet açısından hem de darbe tokluğu değer cinsinden azalmasına sebep olacaktır. Bu bölgede görülen çatlakların derinlere doğru indiği tahmin edilmektedir.

Önceki tadilatlarda yapılan takviye parça uygulamalarında şasi kaynak dikişleri ile takviye sacı kaynak dikişleri üst üste bindirilmiştir. Dinamik zorlanmaların yüksek olduğu bölgelerde bu tarz birleşimlerden kaçınmak gerekir zira burada yapılan tadilat kaynakları bölgede çentik etkisi yarattığından takviye parça uygulamasından beklenen olumlu etki yerine olumsuz bir etki yaratma ihtimali daha yüksektir. Zira yapılan tahribatsız malzeme muayenelerinde bu kaynaklar üzerinde çatlaklar tespit edilmiştir. Ayrıca takviye parça uygulamalarında, takviye parçaların kenarları taşlanarak köşe etkisi yaratma ihtimali ortadan kaldırılmalıdır.



Şekil 78. Üst şasinin arka kısmında görülen hatalar

Şekil 79’da alt şasinin ön kısmının baş tarafında tespit edilen hatalar görülmektedir. Bu bölgelerdeki sac kalınlıklarının tasarım gereği diğer bölgelerdeki sac kalınlıklarından daha fazla olması söz konusu bölgeyi, bölgeye gelen dinamik gerilmelere karşı mukavemetli hale getirdiği görülmektedir.



Şekil 79. Alt şasinin ön kısmının baş tarafında görülen hatalar

Şekil 80’de alt şasinin ön kısmındaki, Şekil 81’de alt şasinin arka kısmındaki dönüş silindirlerinin şasiye bağlantı braketlerinin kaynaklı bölgelerindeki hatalar görülmektedir. Bu kısımlar incelendiğinde söz konusu bölgelerde daha önceden tadilatlar yapıldığı bölgedeki kaynak dikişi yığılmalarından görülmektedir ve söz konusu dikişlerin birçok çatlağı barındırdığı tespit edilmiştir.

Araç manevralarını belden kırılmayla bu bölgedeki silindirler vasıtasıyla gerçekleştiğinden söz konusu bölge aşırı dinamik gerilmelerin etkisindedir. Aracın

kullanıldığı yer altındaki dar bölgeler de düşünüldüğünde söz konusu gerilmelerin sıklığı daha iyi anlaşılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı aracın servis ömrü esnasında zaman zaman buralarda başlayan mikro çatlaklar, dinamik ve çok modlu gerilmelerin altında kısa sürede hızla ilerlediğinden bölgenin zaman zaman tadilata ihtiyaç duyması, beklenen ve bu aracın servis ömrü içerisinde de yaşanan bir durumdur.

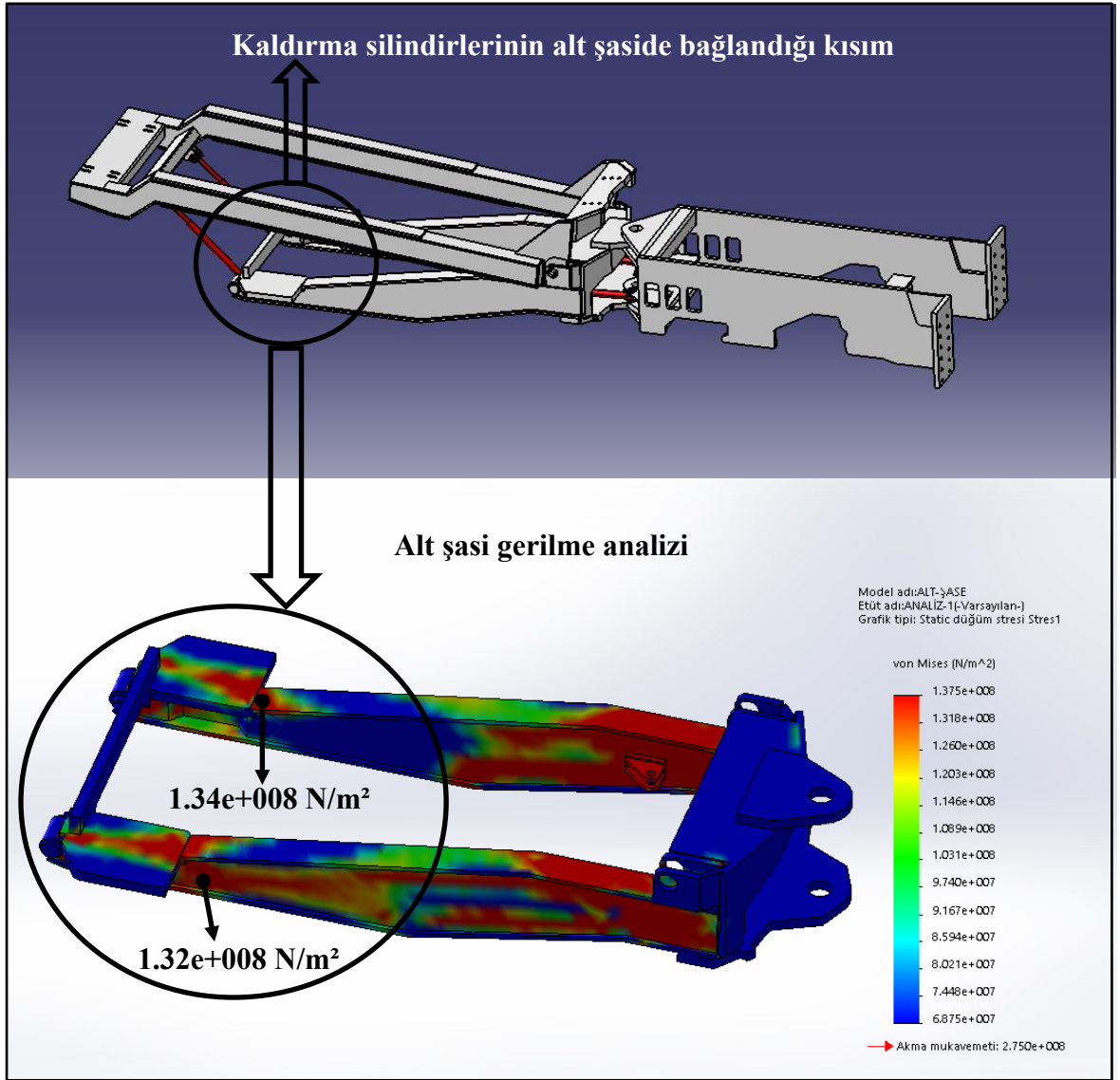


Şekil 80. Alt şasinin ön kısmındaki dönüş silindirlerinin şasiye bağlantı braketlerinin kaynaklı bölgelerindeki hatalar



Şekil 81. Alt şasinin arka kısmındaki dönüş silindirlerinin şasiye bağlantı braketlerinin kaynaklı bölgelerindeki hatalar

Şekil 82’de alt şasi ile üst şasi arasındaki kaldırma silindirlerinin bağlandığı bölge ve alt şasi gerilme analizinde bu bölgeye ait gerilme değerleri görülmektedir. Gerilme analiz fotoğrafındaki renk skalası yeterli çözünürlüğü göstermemekle birlikte ilgili bölgedeki gerilme değerlerinin maksimum değerlere eriştiği bölgeler şekil üzerinde ayrıca gösterilmiştir. Şekil 83’de bu bölgedeki hatalar görülmektedir. Gerilme analizinden ve aracın konstrüksiyonundan görüleceği üzere bu kısım aracın dinamik yüklerle en fazla maruz kalan bölgelerinden bir tanesidir. Bundan dolayı söz konusu bölgelerdeki çatlakların dinamik yüklemeler sonucu kaynak dikişlerinin yorulma etkisiyle oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 82. Kaldırma silindirlerinin alt şaside bağlandığı bölge ve bu bölgede maksimum gerilme değerleri



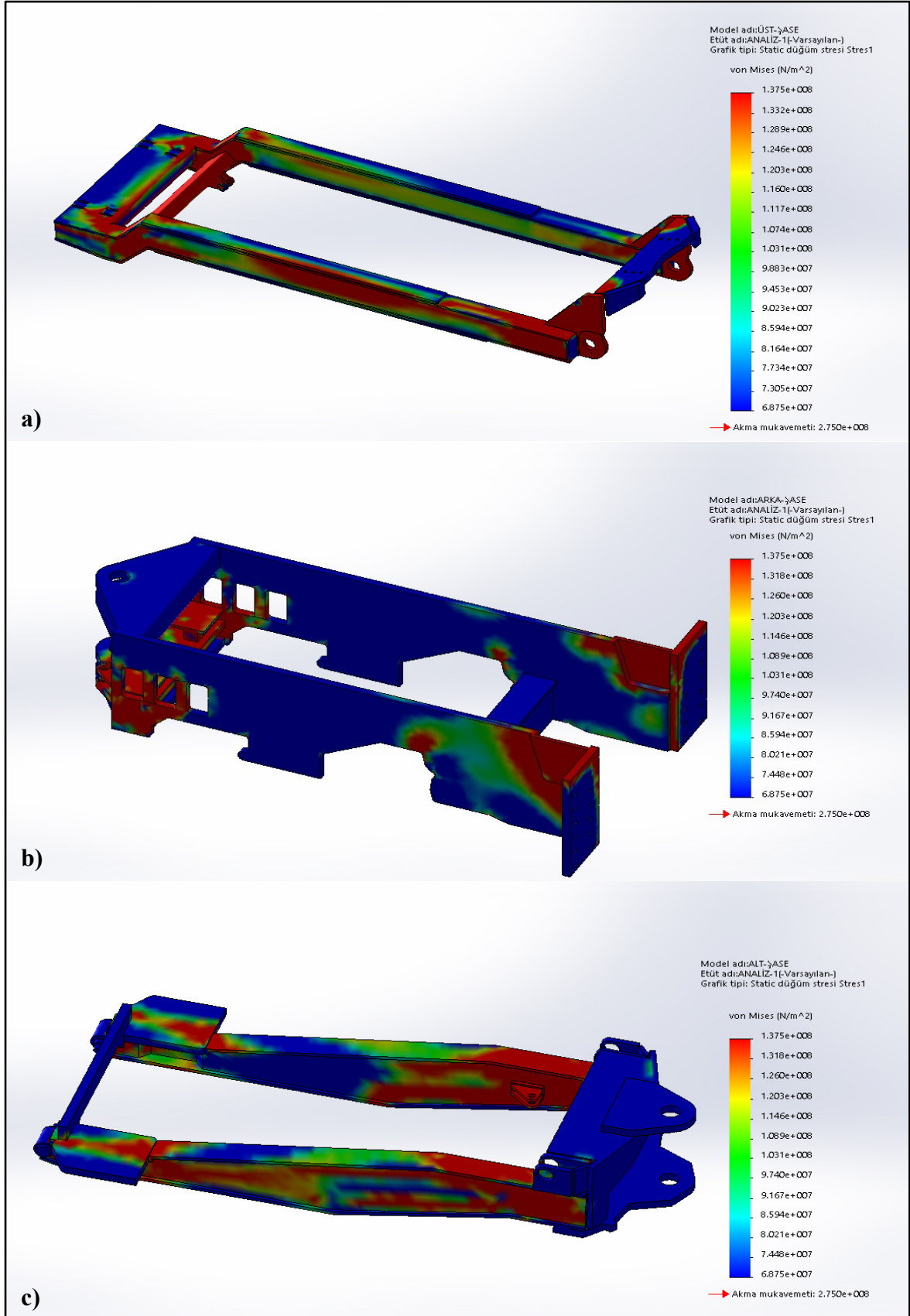
Şekil 83. Alt şasi ile üst şasi arasındaki kaldırma silindirlere ait bağlandığı, alt şasiye ait bölgedeki hatalar

3.4. Gerilme Analizlerinin Değerlendirilmesi

3.4.1. Şasilerin Mevcut Durumu İçin Yapılan Gerilme Analizi

Araç şasileri, bilgisayar ortamında, üzerlerine gelen yükler simule edilerek analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 84’de bir arada gösterilmiştir.

Şasilerin üzerlerine gelen gerilmelerin analizinde emniyet katsayısı, şasi malzemesinin akma sınırı ve şasi boyutlarının dar yer altı koşullarına uyumu göz önüne alınarak “2” olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda; kırmızı renkle gösterilen bölgeler gerilmelerin müsaade edilen en yüksek değere ulaştığı, mavi renkle gösterilen bölgeler gerilmelerin en düşük değerlerde görüldüğü, diğer renkler ise gerilmelerin değerlerinin düşükten yükseğe geçiş bölgelerini temsil etmektedir.



Şekil 84. Şasilerin gerilme analizleri; a) üst şasi, b) alt şasi ön kısım, c) alt şasi arka kısım

Gerilmelerin kırmızıdan maviye doğru geçiş renkleriyle gösterildiği bölgelerdeki çatlaklar, kaynak düzensizlikleri ve kaynak hatalarının aşırı ilerlemediği çatlaklardır ve söz konusu bölgelerin onarımı parça değişimine ihtiyaç kalmadan kaynak hatalarının tashihiyle gerçekleştirilmiştir.

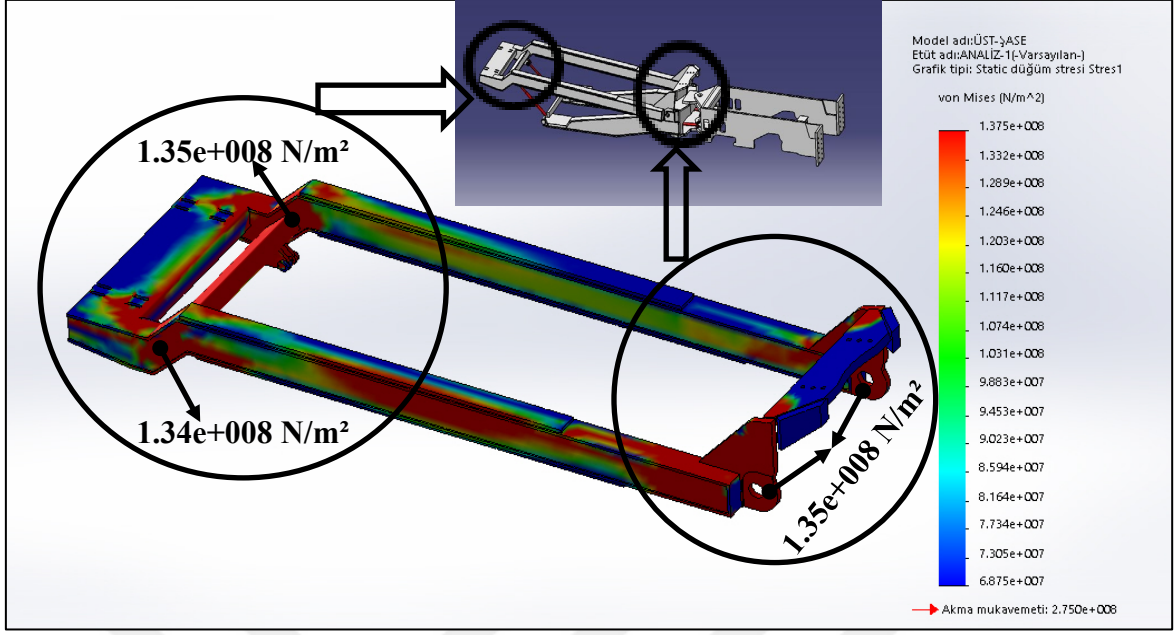
Önceki onarımlarda yapılan tadilat kaynak dikişlerinin onarılan bölgelerde yığıldığı ve bazı bölgelerde kaynak dikişinden daha da ileri bir onarım aşması olan takviye parça uygulamasına geçildiği görülmektedir (Şekil 78). Söz konusu bölgelerde takviye parça uygulaması yapılması bize bu bölgelerdeki çatlakların malzemedeki aşırı ilerlediği ve bu çatlakları ortadan kaldırmak için kaynak öncesi yapılan taşlama işlemlerinde ilgili bölgede malzeme boşaltmalarının fazla olmasından dolayı onarımında kaynak dikişiyle doldurulma sınırını aştığı fikrini de vermektedir.

Şekil 85'ten görüleceği üzere üst şasinin açılı olarak yükseldiği esnada ön kısımlar alt şasiye pivotlu kısımlar olduğundan kaymalı yatak vazifesi görmektedir.



Şekil 85. Üst şasinin kaldırma silindirleri vasıtasıyla açılı olarak yükselmiş hali

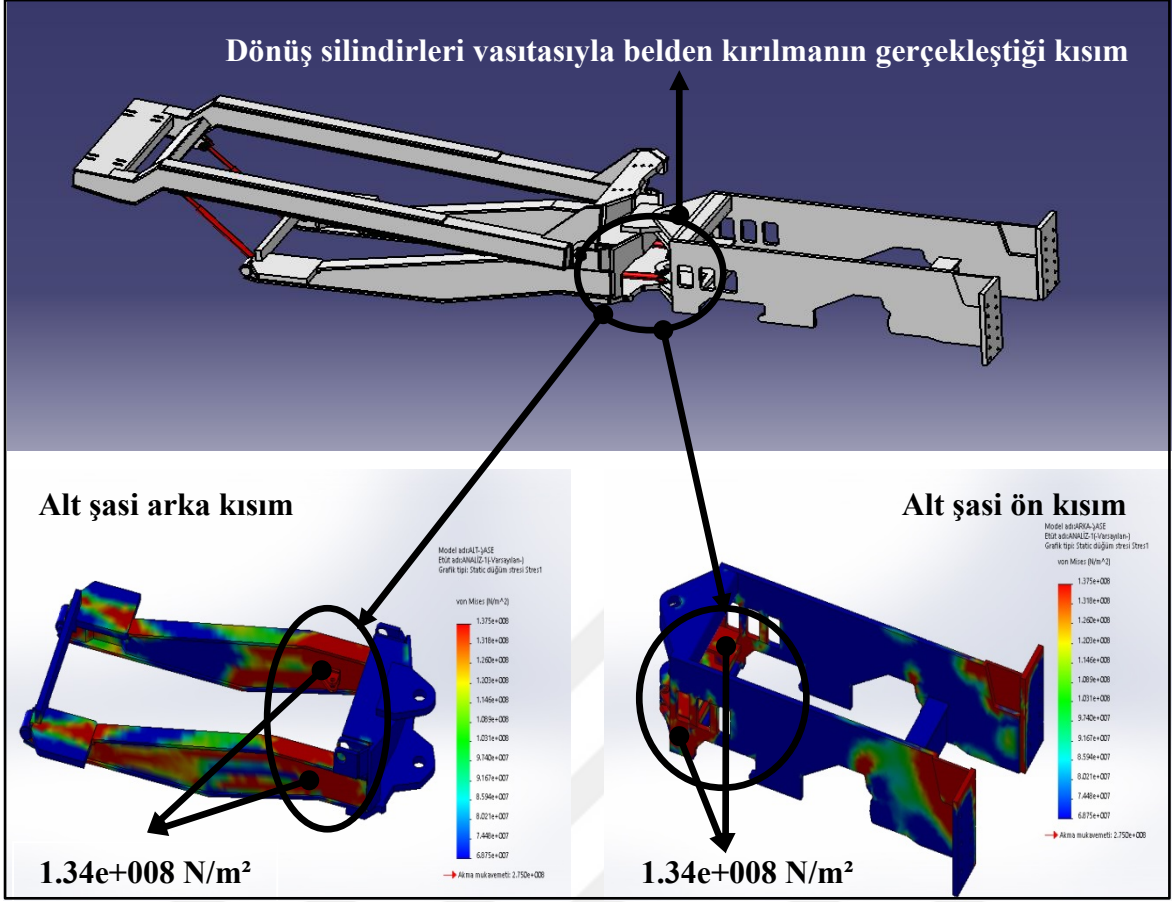
Üst şasi maksimum yükselme seviyesine ulaştığında üzerindeki beton kazanının ağırlığının büyük bir kısmı söz konusu durumun fiziği gereği ön kısımdaki pivot bağlantı bölgesine binmektedir. Üst şasinin açılı olarak yükselmesi şasinin arka kısımlarında bulunan kaldırma silindirleri vasıtasıyla yapılmakta ve kazanın tam dolu olduğu durumlardaki bu alçalıp yükselme düşünüldüğünde söz konusu bölgeye gelen gerilmeler, kaldırma silindirleri vasıtasıyla silindirlerin şasideki bağlantı bölgelerinde yoğunlaşmakta olduğu Şekil 86'dan açıkça görülmektedir. Şekil 86'daki gerilme analiz fotoğrafında renk skalası yeterli çözünürlüğü göstermemekle birlikte maksimum gerilme değerlerine yaklaşan bölgeler şekil üzerinde ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 86. Üst şasinin ön ve arka kısımlarının gerilme değerleri

Bilindiği üzere alt şasi aracın tüm yükünü taşıyan, aracın belden kırılmalı manevra yapısından dolayı 2 parçalı şasidir. Aracın belden kırılmalı manevraları 2 parçalı şasinin birleşme bölgesindeki 2 adet pivot noktası ve 2 adet dönüş silindiriyle sağlanmaktadır. Aracın kazanının tam dolu olduğu haliyle yer altındaki dar ve engebeli yerlerdeki manevraları göz önüne alındığında, aracın manevra yapılan yöne doğru defaten belden kırılmasında ortaya çıkan gerilmeler dönüş silindirleri üzerinden silindirlerin şasi üzerindeki bağlantı noktalarına iletilmektedir.

Manevralar esnasından silindirlerden biri uzarken diğeri eş zamanlı olarak kısalmakta, manevra yönü değiştiğinde bu durum tersine gerçekleşmektedir. Böylece silindirlerden bir tanesi silindir şasi üzerindeki bağlantı noktalarını çekme etkisine maruz bırakırken diğeri silindir basma etkisini maruz bırakmaktadır. Manevra yönü değiştikçe çekme ve basma yönleri de sürekli değişmektedir. Bu durumda silindirlerin bağlı olduğu şasi kısımların dinamik karakterli yüksek gerilmelerin etkisi altında ve dinamik yorulmaya maruz kaldığı Şekil 87'den açıkça görülmektedir. Şekil 87'deki gerilme analiz fotoğrafında renk skalası yeterli çözünürlüğü göstermemekle birlikte maksimum gerilme değerlerine yaklaşan bölgeler şekil üzerinde ayrıca gösterilmiştir.

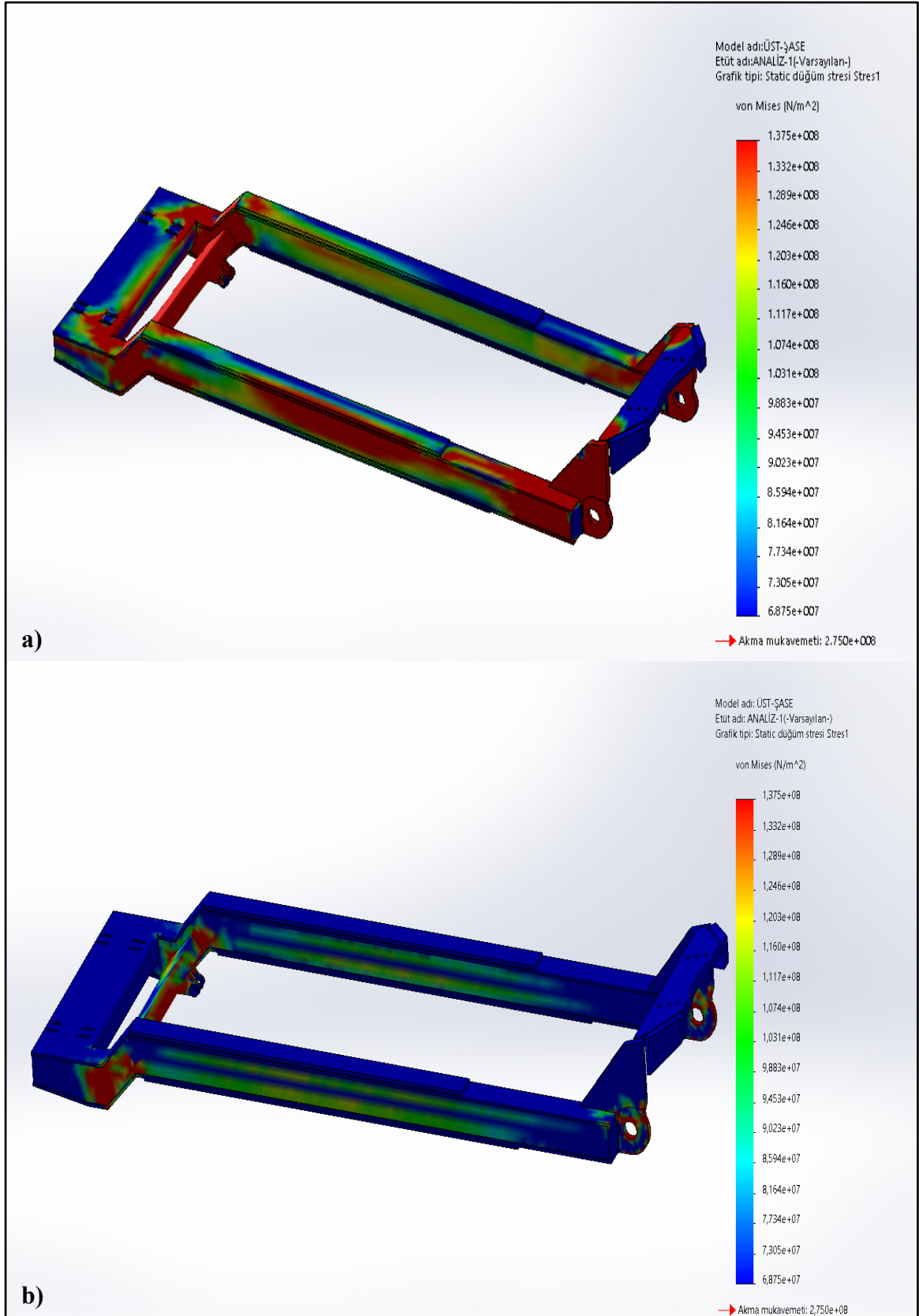


Şekil 87. Alt şasilerdeki dönüş silindirlerinin bağlandığı kısımların gerilme değerleri

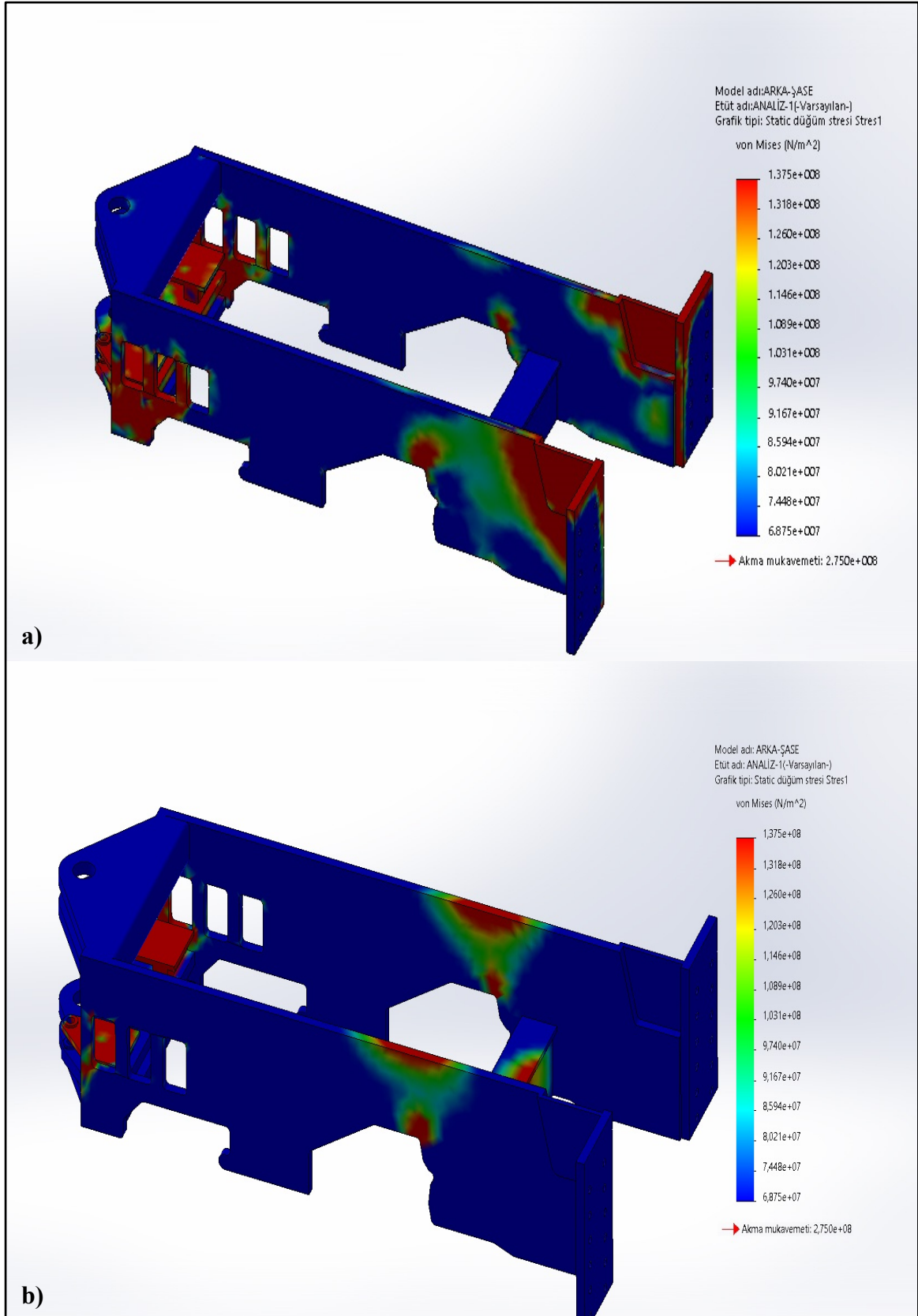
3.4.2. Şasiler İçin Ön Görülen Onarımlar Sonucu Yapılan Gerilme Analizi

Revizyona başlamadan önce şasilerde yapılan gerilme analizi sonucunda kırmızı görülen bölgelerin, onarıma en çok ihtiyaç duyan bölgeler olduğu ön görüldü. Söz konusu bölgeler zaten şasilerin çalışma prensibi gereği en dinamik gerilmelere maruz kaldığı bölgeleri olduğu gerekçeleriyle yukarıda açıklanmıştır. Bu bölgelerde yapılması düşünülen onarımlar ve güçlendirmelerin de yapılması düşünülen haliyle yine bilgisayar ortamında simule edilmesiyle aşağıda verilen analiz sonuçları elde edilmiştir.

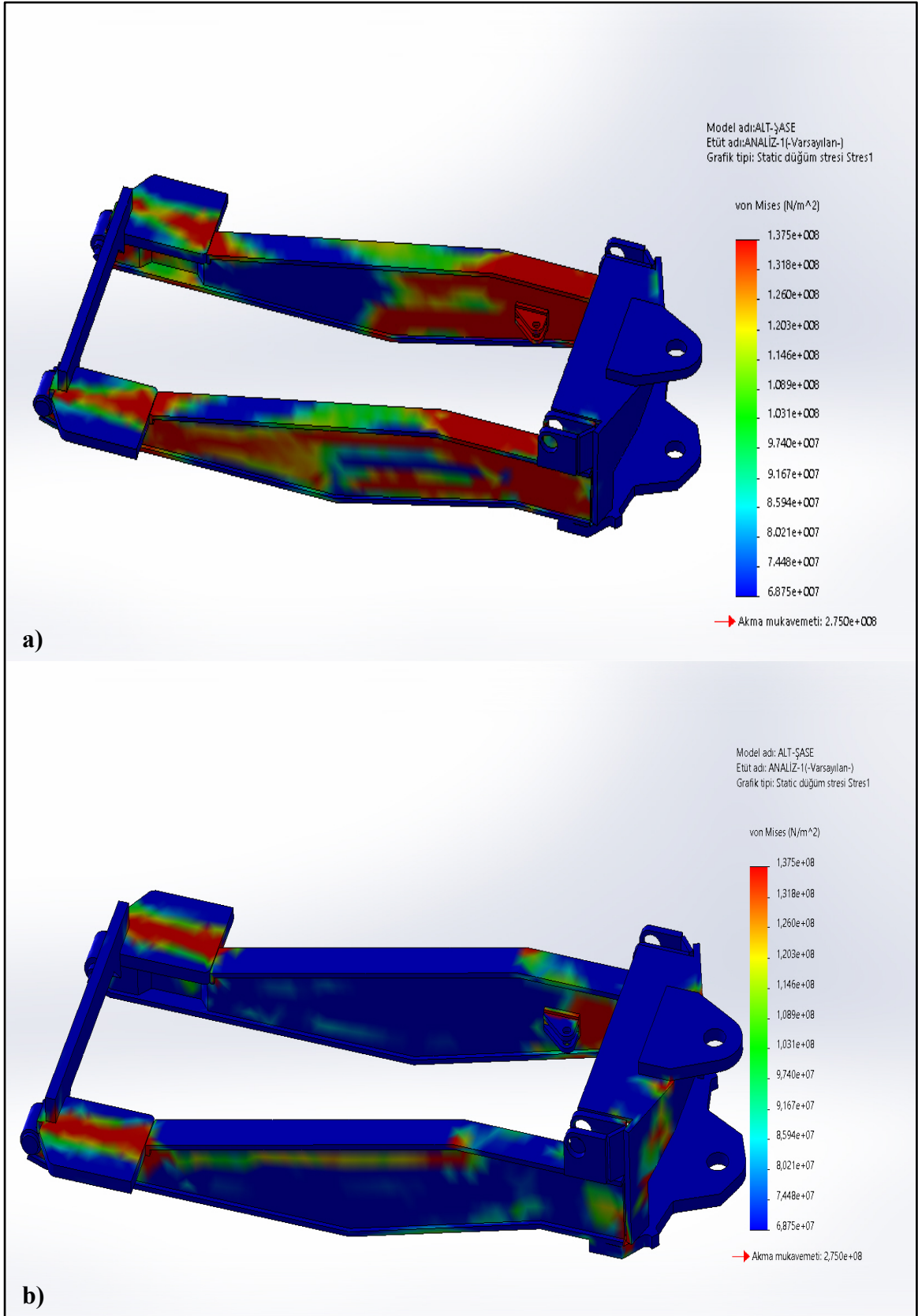
Şekil 88’de üst şasinin bilgisayar ortamındaki analizi ile onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizinin, Şekil 89’da alt ön şasinin bilgisayar ortamındaki analizi ile alt şasinin ön kısmının onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizinin ve Şekil 90’da alt şasinin arka kısmının bilgisayar ortamındaki analizi ile alt şasinin arka kısmının onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi bir arada verilmiştir.



Şekil 88. a) Üst şasinin bilgisayar ortamındaki analizi, b) Üst şasinin onarılmış halinin simüle edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi



Şekil 89. a) Alt şasinin ön kısmının bilgisayar ortamındaki analizi, b) Alt şasinin ön kısmının onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi



Şekil 90. a) Alt şasinin arka kısmının bilgisayar ortamındaki analizi, b) Alt şasinin arka kısmının onarılmış halinin simule edilmesiyle yapılan bilgisayar ortamındaki gerilme analizi

Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere revizyon sonrasında, şasilerde onarımdan önceki analizlerde rastlanan kırmızı renkle gösterilen gerilme yığılmalarının en yüksek ve yoğun olduğu bölgelere daha az rastlanmıştır. Bunun sebebi yapılması düşünülen onarımlar neticesinde şasideki mevcut çatlakların ortadan kaldırılacağı ve malzemenin yükü taşıyan kesitinin başlangıç değerine getirilmiş olunacağından, etki eden gerilme değerinin güvenli seviyeye indirilmesinin sağlanmasıdır.

Ayrıca parça değişimiyle onarımı yapılacak bölgelere konulan yeni parçalar ve bu parçaların kaynak yöntemlerinin, ilgili bölgedeki mukavemeti artıracak düşünölmüştür.

Özellikle gerilme yığılmalarının en büyük ve en yoğun olduğu üst şasinin arka kısmında yenilenen bölgedeki, kaldırma silindirlerinin şasi bağlantı ayaklarının bağlı olduğu profil, orijinal tasarımındaki gibi alın kaynağıyla birleştirilmesinin yerine yeni yapılan tasarımla ilgili bölgedeki web saclarının içine geçecek şekilde uzatılmış ve böylece yükü kaynağa değil de malzemeye taşıtılmasının amaçlanmış hali de analizde simule edilince söz konusu bölgedeki gerilme yoğunluğu da azalmıştır.

Şasilerde yapılan gerilme analizi sonucunda gerilme değerlerinin sınır değerlere eriştiği bölgelere ilave destek parçaları yerleştirilerek söz konusu bölgelere gelen yükleri taşıyan kesitin artırılması sonucunda gerilme değerlerinin güvenli seviyeye indirilmesi sağlanmıştır. Revizyon sonrası yapılan gerilme analizinde bu bölgelerin gerilme yoğunluklarının azaldığı görölmüştür.

3.5. Şasilerin Onarımları

İncelenen mikser şasileri S355JR2 malzemedden üretilmiştir. Şasilerin üzerindeki kaynak hataları özellikle; mikserin aşırı yük etkisindeki hareketli (göbek, direksiyon vb.) ve aşırı yük altında çalışan (üst şasi bağlantı kulakları, kazan altı şasi kısımları vb.) kısımlarında tespit edildi (Şekil-30).

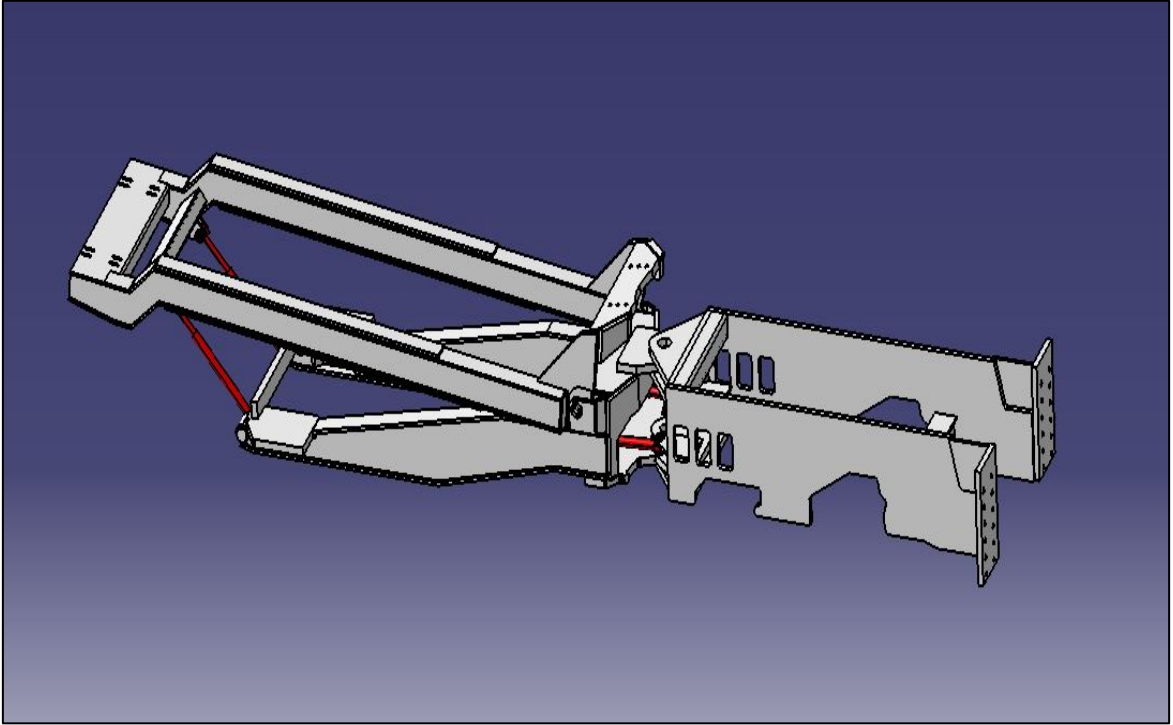
Tespit edilen hasarlı kaynak dikişleri ve parçalar; belirlenen onarım prosedürleri doğrultusunda, SG3 kaynak teli, MIG gaz altı kaynak yöntemiyle, 180-220 amper değerinde, el hızında ilerlemeyle kaynak edilerek onarılmışlardır.

Onarılan şasi kısımlarında ilave parça kullanımına ihtiyaç olduğunda ve/veya parça değişimi yapıldığında, yine orijinal şasi malzemesinden ve orijinal kesit kalınlığındaki parçalar kullanıldı.

Şasilerin onarımları sırasında parça değişimi yapılmadan onarılacak kısımlarda rastlanan kaynak hataları, bu çalışma için oluşturulan kaynak hataları tashih prosedürleri doğrultusunda onarıldı. Bu prosedürün genel prensibi olarak hatanın başlangıç ve bitiş noktaları matkapla delindi ve böylece tashih işlemi yapılacak olan kaynak çatlaklarının bölgesel taşlanması sırasında olası çatlak yürümesi engellendi, bu konu onarım işlemlerinin hassasiyeti açısından aşırı önemiyet içermektedir. Ardından onarılacak bölge, üzerinde herhangi bir çatlak kalmayacak şekilde taşlandı ve ilgili bölgeler önce gözle daha sonra penetrant sıvı ve manyetik parçacık yöntemiyle kontrol edilerek üzerlerinde çatlak kalmadığından emin olunmasının ardından söz konusu bölgelerin kaynaklı onarımları gerçekleştirildi.

Yapılan onarım kaynak dikişleri de onarımların bitiminde penetrant sıvı ve manyetik parçacıkla muayene yöntemleriyle kontrol edilerek üzerlerinde herhangi bir çatlak olmadığından emin olundu, zira bu aşamada yapılan tahribatsız muayene kontrollerinde herhangi bir çatlakın tespit edilmesi halinde prosedür doğrultusunda işlem adımları baştan tekrar edildi.

Şekil 91’de aracın şasilerinin bilgisayar ortamındaki çizilmiş hali görülmektedir. Üst şasi beton kazanını taşıyan, alt şasi ise aracın tüm ekipmanlarını taşıyan şasilerdir.



Şekil 91. Araç şasilerinin bilgisayar ortamında çizilmiş hali

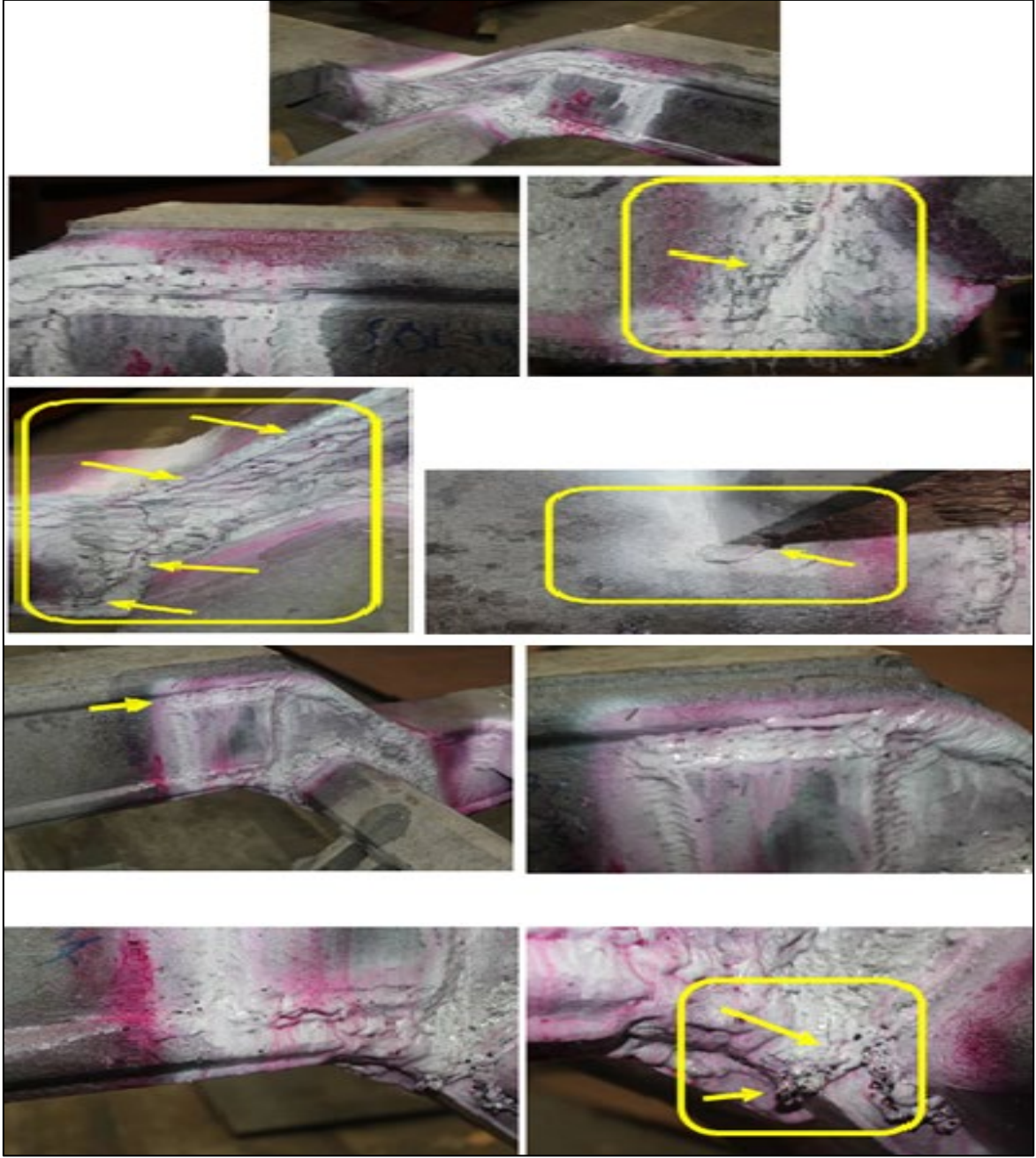
Üst şasinin açılı olarak yükselip alçalma, alt şasinin de belden kırılma yapıların dolayı araç şasileri yüksek dinamik gerilmelerin altında çalışır. Bu durumda şasilerin üzerlerindeki hareketli kısımları (üst şasinin kaldırma silindirlerinin bağlı olduğu kısımlar, alt şaside dönüş silindirlerinin bağlı olduğu kısımlar vb.) gerilme yığılmalarının en yüksek değerde ve en yoğun olarak görüldüğü yerlerdir. Dolayısıyla zaman içerisinde şasilerin bu hareketli kısımlarındaki kaynak dikişlerinde ve/veya malzemede başlayan, özellikle çatlak türündeki hatalar dinamik gerilmelerin altında, şasinin sabit kısımlarına nazaran, daha hızlı ilerler ve bunun doğal sonucunda bu kısımlar daha sık onarıma ihtiyaç duyarlar.

Şekil 84'de verilen araç şasilerinin bir arada bilgisayar ortamındaki gerilme analizlerinde gerilme yığılmalarının en yüksek değerlerde ve en yoğun olarak görüldüğü bölgelerin, şasilerin hareketli kısımlarında olduğu görülmüştür. Zira bu kısımlar aracın detaylı revizyonundan önceki bakımlarında zaman zaman onarıma uğramış hatta bazı yerlerde takviye parça uygulamasına dahi gidilmiştir.

Şasilerin üzerlerindeki çatlakların onarımlarının yapılmaya başlandığında en çok dikkat edilen hususların başında, onarımı yapılacak bölgeye, bölgenin çatlaktan tamamen arındırıldıktan sonra kaynak dikişinin uygulanmasıdır.

Ayrıca birkaç defa kaynakla onarılan malzeme kısımlarında söz konusu bölgeye birkaç kez, kaynak işleminden gelen aşırı ısı girdisi olduğundan bu bölgelerde ısı etkisiyle tane irileşmesinin meydana geldiği ve bu sebeple ilgili bölgedeki malzeme mukavemetinin düştüğü söz konusu bölgelerde tekrar eden onarımlardan varılan sonuçlardan biridir.

Şekil 92'de üst şasinin arka kısmında, önceki onarımlarda yapılan kaynaklar ve bu kaynaklardaki hatalar görülmektedir. Bu kısımda görüldüğü üzere üst şasinin arka kısmında yapılan önceki onarımlarda uygulanan kaynak dikişleri o kadar yoğun bir hal almıştır ki dikişlerden bazıları üst üste bindirilerek ilgili bölgeler doldurulabilmiştir. Hatta iç kısımlardaki saclardaki çatlaklar o kadar ilerlemiştir ki ilgili yerde taşlamadan ziyade parça kesip alınarak yerine uygun ebatlarda yeni takviye parçaları kaynakla monte edilmiştir.

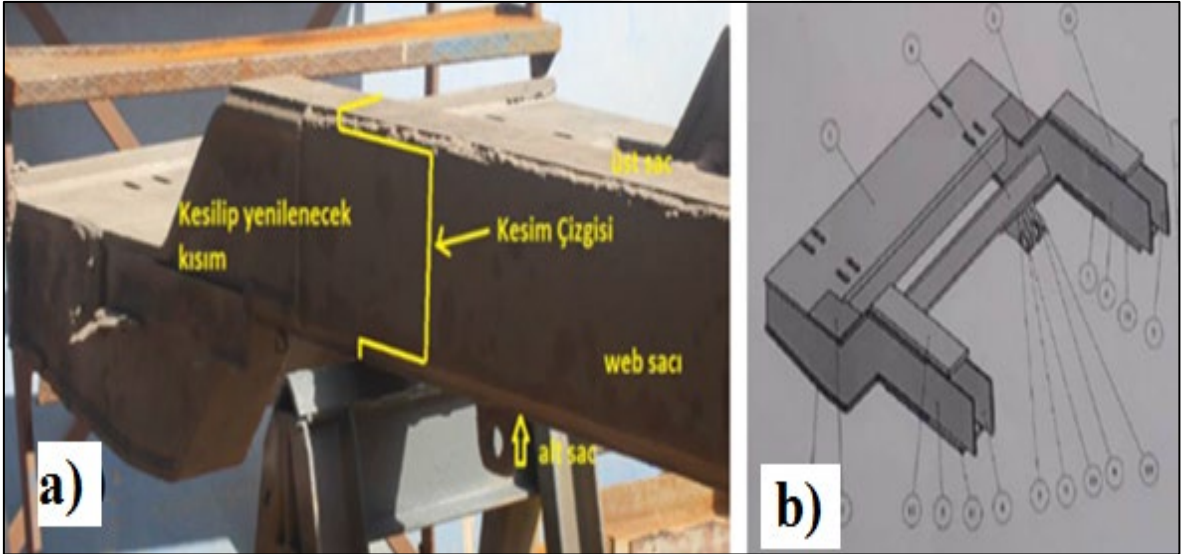


Şekil 92. Üst şasinin arka kısmında önceki onarımlarda yapılan kaynaklar ve bu kaynaklardaki hatalar

Ayrıca yine aynı kısımdaki kaynak dikişlerinin üzerlerinde çatlaklar olması ve dikişlerin altındaki dikişlerdeki çatlaklar için net bir öngörü ortaya konulamaması ilgili bölgeler için verilecek onarım kararlarını zorlaştırmıştır. Çünkü söz konusu bölgede altta kalan dikişleri yüzeye kapalı olduğundan penetrant sıvı ve manyetik parçacık yöntemi buralardaki kusurları ortaya koyamaz.

Üst şasinin arka kısmının onarımına başlanmadan önce, net olan bir öngörü vardı o da şu ki yapılacak taşlama sonrası malzemede kaynak dikişiyle doldurulması sınırını aşacak boşlukların oluşacak olmasıydı. Çünkü bu kısımda birbiri üzerine binen çokça onarım dikişi ve bazı yerlerde takviye parçalar içeriyordu. Takviye parçaların şasiye montajındaki kaynak dikişlerinde de çatlaklar mevcuttu ve bu parçaların yapıdan kaldırılmasından sonrasında yerlerine yeni konulacak parçaların daha büyük boyutlarda olması gerekiyordu. Bu durumda büyük parçaların montaj kaynak dikişleri de daha uzun ve kalın olacağından zaten önceki kaynak işlemlerinde aşırı ısı girdilerine maruz bölgeler tekrardan ısı girdisine maruz kalacaktı.

Tüm bu sebeplerden ötürü üst şasinin arka kısmı kesilerek üst şasiden ayrıldı. Yeniden imal edilen üst şasinin arka kısmı orijinal şasi malzemesinden ve orijinal sac kalınlıklarında imal edildi. Şekil 93'te üst şasiden kesilerek ayrılan arka kısmın görüntüsü ile yenilenen kısma ait bilgisayar ortamındaki çizimi görülmektedir.

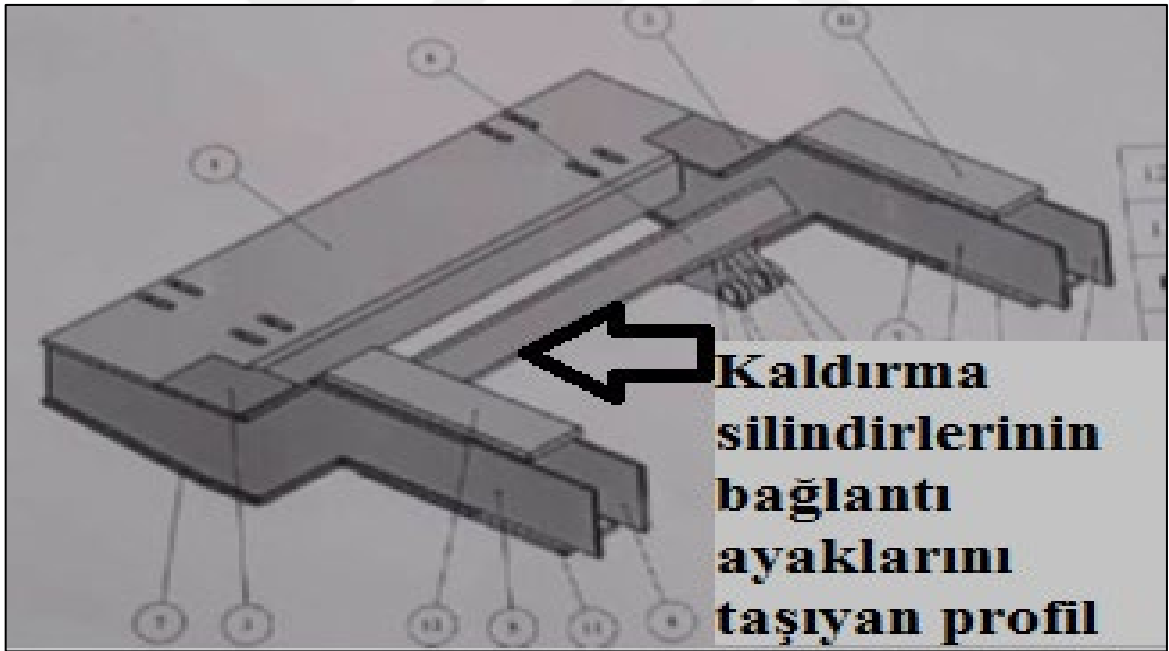


Şekil 93. a) Üst şasiden kesilerek ayrılan arka kısmın görüntüsü, b) üst şaside yenilenen kısmın bilgisayar ortamındaki çizimi

Yenilenen kısmın şasiye birleşim yeri girintili bir yapı oluşturulacak şekilde tasarlandı ki birleşimde yük, birleşim bölgesindeki alın kaynağına değil de malzemeye taşıtılsın. Bu duruma ek olarak yeniden imal edilen kısmın kapalı kesitlerindeki iç kısımlarına yapılan ilave paça takviyeleriyle bağlantı yerindeki yükü taşıyan malzeme kesit kalınlıkları da artırıldı ve söz konusu bölgedeki birleşim noktasındaki yük daha yayılı hale getirildi.

Yeniden imalat yapılırken söz konusu bölgedeki malzemeler de yenilendiğinden ilgili yerdeki malzeme yorulması da ortadan kaldırılmış oldu. Böylece dinamik gerilmelerin altındaki bu kısmın bir sonraki onarıma ihtiyaç duyma süresi de artırılmış oldu.

Ayrıca bu kısımda yapılan en önemli işlem kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profilin tasarımında yapılan değişikliktir. Üst şaside kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profil Şekil 94’de görülmektedir. Bu profil kaldırma silindirlerinden gelen etkiyi üst şasiye aktaran kısımdır dolayısıyla üst şasideki en yüksek gerilemeler bu profil etrafında olmaktadır. Orijinal tasarımda profilin boyu şasi kolları arasındaki mesafe kadardı ve söz konusu profil şasi iç kısımlardaki saclara alın kaynağıyla monte edilmişti. Bu durumda profilden şasiye aktarılan yükü, profili şasiye bağlayan alın kaynakları taşımaktaydı. Bu durumda ilgili bölgede yapılan onarımlarda taşlamadan dolayı malzeme boşaltmaları ve kaynak dikişi uygulamaları aracın revizyona kadar geçirdiği sürede birkaç kez tekrar etmiş ve hatta takviye sacıyla da desteklenmiştir.



Şekil 94. Üst şasideki kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profil

Söz konusu kısım yeniden imal edilince kaldırma silindirlerinin bağlantı ayaklarını taşıyan profilin boyu iç kısımdaki birleşme yerlerindeki sacların içine her iki taraftan 40 mm geçecek şekilde uzatılmış ve böylece ilgili yerdeki yük, alın kaynağına değil de malzemeye taşınmış, alın kaynağı sadece montaj vazifesini görmüştür. Tabi burada dikkat edilen en önemli husus içe geçen yerlerdeki malzemeler arasında boşluk olmaması yani bir

başka deyişle parçalar arasında boşluksuz birleşim sağlanması ve böylece söz konusu yerlerdeki kaynak dikişlerinin yorulma ömürlerinin uzatılmasıdır. İmalat yeniden yapıldığından dolayı söz konusu kompleyi oluşturan saclar yeniden ve yeni tasarımdaki ölçülere göre kesildiğinden parçaların boşluksuz birleştirilerek kaynatılmasını sağlamak mümkün oldu.

Üst şasinin ön kısmındaki alt şasiye pivot bağlantı bölgelerinin de, yapılan gerilme analizinde yüksek gerilme bölgeleri olduğu görülmüştür. Zaten üst şasi kumlandıkdan sonrada ilgili bölgelerdeki çatlakların birçoğu çıplak gözle görülebilir haldeydi. Bu ön kısımlar da önceki bakımlarda onarıma tabi tutulmuştu fakat işlem yoğunluğu arka kısımlardaki kadar değildi. Ayrıca bu ön kısımlardaki sacların kesit kalınlığı arka kısımlardaki saclardan, tasarım gereği daha fazla olduğundan çatlaklar arka kısımdakiler kadar ilerlememiş ve çatlakların taşlanmasıdan sonra oluşan boşluklar kaynak dikişiyle doldurulabilecek boşluk sınırını aşmamıştır. Dolayısıyla ilgili bölgelerdeki hatalar, kaynak hataları tashihiyle giderilebilmiştir.

Ayrıca konstrüksiyon gereği üst şasinin ön kısmındaki pivot bağlantı bölgesi şasi açılı olarak yükseldiğinde sadece kendi eksenini etrafında pivot bağlantı noktalarında dönme hareketine sahiptir, üst şasinin arka kısmı ise kalkış esnasında yukarı, iniş esnasında aşağı doğru açılı olarak hareket eder ve alt şasiye oturup kalkar, dolayısıyla arka kısmın ön kısma göre daha hareketli olması, arka kısmın ön kısma göre daha fazla dinamik gerilme etkisinde olduğunu gösterir. Bundan dolayıdır ki önceki bakımlarda arka kısımlar daha fazla onarıma maruz kalmış ve revizyonda arka kısımlarda ön kısımlara göre daha fazla ve daha derin çatlaklar oluştuğu görülmüştür.

Alt ve üst şasi genel olarak karşılaştırıldığında alt şaside daha az çatlak ve onarıma ihtiyaç duyan kısımlar olduğu görüldü. Zaten gerilme analizlerindeki kırmızı bölgelerin yoğunluğu da alt şasilerde, üst şasiye nazaran daha azdı ve analiz bu anlamda da gerçekte uyumluydu. Alt şasilerde daha az hatanın tespit edilmesinin ana nedeni, tasarım gereği alt şasinin daha kalın saclardan imal edilmesidir.

Alt şaside, üst şasinin arka kısmındaki gibi, şasinin bir kısmının kesilip yeniden imal edilmesi söz konusu olmamıştır. Alt şaside parça değişimiyle ve kaynak hatalarının tashihiyle onarımlar gerçekleştirildi. Hangi bölgenin parça değişimiyle hangi bölgenin kaynak hatalarının tashihiyle onarılacağı konusundaki kriterler, üst şasi için yukarıda detaylı olarak anlatılan durumlardaki gibidir.

Alt şasinin en hareketli kısımlarından biri belden kırılmanın gerçekleştiği, şasilerin birleştikleri kısımdır. Zaten en fazla gerilme yığılmaları bu bölgededir. Bu bölgedeki en kritik kısımlar dönüş silindirlerinin şasiye bağlantı ayaklarıdır.

Konstrüksiyon gereği manevra esnasında dönüş silindirlerinden biri uzar diğeri kısalır, tersine manevrada tersine durum söz konusudur. Dolayısıyla manevralar esnasında bu bağlantı ayakları itme ve çekme etkisinde dinamik olarak yorulurlar. Zaten revizyondan önceki bakımlarda bu bölgeler de zaman zaman onarım görmüştür. Fakat bu kısımlarda üst şasinin arka kısmı kadar yoğun onarımlar yapılmamıştır ve herhangi bir takviye parça uygulaması da yoktur. Dolayısıyla bu kısımlar kaynak hataları tashih yöntemleriyle onarılmıştır.

Alt şasinin arka kısımlarında, kaldırma silindirlerinin bağlı olduğu bölgeler dinamik gerileme etkilerinin en yoğun görüldüğü bölgelerdendir. Bu durum da gerilme analizlerinden görüldü. Revizyondan önceki bakımlarda bu bölgelerde de onarımlar yapıldığının tespit edilmesi bu açıdan da yapılan gerilme analizinin gerçek durumla örtüştüğünü bir kez daha göstermiştir.

Alt şasinin arka kısmına üst şasi, açılı olarak yükselip alçaldığında, konstrüksiyon gereği oturup kalmaktadır. Bu yükselip alçalma esnasında üst şasinin ve onun üzerindeki beton kazanının tüm yükü kaldırma silindirleri vasıtasıyla alt şasinin bu arka kısımlarındaki silindir bağlantı ayaklarına binmektedir. Dolayısıyla yüksek gerilmeler bu noktalarda dinamik karakter kazanmakta ve bu bölgedeki malzeme ve kaynak dikişleri de dinamik yorulma etkisi altında olmaktadır.

Bu durumun sonucu olarak alt şasi arka ayaklarında Şekil 95’de gösterilen hasarlar meydana gelmiştir. Bu kısımlarda, detayları yapılan onarımlar kısımlarında anlatılan, parça değişimiyle onarımlar yapılmıştır.

Burada yapılan onarımlarda da yukarıda detaylı anlatıldığı şekilde değişimi yapılan parçanın yerine boşluksuz birleşimi sağlandıktan sonra yerine kaynatılmış ve yukarıda detaylarıyla anlatılan, onarımda dikkat edilen hususlara burada da dikkat edilmiştir.



Şekil 95. Alt şasi arka ayaklarında görülen hasarlar

4. SONUÇLAR

10-35°C sıcaklık ve %65-90 nem değerleri aralığındaki ortam koşullarına sahip yer altı madeninde 41.150 motor çalışma saati çalışmış yatay mikserin detaylı şasi revizyonu sonucu yapılan onarım ve konstrüktif değişikliklerin incelenmesinden çıkartılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Yer altı koşulları kullanılan yatay mikser şasilerinde ek zorlayıcı etkiler meydana getirir.
2. Belirli motor saatleri sonucunda yer altı yatay mikserlerinin şasileri kaynak hasarlarına karşı detaylı revizyona ihtiyaç duyarlar.
3. Araç üzerinde yapılan revizyonlar sonucunda aracın şasisindeki gerilme dağılımı daha homojen hale gelir ve gerilme dağılımındaki tepe değerlerde anlamlı azalma elde edilir.
4. Araç şasisinde elde edilen homojen gerilme dağılımı aracın operasyonel verimliliğini ve güvenli iş yapabilme kabiliyetini artırır.
5. Araç şasilerine uygulanan gerilme analizleri oldukça tatminkar sonuç verir.
6. Kaynak hataları şasilerin dinamik gerilmelere maruz kalan hareketli kısımlarında öncelikli olarak başlar ve bu kısımlar öncelikli olarak onarıma ihtiyaç duyarlar.
7. Uygulanan gerilme analiz sonuçlarında belirlenen gerilme yığılma bölgeleri ile tespit edilen hasar bölgeleri arasında tatminkar bir uyum görülür.
8. Aracın şasi ve onarımında kullanılan S355JR2 malzemesi MIG kaynak yöntemiyle SG3 kaynak teli ve 180-220 Amper aralığında etkin bir şekilde kaynak edilir.
9. S355JR2 malzemenin onarımında kullanılan SG3 kaynak teli tatminkar sonuç verir.
10. Araç şasisinin kaynaklı onarımında tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak hataları yeterli doğrulukla belirlenebilir.
11. Kaynaklı onarımlarda tahribatsız muayene etkin bir kontrol yöntemidir.

5. ÖNERİLER

1. Yer altı yatay mikserlerinin şasilerinin özellikle hareketli kısımları dinamik gerilmelerin altında çalışmaktadır. Bu kısımların güçlendirilmesi için gerekli şasi konstrüksiyon iyileştirmeleri incelenebilir.
2. Yer altı yatay mikserlerin onarımında kullanılan S355JR2 malzemeye alternatif malzemelerin etkinliği incelenebilir.
3. Bu tarz detaylı şasi revizyonlarında şasiler üzerine yapılan onarımların, şasi tüm servis ömrü boyunca, izlenebilirliğini sağlayacak bir sistem oluşturulması araştırabilir.
4. Araçlarda gerilme analizi sonucunda en yüksek gerilmenin ortaya çıktığı bölgelerdeki gerilmelerin çalışma esnasında sürekli ölçümünü sağlayacak bir sistem kurulup incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Uslu, U. ve Küçükömeroğlu, T., Yer Altı Yatay Mikserlerde Kaynak Hasarlarının İncelenmesi, 11. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, Kasım 2019, Ankara, Bildiriler Kitabı, 216-222.
2. <https://doczz.biz.tr/doc/83185/maden-maden-muhendisligine-giris-ders-notu-1>, Maden Mühendisliğine Giriş. 10 Nisan 2021.
3. <https://pixers.com.tr/duvar-resimleri/demiryolu-parca-ile-mine-yeralti-madenciligi-48849812#configurator>, 10 Nisan 2021.
4. <https://www.paus.de/en/mining-and-tunnelling/utility-vehicles/uni-50-series.html>, Paus. 15 Nisan 2021.
5. [https://www.rocktechnology.sandvik/en/news-and-media/news-archive/2012/04/sandvik-ds421-cable-bolter-improved-productivity-safety-and-reliability-with-one-operator-/,](https://www.rocktechnology.sandvik/en/news-and-media/news-archive/2012/04/sandvik-ds421-cable-bolter-improved-productivity-safety-and-reliability-with-one-operator-/) Sandvik. 15 Nisan 2021.
6. <https://www.veekmas.fi/en/ug-motor-graders/veekmas-fg-7-c/>, Veekmas. 15 Nisan 2021.
7. <https://www.australianmining.com.au/news/sandvik-unveils-latest-two-boom-jumbo-underground-drill/>, Australian Mining. 15 Nisan 2021.
8. <https://trucksplanet.com/models/atlas-copco-mintetruck-mt431b-mt436b/>, Trucks Planet. 15 Nisan 2021.
9. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-loaders-and-trucks/advanced-underground-lhds/lh514-underground-lhd/>, Sandvik. 15 Nisan 2021.
10. <https://www.tunneltalk.com/New-Products-09June2015-Normet-launches-latest-spray-robot.php>, Tunnel Talk. 15 Nisan 2021.
11. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-drill-rigs-and-bolters/rock-support-drill-rigs/ds421-rock-support-drill-rig/>, Sandvik. 15 Nisan 2021.
12. https://www.normet.com/product_type/utimec/, Normet. 15 Nisan 2021.
13. Toprak, T., Bozdağ, E. ve Sünbuloğlu, E., Ağır İş Makinalarının Tasarımında Teorik-Deneysel Gerilme ve Yorulma Analizi, Mühendis ve Makina, 49,585 (2008) 9-17.
14. Shao, Y., Liu, J. ve Mechefske, C.,K., Drive Axle Housing Failure Analysis Of A Mining Dump Truck Based On The Load Spectrum, Engineering Failure Analysis, 18 (2011), 1049-1057.

15. Zheng, S., Cheng, K., Wang, J., Liao, Q., Liu, X. ve Liu, W., Failure Analysis Of Frame Crack On A Wide-Body Mining Dump Truck, Engineering Failure Analysis, 48 (2015), 153-165.
16. Maury, H., Wilches, J., Illera, D., Pugliese, W., Mesa, J. ve Gomez, H., Failure Assessment Of A Weld-Cracked Mining Excavator Boom, Engineering Failure Analysis, 90 (2018) 47-63.
17. Dağ, S., Fıçıcı, F. ve Geniş, K., İş Makinalarında Kırılma ve Yorulma Problemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Mühendis ve Makina, 48,571 (2007) 3-5.
18. Savkin, A.,N., Gorobtsov, A.,S. ve Badikov, K.,A., Estimation of Truck Frame Fatigue Life Under Service Loading, Procedia Engineering, 150 (2016) 318-323.
19. Rao, V.,N. ve Eischen, J.,F., Failure Analysis Of Mixed Mode Crack Growth In Heavy Duty Truck Frame Rail, Case Studies in Engineering Failure Analysis, 5,6 (2016) 67-74.
20. Godefroid, L.,B., Faria, G.,L., Candido, L.,C. ve Araujo, S.,C., Fatigue Failure Of A Welded Automotive Component, Procedia Materials Science, 3 (2014) 1902-1907.

ÖZGEÇMİŞ

Utku USLU, orta öğrenimini Kanuni Anadolu lisesinde tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden birincilikle mezun oldu. Vatani görevini tamamladıktan sonra hafif metro ve tramvay seri üretimi yapan bir fabrikada Metot Mühendisi olarak çalışmaya hayatına başladı. Ardından yabancı sermayeli bir yer altı maden şirketinde İş Makinaları Güvenilirlik Mühendisi ve İş Makinaları Bakım Planlama Mühendisi pozisyonlarında çalıştı, burada çalışırken Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Hafif silah seri üretimi yapan bir fabrikada Üretim ve Planlama Mühendisi olarak kariyerine devam eden Utku USLU iyi derecede İngilizce bilmektedir.