

**Yürüyen Çekme-Kepçeli Yerkazarların Optimum Verimliliği
ve Bakım-Onarımı İçin Sistem Güvenilirliği Modeli
Geliştirilmesi**

REVİZE RAPOR

Proje No: 111M320

Doç.Dr. Nuray Demirel
Doç.Dr. A. Sevtap Kestel

OCAK 2014
ANKARA

ÖNSÖZ

TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu tarafından desteklenen 111M320 Kod numaralı “Yürüyen Çekme-Kepçeli Yerkazarların Optimum Verimliliği ve Bakım-Onarımı İçin Sistem Güvenilirliği Modeli Geliştirilmesi” başlıklı bu proje 01.10.2011-01.10.2013 tarihleri arasındaki 24 aylık süreçte tamamlanmıştır. Projenin toplam bütçesi 118.377,00 TL’dir. Proje ekibi, proje yürütücüsü Doç. Dr. Nuray Demirel, araştırmacı Doç. Dr. A. Sevtap Kestel, danışman Prof. Dr. H. Şebnem Düzgün, yarı zamanlı ve tam zamanlı ücretli bursiyerler Onur Gölbaşı, Mustafa Erkayaoğlu, Deniz Tuncay, Uğur Alkan’dan oluşmaktadır.

Proje çalışmaları öngörülen takvime uygun olarak tamamlanmış ve proje sonucunda elde edilen bulgu ve bilgilerle, yürüyen çekme-kepçeli yerkazarların verimliliğinin artırılması ve kayıp zamanların en aza indirilmesi için sistem güvenilirliği modeli geliştirilmesi ve en uygun bakım onarım politikaları oluşturulması hedeflerine başarıyla ulaşılmıştır. Proje çalışmalarından biri doktora olmak üzere iki tane lisansüstü tez çalışması tamamlanmış ve proje konusu ile ilgili araştırmacılar yetiştirilmiştir. Ayrıca proje çıktıları ulusal ve uluslararası bilimsel kongre ve sempozyumlarda sunulularak konu ile ilgili mevcut literatüre de katkıda bulunulmuştur.

Proje ekibi sağladığı destekten aynı destekten dolayı Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü’ne ve İdeal Makine Danışmanlık, İthalat, İhracat ve Ticaret Limited Şirketi’ne ve sağladığı maddi destekten dolayı TÜBİTAK’a teşekkürlerini sunarlar.

Doç. Dr. Nuray Demirel
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ..... | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| TABLO LİSTESİ | v |
| ŞEKİL LİSTESİ | vii |
| ÖZET | xiii |
| ABSTRACT | xv |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ | 1 |
| 2.1 Yürüyen Çekme-Kepçeli Yerkazarların Genel İncelemesi | 1 |
| 2.2 Güvenilirlik Analizi | 2 |
| 2.3 Maden Mühendisliğinde Güvenilirlik Çalışmaları | 4 |
| 2.4 Sistem Verimliliğini Etkileyen Faktörler ve Sistem Çeşitleri | 7 |
| 2.5 Onarılabılır Sistemlerin Güvenilirlik Analizleri..... | 10 |
| 2.6 Hata Ağacı Analizi ile İlgili Temel Kavramlar ve Açıklamalar | 12 |
| 2.7 Hata Ağacı Analizine Yönelik Örnek Uygulamalar | 18 |
| 2.8 Bakım Onarımın Genel İncelemesi | 31 |
| 2.9 Bakım Onarım Türleri | 32 |
| 3. GEREÇ VE YÖNTEM..... | 37 |
| 3.1 Giriş | 37 |
| 3.2 Çalışma Alanı | 39 |
| 3.2.1 Çalışma Alanının Jeolojisi | 39 |
| 3.2.2 Çalışma Alanındaki Üretim ve Dekapaj Yöntemi | 40 |
| 3.2.3 Analizlerde Kullanılan Veri..... | 41 |
| 3.3 Çekme-Kepçeli Yerkazarın Çözümlemesi..... | 42 |
| 3.4 Arızaların Makina Bileşenlerine Göre Sınıflandırılması..... | 45 |
| 3.5 Arızaların Yıllara Göre Dağılımları | 51 |
| 3.6 Saha Çalışması | 56 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 57 |
| 4.1. Giriş | 57 |
| 4.2 Arızalar Arası Sürenin Hesaplanması | 57 |
| 4.3 Arızalar Arası Süre Histogramları..... | 57 |
| 4.4 Arızalar Arası Süre İçin Uygun Dağılım Belirlenmesi..... | 65 |
| 4.5 Arıza Verilerinin Dağılım Davranışlarının Tespit Edilmesi..... | 73 |
| 4.5.1 Çekiş Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi | 74 |
| 4.5.2 Kaldırış Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi | 76 |

| | |
|---|-----|
| 4.5.3 Terazî Üniteli Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi | 77 |
| 4.5.4 Kepçe Üniteli Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi | 79 |
| 4.5.5 Hareket Üniteli Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi..... | 80 |
| 4.5.6 Makine Dairesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi | 82 |
| 4.5.7 Elektrik Bazlı Duraksama Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi | 83 |
| 4.6 Çekme-Kepçeli Yerkazaların Güvenilirlik Analizleri | 85 |
| 4.6.1 Çekme Kepçelerin Çekiş Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri..... | 85 |
| 4.6.2 Çekme Kepçelerin Kaldırış Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri | 86 |
| 4.6.3 Çekme Kepçelerin Terazî Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri..... | 88 |
| 4.6.4 Çekme Kepçelerin Kepçe Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri | 89 |
| 4.6.5 Çekme Kepçelerin Hareket Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri | 90 |
| 4.6.6 Çekme Kepçelerin Çekiş Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri..... | 92 |
| 4.6.7 Çekme Kepçelerin Enerji Kaynağı Birimlerinin Güvenilirlik Analizleri | 93 |
| 4.6.8 Çekme Kepçelerin Sistem Geneli İçin Güvenilirlik Analizleri..... | 94 |
| 4.7 Çekme-kepçeli Yerkazar Ünitelerinin Alt Bileşenlerinin Arıza Davranışlarının İncelenmesi ve Arıza Dağılımlarının Belirlenmesi | 95 |
| 4.7.1 Çekme Kepçe Çekiş Üniteli Alt Bileşen Dağılımları | 95 |
| 4.7.2 Çekme Kepçe Kaldırış Üniteli Alt Bileşen Dağılımları | 99 |
| 4.7.3 Çekme Kepçe Terazî Üniteli Alt Bileşen Dağılımları | 101 |
| 4.7.4 Çekme Kepçe Kepçe Üniteli Alt Bileşen Dağılımları | 103 |
| 4.7.5 Çekme Kepçe Hareket Üniteli Alt Bileşen Dağılımları..... | 104 |
| 4.7.6 Çekme Kepçe Makine Dairesi Alt Bileşen Dağılımları | 106 |
| 4.8 Çekme-Kepçeli Yerkazar Ünitelerinin Hata Ağacı Analizleri | 107 |
| 4.8.1 Çekme Kepçe Çekiş Üniteli Hata Ağacı Analizi | 107 |
| 4.8.2 Çekme Kepçe Kaldırış Üniteli Hata Ağacı Analizi | 108 |
| 4.8.3 Çekme Kepçe Terazî Üniteli Hata Ağacı Analizi | 110 |
| 4.8.4 Çekme Kepçe Kepçe Üniteli Hata Ağacı Analizi | 111 |
| 4.8.5 Çekme Kepçe Hareket Üniteli Hata Ağacı Analizi..... | 113 |
| 4.8.6. Çekme Kepçe Makine Dairesi Hata Ağacı Analizi | 114 |
| 4.8.7 Çekme Kepçe Sisteminin Tamamı İçin Hata Ağacı Analizi | 116 |
| 4.9 Çekme-Kepçeli Yerkazar Ünitelerinin Bakım-Onarım Süresi Dağılımları | 118 |
| 4.9.1 Çekme Kepçe Çekiş Üniteli Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları | 119 |
| 4.9.2. Çekme Kepçe Kaldırış Üniteli Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları | 122 |
| 4.9.3 Çekme Kepçe Terazî Üniteli Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları | 124 |
| 4.9.4 Çekme Kepçe Kepçe Üniteli Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları | 127 |
| 4.9.5 Çekme Kepçe Hareket Üniteli Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları..... | 130 |
| 4.9.6 Çekme Kepçe Makine Dairesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları | 132 |
| 4.10 Çekme-Kepçeli Yerkazalara Yönelik Önleyici Bakım Onarım Politikalarının Oluşturulması ... | 135 |

| | |
|---|-----|
| 4.10.1 Çekme Kepçe Çekiş Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası | 137 |
| 4.10.2 Çekme Kepçe Kaldırış Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası | 141 |
| 4.10.3 Çekme Kepçe Terazî Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası | 144 |
| 4.10.4 Çekme Kepçeli Yerkazarın Kepçe Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası | 147 |
| 4.10.5 Çekme Kepçe Hareket Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası..... | 151 |
| 4.10.6 Çekme Kepçe Makine Dairesi Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası | 155 |
| 4.10.7 Çekme Kepçe Sistem Geneline Yönelik Önleyici Bakım Politikası | 157 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 163 |
| KAYNAKLAR | 166 |
| EK-A | 171 |
| Zamana Bağlı Güvenilirlik Analizleri..... | 171 |
| EK-B | 179 |
| Farklı q Değerleri İle Yapılmış Güvenilirlik Analizleri..... | 179 |
| EK-C | 187 |
| Çekme Kepçeli Yerkazarların Alt Bileşenlerinin Güvenilirlikleri..... | 187 |
| EK-D | 199 |
| Çekme Kepçeli Yerkazarların Farklı Güvenilirlik Seviyelerindeki Önem Faktörleri..... | 199 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 1. Maden iş makinaları alanında yapılan bazı çalışmalar (Uzgören vd., 2010) | 4 |
| Tablo 2. Kullanılan kapıların grafiksel gösterimi, Boolean eşitliği ve olasılık ilişkisi (Samanta vd., 2002) | 20 |
| Tablo 3. Tepe ve alt-tepe olaylar için hesaplanan F, D ve U değerleri | 22 |
| Tablo 4. Her alt-tepe olaya etkisi en yüksek olan beşer hattın RRW değerleri..... | 23 |
| Tablo 5. Tepe olaya en çok etkisi olan ilk 10 taşıma hattı..... | 23 |
| Tablo 6. Vinç alt sistemlerinin arızalanma olasılıkları | 26 |
| Tablo 7. Vinç sistemindeki en olası arıza nedenleri | 27 |
| Tablo 8. Olasılık güncellemesinden sonra en olası arıza nedenleri..... | 27 |
| Tablo 9. Bakım onarım çeşitlerinin başlıca olumlu ve olumsuz tarafları (U.S. DOE, 2010) | 36 |
| Tablo 10. Elektrikli yürüyen çekme-kepçeli yer kazalarının teknik özellikleri | 41 |
| Tablo 11. Yerkazarlara ait arıza verilerinin birimlere göre karşılaştırılması | 45 |
| Tablo 12. Page 736 Çekme-kepçeli yerkazara arıza sınıflandırması | 47 |
| Tablo 13. Marion 7820 Çekme-kepçeli yerkazara arıza sınıflandırması..... | 48 |
| Tablo 14. Sistemin bütünü için arıza dağılım fonksiyonları | 66 |
| Tablo 15. Page 736'nin ana ünitelerinin arızalar arası zamanının dağılımları | 66 |
| Tablo 16. Marion 7820'nin ana ünitelerinin arızalar arası zamanının dağılımları | 66 |
| Tablo 17. Page 736'nin dağılım parametreleri | 67 |
| Tablo 18. Marion 7820'nin dağılım parametreleri..... | 67 |
| Tablo 19. Çekiş ünitelerinin tekrarlar sınamasına (run test) göre rastgelelik dereceleri | 74 |
| Tablo 20. Kaldırış ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri | 76 |
| Tablo 21. Terazi ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri | 77 |
| Tablo 22. Kepçe ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri | 79 |
| Tablo 23. Hareket ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri | 80 |
| Tablo 24. Makine dairelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri..... | 82 |
| Tablo 25. Elektrik bazlı duraksamaların tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri.. | 83 |
| Tablo 26. Çekme kepçeli yerkazalarının çekiş ünitelerinin GRP analiz parametreleri..... | 85 |
| Tablo 27. Çekme kepçeli yerkazalarının çekiş ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi ... | 86 |
| Tablo 28. Çekme kepçeli yerkazalarının kaldırış ünitelerinin GRP analiz parametreleri | 87 |
| Tablo 29. Çekme kepçeli yerkazalarının kaldırış ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi. | 87 |
| Tablo 30. Çekme kepçeli yerkazalarının terazi ünitelerinin GRP analiz parametreleri | 88 |
| Tablo 31. Çekme kepçeli yerkazalarının terazi ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi ... | 88 |
| Tablo 32. Çekme kepçeli yerkazalarının kepçe ünitelerinin GRP analiz parametreleri | 89 |
| Tablo 33. Çekme kepçeli yerkazalarının kepçe ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi... | 90 |
| Tablo 34. Çekme kepçeli yerkazalarının hareket ünitelerinin GRP analiz parametreleri..... | 91 |
| Tablo 35. Çekme kepçeli yerkazalarının hareket ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi | 92 |
| Tablo 36. Çekme kepçeli yerkazalarının makine dairelerinin GRP analiz parametreleri | 92 |
| Tablo 37. Çekme kepçeli yerkazalarının makine dairelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi | 93 |

| | |
|--|-----|
| Tablo 38. Çekme kepçeli yer kazıklarının enerji kaynağı birimlerinin GRP analiz parametreleri | 93 |
| Tablo 39. Çekme kepçeli yer kazıklarının enerji kaynağı birimlerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi..... | 94 |
| Tablo 40. Çekme kepçeli yer kazıklarının güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi..... | 95 |
| Tablo 41. Çekiş ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri | 96 |
| Tablo 42. Kaldırış ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri | 99 |
| Tablo 43. Terazi ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri | 101 |
| Tablo 44. Kepçe ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri | 104 |
| Tablo 45. Hareket ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri..... | 105 |
| Tablo 46. Makine dairesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri..... | 106 |
| Tablo 47. Çekme kepçe çekiş ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri..... | 108 |
| Tablo 48. Çekme kepçe kaldırış ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri | 110 |
| Tablo 49. Çekme kepçe terazi ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri | 111 |
| Tablo 50. Çekme kepçelerin kepçe ünitesinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimleri | 113 |
| Tablo 51. Çekme kepçe terazi ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri | 114 |
| Tablo 52. Çekme kepçe makine dairelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri | 116 |
| Tablo 53. Çekme kepçe genel sisteminin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri | 118 |
| Tablo 54. Çekiş ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri..... | 120 |
| Tablo 55. Çekiş ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat) | 122 |
| Tablo 56. Kaldırış ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri..... | 122 |
| Tablo 57. Kaldırış ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat) | 124 |
| Tablo 58. Terazi ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri..... | 125 |
| Tablo 59. Terazi ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat) | 127 |
| Tablo 60. Kepçe ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri..... | 127 |
| Tablo 61. Kepçe ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (Saat)..... | 129 |
| Tablo 62. Hareket ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri | 130 |
| Tablo 63. Hareket ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat)..... | 132 |
| Tablo 64. Makine dairesi ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri | 132 |
| Tablo 65. Makine dairesi ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat) | 135 |
| Tablo 66. Ünitelerin güvenilirlik değerlerine göre arızalanma süreleri (saat) | 136 |
| Tablo 67. Çekiş ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri | 137 |
| Tablo 68. Kaldırış ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri | 142 |
| Tablo 69. Terazi ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri | 145 |
| Tablo 70. Kepçe ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri | 148 |
| Tablo 71. Hareket ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri..... | 152 |
| Tablo 72. Makine dairesi ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri | 155 |
| Tablo 73. Genel sistem bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri | 159 |
| Tablo 74. Ünitelerin Ortalama Yaşam Süreleri (Saat)..... | 164 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1. Sistemin zamana bağlı arıza oranı değişimi (Hartzell, 2002)..... | 9 |
| Şekil 2. Sistem verimliliği parametreleri blok diyagramı (Zacks,1992)..... | 9 |
| Şekil 3. Seri ve paralel birleşik sistemlerin güvenilirliği | 10 |
| Şekil 4. Hata ağacında kullanılan operatör sembolleri (Vesely vd., 1981)..... | 15 |
| Şekil 5. Transfer sembolleri (Limnios, 2007)..... | 15 |
| Şekil 6. 1997 yılına kadar yayınlanmış hata ağacı ile ilgili makale sayıları (Ericson II, 1999) | 18 |
| Şekil 7. Sistemin güvenilirlik blok diyagramı (Samanta vd., 2002)..... | 19 |
| Şekil 8. Sistemin hata ağacı şeklinde gösterimi (Samanta vd., 2002) | 19 |
| Şekil 9. Sistemin basitleştirilmiş hata ağacı (Samanta vd., 2002)..... | 20 |
| Şekil 10. Kepçenin ve alt sistemlerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri (Samanta vd., 2002) | 21 |
| Şekil 11. Sistemin hata ağacı şeklinde gösterimi | 24 |
| Şekil 12. Hata ağacının kesme setleri | 24 |
| Şekil 13. Her bir x olayı için $I_{\phi}(i)$ değerleri | 25 |
| Şekil 14. Vinç güvenilirliğine yönelik yapılan hata ağacı analizi (Halme ve Aikala, 2012) | 26 |
| Şekil 15. Kesici yükleyicinin güvenilirlik eğrisi (Gupta v.d., 2006) | 29 |
| Şekil 16. Şehiriçi su baskına yönelik hata ağacı analizi (Veldhuis vd., 2011)..... | 31 |
| Şekil 17. Bakım-onarım çeşitleri (Mishra ve Pathak, 2004) | 33 |
| Şekil 18. A.B.D.'de yapılan bakım-onarım çalışmalarının yüzdeler dağılımları (U.S. DOE, 2010)..... | 33 |
| Şekil 19. Güvenilirlik bazı bakım onarım çalışmalarının dâhil edilebileceği alanlar (Dhillon, 1999)..... | 36 |
| Şekil 20. Projede iş akım şeması | 38 |
| Şekil 21. Çalışma alanının yer bulduru haritası | 39 |
| Şekil 22. GL'deki çekme-kepçeli yerkazalar (a) Page 736 (b) Marion 7820 | 41 |
| Şekil 23. Marion 8200 çekme-kepçeli yerkazaların ayırıştırılmış halde bölümleri (Humphrey, 1990) | 42 |
| Şekil 24. Çekme-Kepçeli yerkazaları oluşturan ana bileşenleri (Gurgenci ve Guan (2001)'dan sonra Türkçeleştirildi ve Düzenlendi) | 44 |
| Şekil 25. Arıza sayısı ve sürelerinin çekme-kepçeli yerkazalar ünitelerine göre sınıflandırılması..... | 46 |
| Şekil 26. Çekiş ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı..... | 49 |
| Şekil 27. Kaldırış ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı | 49 |
| Şekil 28. Terazi ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı..... | 50 |
| Şekil 29. Kepçe ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı..... | 50 |
| Şekil 30. Yürüyüş ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı | 51 |
| Şekil 31. Page 736 ve Marion 7820 için yıllara göre arıza sayısı ve sürelerinin dağılımı | 51 |
| Şekil 32. Çekiş ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları | 52 |
| Şekil 33. Kaldırış ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları..... | 53 |
| Şekil 34. Terazi ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları | 54 |
| Şekil 35. Kepçe ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları | 54 |
| Şekil 36. Bum ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları..... | 55 |
| Şekil 37. Yürüyüş ünitesi ve makina dairesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Şekil 38. Proje ekibinin arazi gezisinden bir görüntü..... | 56 |
| Şekil 39. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar sistem verileri histogramı | 58 |
| Şekil 40. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar sistem verileri için en uygun aralık histogramı . | 58 |
| Şekil 41. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar çekiş ünitesi için en uygun aralık histogramı ... | 59 |
| Şekil 42. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar kaldırış ünitesi en uygun aralık histogramı | 59 |
| Şekil 43. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar terazi ünitesi en uygun aralık histogramı | 60 |
| Şekil 44. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar kepçe ünitesi en uygun aralık histogramı | 60 |
| Şekil 45. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar bum ünitesi en uygun aralık histogramı..... | 61 |
| Şekil 46. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar yürüyüş ünitesi en uygun aralık histogramı | 61 |
| Şekil 47. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar sistem verileri histogramı..... | 62 |
| Şekil 48. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar sistem verileri için en uygun aralık histogramı | 62 |
| Şekil 49. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar çekiş ünitesi en uygun aralık histogramı | 63 |
| Şekil 50. Page model çekme kepçeli yerkazar kaldırış ünitesi en uygun aralık histogramı | 63 |
| Şekil 51. Page model çekme kepçeli yerkazar terazi ünitesi en uygun aralık histogramı..... | 64 |
| Şekil 52. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar kepçe ünitesi en uygun aralık histogramı..... | 64 |
| Şekil 53. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar bum ünitesi en uygun aralık histogramı | 65 |
| Şekil 54. Page model çekme kepçeli yerkazar yürüyüş ünitesi için en uygun aralık histogramı | 65 |
| Şekil 55. Marion 7820 için olasılık eğrisi | 68 |
| Şekil 56. Marion 7820 için olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği | 69 |
| Şekil 57. Marion 7820 için hasar oranının zamana bağlı değişimi | 69 |
| Şekil 58. Marion 7820 için zamana bağlı güvenilirlik eğrisi | 70 |
| Şekil 59. Marion 7820 için zamana bağlı güvenilmezlik eğrisi | 70 |
| Şekil 60. Page 736 için olasılık eğrisi | 71 |
| Şekil 61. Page 736 için olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği | 71 |
| Şekil 62. Page 736 için hasar oranının zamana bağlı değişimi..... | 72 |
| Şekil 63. Page 736 için zamana bağlı güvenilirlik eğrisi..... | 72 |
| Şekil 64. Page 736 için zamana bağlı güvenilmezlik eğrisi..... | 73 |
| Şekil 65. Marion çekiş ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 75 |
| Şekil 66. Page çekiş ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 75 |
| Şekil 67. Marion kaldırış ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 76 |
| Şekil 68. Page kaldırış ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 77 |
| Şekil 69. Marion terazi ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri..... | 78 |
| Şekil 70. Page terazi ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 78 |
| Şekil 71. Marion kepçe ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri..... | 79 |
| Şekil 72. Page kepçe ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 80 |
| Şekil 73. Marion hareket ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 81 |
| Şekil 74. Page hareket ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 81 |
| Şekil 75. Marion makine dairesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri..... | 82 |
| Şekil 76. Page makine dairesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 83 |
| Şekil 77. Marion elektrik bazlı duraksama verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri | 84 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 78. Page elektrik bazlı duraksama verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri..... | 84 |
| Şekil 79. Çekme kepçelerin çekiş ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri | 86 |
| Şekil 80. Çekme kepçelerin kaldırış ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri..... | 87 |
| Şekil 81. Çekme kepçelerin terazi ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri..... | 89 |
| Şekil 82. Çekme kepçelerin kepçe ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri..... | 90 |
| Şekil 83. Çekme kepçelerin hareket ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri | 91 |
| Şekil 84. Çekme kepçelerin makine dairelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri | 93 |
| Şekil 85. Çekme kepçelerin enerji kaynağı birimlerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri | 94 |
| Şekil 86. Çekme kepçelerin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri | 95 |
| Şekil 87. Değişik biçim parametreleri için Weibull dağılımları | 97 |
| Şekil 88. Marion 7820 çekiş ünitesi çekiş kontrol bileşeni PDF grafiği | 98 |
| Şekil 89. Page 736 kaldırış halatı PDF grafiği..... | 100 |
| Şekil 90. Page 736 kaldırış halatı arıza-zaman grafiği..... | 100 |
| Şekil 91. Page 736 terazi halatı PDF grafiği..... | 102 |
| Şekil 92. Page 736 terazi halatı arıza-zaman grafiği..... | 102 |
| Şekil 93. Çekiş ünitesi hata ağacı gösterimi..... | 107 |
| Şekil 94. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe çekiş ünitelerinin güvenilirlikleri | 108 |
| Şekil 95. Kaldırış ünitesi hata ağacı gösterimi..... | 109 |
| Şekil 96. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe kaldırış ünitelerinin güvenilirlikleri..... | 109 |
| Şekil 97. Terazi ünitesi hata ağacı gösterimi..... | 110 |
| Şekil 98. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe terazi ünitelerinin güvenilirlikleri | 111 |
| Şekil 99. Kepçe ünitesi hata ağacı gösterimi..... | 112 |
| Şekil 100. Hata ağacı analizine göre çekme kepçelerin kepçe ünitesinin güvenilirliği..... | 112 |
| Şekil 101. Hareket ünitesi hata ağacı gösterimi | 113 |
| Şekil 102. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe hareket ünitelerinin güvenilirlikleri | 114 |
| Şekil 103. Makine dairesi hata ağacı gösterimi | 115 |
| Şekil 104. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe makine dairelerinin güvenilirlikleri | 115 |
| Şekil 105. Çekme kepçe genel sisteminin hata ağacı gösterimi | 116 |
| Şekil 106. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe genel sistemlerinin güvenilirlikleri..... | 117 |
| Şekil 107. Marion çekiş ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 121 |
| Şekil 108. Page çekiş ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları..... | 121 |
| Şekil 109. Marion kaldırış ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 123 |
| Şekil 110. Marion kaldırış ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 123 |
| Şekil 111. Marion terazi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 126 |
| Şekil 112. Page terazi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 126 |
| Şekil 113. Marion kepçe ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları..... | 128 |
| Şekil 114. Page kepçe ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 129 |
| Şekil 115. Marion hareket ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 131 |
| Şekil 116. Marion hareket ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 131 |
| Şekil 117. Marion makine dairesi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 134 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 118. Page makine dairesi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları | 134 |
| Şekil 119. Marion çekiş ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 139 |
| Şekil 120. Page çekiş ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 140 |
| Şekil 121. Marion çekiş ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (176. saat) önem faktörleri | 141 |
| Şekil 122. Page çekiş ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (171. saat) önem faktörleri | 142 |
| Şekil 123. Marion kaldırış ünitesi bileşenlerinin zaman bağlı RI değerleri | 143 |
| Şekil 124. Page kaldırış ünitesi bileşenlerinin zaman bağlı RI değerleri | 143 |
| Şekil 125. Marion kaldırış ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (195. saat) önem faktörleri | 144 |
| Şekil 126. Page kaldırış ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (327. saat) önem faktörleri | 145 |
| Şekil 127. Marion terazi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 146 |
| Şekil 128. Page terazi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 146 |
| Şekil 129. Marion terazi ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (236. saat) önem faktörleri | 147 |
| Şekil 130. Page terazi ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (238. saat) önem faktörleri | 148 |
| Şekil 131. Marion kepçe ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 149 |
| Şekil 132. Page kepçe ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 149 |
| Şekil 133. Marion kepçe ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (100. saat) önem faktörleri | 150 |
| Şekil 134. Page kepçe ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (81. saat) önem faktörleri | 151 |
| Şekil 135. Marion hareket ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 152 |
| Şekil 136. Page hareket ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 153 |
| Şekil 137. Marion hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (234. saat) önem faktörleri | 154 |
| Şekil 138. Page hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (239. saat) önem faktörleri | 154 |
| Şekil 139. Marion makine dairesi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 156 |
| Şekil 140. Page makine dairesi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 156 |
| Şekil 141. Page hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (138. saat) önem faktörleri | 157 |
| Şekil 142. Page hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (191. saat) önem faktörleri | 158 |
| Şekil 143. Marion sistem geneli bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 160 |
| Şekil 144. Page sistem geneli bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri | 160 |
| Şekil 145. Marion sistem genelinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (24. saat) önem faktörleri | 161 |
| Şekil 146. Page sistem genelinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (24. saat) önem faktörleri | 162 |
| Şekil A1. Marion 7820 çekiş ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 172 |
| Şekil A2. Marion 7820 kaldırış ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 172 |
| Şekil A3. Marion 7820 terazi ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 173 |
| Şekil A4. Marion 7820 kepçe ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 173 |
| Şekil A5. Marion 7820 hareket ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 174 |
| Şekil A6. Marion 7820 makine dairesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 174 |
| Şekil A7. Marion 7820 elektrik kaynağı biriminin zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 175 |
| Şekil A8. Page 736 çekiş ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 175 |
| Şekil A9. Page 736 kaldırış ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 176 |
| Şekil A10. Page 736 terazi ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 176 |
| Şekil A11. Page 736 kepçe ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 177 |

| | |
|---|-----|
| Şekil A12. Page 736 hareket ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 177 |
| Şekil A13. Page 736 makine dairesinin zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 178 |
| Şekil A12. Page 736 elektrik kaynağı biriminin zamana bağlı güvenilirlik değişimi | 178 |
| Şekil B1. Page 736 çekiş ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 180 |
| Şekil B2. Page 736 kaldırış ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 180 |
| Şekil B3. Page 736 terazi ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 181 |
| Şekil B4. Page 736 kepçe ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 181 |
| Şekil B5. Page 736 hareket ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 182 |
| Şekil B6. Page 736 makine dairesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 182 |
| Şekil B7. Page 736 elektrik kaynağı biriminin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 183 |
| Şekil B8. Marion 7820 çekiş ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 183 |
| Şekil B9. Marion 7820 kaldırış ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 184 |
| Şekil B10. Marion 7820 terazi ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 184 |
| Şekil B11. Marion 7820 kepçe ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 185 |
| Şekil B12. Marion 7820 hareket ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 185 |
| Şekil B13. Marion 7820 makina dairesi farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 186 |
| Şekil B14. Marion 7820 elektrik kaynağı biriminin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri | 186 |
| Şekil C1. Çekme kepçeli yerkazarların çekiş ünitesi halat bileşeninin güvenilirliği | 188 |
| Şekil C2. Çekme kepçeli yerkazarların çekiş ünitesi zincir bileşeninin güvenilirliği | 188 |
| Şekil C3. Çekme kepçeli yerkazarların çekiş ünitesi kontrol bileşeninin güvenilirliği | 189 |
| Şekil C4. Çekme kepçeli yerkazarların kaldırış ünitesi halat bileşeninin güvenilirliği | 189 |
| Şekil C5. Çekme kepçeli yerkazarların kaldırış ünitesi fren bileşeninin güvenilirliği | 190 |
| Şekil C6. Çekme kepçeli yerkazarların kaldırış ünitesi genel arıza bileşeninin güvenilirliği | 190 |
| Şekil C7. Çekme kepçeli yerkazarların terazi ünitesi halat bileşeninin güvenilirliği | 191 |
| Şekil C8. Çekme kepçeli yerkazarların terazi ünitesi halat makarası bileşeninin güvenilirliği | 191 |
| Şekil C9. Çekme kepçeli yerkazarların terazi ünitesi halat soketi bileşeninin güvenilirliği | 192 |
| Şekil C10. Çekme kepçeli yerkazarların terazi ünitesi mapa ve pimi bileşeninin güvenilirliği | 192 |
| Şekil C11. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitesi dış bileşeninin güvenilirliği | 193 |
| Şekil C12. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitesi zincir bileşeninin güvenilirliği | 193 |
| Şekil C13. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitesi pin bileşeninin güvenilirliği | 194 |
| Şekil C14. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitesi ana kepçe gövdesi bileşeninin güvenilirliği ... | 194 |
| Şekil C15. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitesi bağlantı bileşeninin güvenilirliği | 195 |
| Şekil C16. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi yürüyüş bileşeninin güvenilirliği | 195 |
| Şekil C17. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi dönüş bileşeninin güvenilirliği | 196 |
| Şekil C18. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi ikaz bileşeninin güvenilirliği | 196 |
| Şekil C19. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi diğer arızalar bileşeninin güvenilirliği | 197 |
| Şekil C20. Çekme kepçeli yerkazarların makine dairesi jeneratör bileşeninin güvenilirliği | 197 |
| Şekil C21. Çekme kepçeli yerkazarların makine dairesi motor bileşeninin güvenilirliği | 198 |
| Şekil C22. Çekme kepçeli yerkazarların makine dairesi yağlama bileşeninin güvenilirliği | 198 |
| Şekil D1. Marion çekiş ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (91. saat) önem faktörleri | 200 |

| | |
|---|-----|
| Şekil D2. Marion çekiş ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (28. saat) önem faktörleri..... | 200 |
| Şekil D3. Page çekiş ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (85. saat) önem faktörleri | 201 |
| Şekil D5. Marion kaldırış ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (57. saat) önem faktörleri | 202 |
| Şekil D6. Marion kaldırış ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (13. saat) önem faktörleri | 202 |
| Şekil D7. Page kaldırış ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (124. saat) önem faktörleri | 203 |
| Şekil D8. Page kaldırış ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (27. saat) önem faktörleri | 203 |
| Şekil D9. Marion terazi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (145. saat) önem faktörleri | 204 |
| Şekil D10. Marion terazi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (59. saat) önem faktörleri | 204 |
| Şekil D11. Page terazi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (112. saat) önem faktörleri..... | 205 |
| Şekil D12. Page terazi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (23. saat) önem faktörleri..... | 205 |
| Şekil D13. Marion kepçe ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (52. saat) önem faktörleri | 206 |
| Şekil D14. Marion kepçe ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (16. saat) önem faktörleri | 206 |
| Şekil D15. Page kepçe ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (44. saat) önem faktörleri | 207 |
| Şekil D16. Page kepçe ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (20. saat) önem faktörleri | 207 |
| Şekil D17. Marion hareket ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (95. saat) önem faktörleri..... | 208 |
| Şekil D18. Marion hareket ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (24. saat) önem faktörleri..... | 208 |
| Şekil D19. Page hareket ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (108. saat) önem faktörleri | 209 |
| Şekil D20. Page hareket ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (30. saat) önem faktörleri | 209 |
| Şekil D21. Marion makine dairesi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (68. saat) önem faktörleri | 210 |
| Şekil D22. Marion makine dairesi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (22. saat) önem faktörleri | 210 |
| Şekil D23. Page makine dairesi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (74. saat) önem faktörleri | 211 |
| Şekil D24. Page makine dairesi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (11. saat) önem faktörleri | 211 |
| Şekil D25. Marion sistem genelinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (14. saat) önem faktörleri | 212 |
| Şekil D26. Marion sistem genelinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (2,4. saat) önem faktörleri | 212 |
| Şekil D27. Page sistem genelinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (13. saat) önem faktörleri | 213 |
| Şekil D28. Page sistem genelinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (2,4. saat) önem faktörleri | 213 |

ÖZET

Yürüyen çekme-kepçeli yer kazalar açık ocak kömür ocaklarında üst örtünün alınması için sıklıkla kullanılan büyük makinalardır. Ülkemizde Türkiye Kömür İşletmeleri bünyesindeki müesseselerde sekiz adet, özel sektörde bir adet olmak üzere çekme-kepçeli yer kazalar popülasyonu dokuzdur. Yatırım maliyeti 100 milyon ABD doları bulan çekme-kepçeli yer kazaların performansının yani üretkenliğinin ve verimliliğinin azami düzeyde olması maden işletmeciliğinin başarısı ve karlılığı açısından çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu makinaların servis dışı kalma sürelerini en aza indirmek, öte yandan arızalarını önceden öngörebilmek ve etkili bir şekilde kullanımını sağlamak dünyada ve ülkemizde araştırılan önemli madencilik sorunlarından biridir.

Bu projenin nihai amacı çekme-kepçeli yer kazaların fiili çalışma sürelerinin azami düzeye çıkarmak, en etkili biçimde kullanılmalarını sağlamak ve verimliliklerini azami düzeye çıkarmaktır. Bu amaçları gerçekleştirmek için, proje süresinde, çekme-kepçeli yer kazalar için bir sistem güvenilirliği modeli geliştirilmiştir. Proje çalışmasında izlenen yöntem sırasıyla: (i) Sahadan (TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Açık Kömür Ocağı) makina arıza, tamir-bakım süresi, arıza çeşiti, gibi verilerin toplanması, (ii) Toplanan verilerin ön işlem çalışması, (iii) Çekme-kepçeli yer kazaların sistem modelinin geliştirilmesi, (iv) Geliştirilen sistemin her bir bileşeni için güvenilirlik analizi yapılması, (v) Sistem güvenilirliğinin belirlenmesi, (vi) Geliştirilen güvenilirlik modelinin test edilerek doğrulanması, ve (vii) Geliştirilen sistem güvenilirlik modelinden elde edilen sonuçlara göre bakım-onarım politikaları geliştirilmesidir.

Proje çalışmaları öngörüldüğü süre içerisinde önerilen çalışmalar yapılarak başarıyla tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve edinilen bulgulara göre her iki çekme kepçeli yer kazalar karşılaştırıldığında Page 736'nın Marion 7820'ye göre güvenilirliğinin daha yüksek olduğu ve zamana karşı daha yavaş bir ivme ile düşüş gösterdiği belirlenmiştir. 100 saatlik bir dönemde Marion 7820 ve Page 736 çekme-kepçeli yer kazaların güvenilirlikleri sırasıyla yaklaşık %4 ve %9 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca hata ağacı analizi ile geliştirilen optimum bakım onarım süreleri, güvenilirlik değerlerinin %50, %70 ve %90'ın altına düşmemesi için Marion 7820 ve Page 736 için sırasıyla 23.5, 13.7, ve 2.4; ve 24.2, 13.1, ve 2.4 saat olarak tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak her iki makine için de güvenilirliği etkileyen en kritik parçaları tespit edilmiş ve bunlar için de hangi sürelerde bakım-onarıma tabi tutulacakları tespit edilmiştir ve ortalama yaşam süreleri belirlenmiştir.

Bu proje çalışması ülkemizde ve dünyada yoğun olarak kullanılan çekme-kepçeli yerkazarların servis dışı kaldığı süreyi en aza indirebilmek için makinanın geçmişte gösterdiği performans verisinden yola çıkarak gelecekte olası hasar ve arızaları öngörebilecek ve makinanın yoğunlukla servis dışı kalan bileşenini belirleyebilecek dolayısıyla da işletme ve bakım-onarım maliyetlerini en aza indirecektir ve üretkenliğini azami düzeye çıkarmaya yardımcı olacak bir model geliştirmiştir. Maden makinalarının bakım-onarım maliyetlerini en aza indirmek için riske dayalı modeller kullanılmıştır ancak çekme-kepçenin bütün bileşenlerini içine alan bir sistem güvenilirlik modeli henüz geliştirilmemiştir. Bu nedenle bu proje özgün bir çalışma olup literatürde varolan bilgiye katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çekme-Kepçeli Yerkazarlar, Sistem Güvenilirliği, Hata Ağacı Analizi, Bakım-Onarım Politikaları, Verimlilik Optimizasyonu

ABSTRACT

Walking draglines are massive excavations units extensively used in strip mining operations for overburden removal. Economic and sustainable mining operations require maximized dragline productivity while minimized downtime of draglines. Thus, availability estimation and preventive maintenance planning are critical for sustainable surface mining operations.

There exist nine walking draglines in Turkey, eight of which are owned and operated by Turkish Coal Enterprises and one is operated by private sector. Maximizing the productivities, efficiencies, and performances of walking draglines, whose capital investment is 100 million USD, is significant for the sustainable and profitable mining operations. Hence, maximizing the productivities and efficiencies of walking draglines by ensuring their continuous operations, which requires effective preventive and corrective maintenance and projecting potential failure, is an emerging issue in global and national mining industry.

The objective of this project was maximizing the operating hours and ensuring the effective utilization of walking draglines, and hence, maximizing the productivities of walking draglines using a system reliability. The research methodology essentially entailed seven successive stages: (i) acquisition of data related to failure, repair time, repair frequency, the type of failure, *etc.*, (ii) preprocessing of the obtained data, (iii) developing system reliability model for the walking dragline, (iv) computation of reliability of each component, (v) computation of reliability of the whole system, (vi) verification and validation of the model, (vii) developing maintenance policies based on the obtained results.

Project has been successfully completed within the proposed time period. Obtained results and research findings showed that Marion 7820 model when compared to Page 736 has a higher reliability and reliability curve decelerates slower by time. The reliabilities of Marion 7820 and Page 736 for 100 hours service time were estimated to be approximately 4% and 9% respectively. Moreover, optimum maintenance time periods for Marion 7820 and Page 736 for keeping minimum 50%, 70%, and 90% reliabilities were determined to be 23.5, 13.7, ve 2.4; and 24.2, 13.1, and 2.4 respectively. In addition to this, the most critical parts of both machines, when they need to be maintained, and their average service life were identified.

This project is expected to minimize the downtime of draglines based on the time series failure and repair data and to project the potential future failures, and hence, to minimize the maintenance cost and to maximize the productivities. There are risk-based research studies

conducted to minimize the maintenance cost of mining machinery, however, the system reliability for the walking dragline has not been developed yet. In this sense, the project advanced the current knowledge and research frontiers in this area.

Keywords: Walking Draglines, System Reliability, Fault Tree Analysis, Maintenance Policies, Productivity Optimization

1. GİRİŞ

Proje çalışmaları 24 ay süre içerisinde toplam 4 dönemde tamamlanmıştır. Projenin birinci dönemi içerisinde proje konusu ile ilgili geniş literatür taraması, çekme-kepçeli yerkazarlara ait bakım-onarım ve arıza verilerinin elde edilmesi, bu verilerin ön işleme, makinanın alt ünitelerine ayrılması, ve arıza dağılım modellerinin bulunması tamamlanmıştır. Projenin ikinci döneminde, makinaların alt sistemlerine ve bütününe yönelik sistem güvenilirlik analizleri tamamlanmıştır. Projenin üçüncü döneminde, makinaların alt sistem bileşenlerine ait yaşam süresi dağılımları ve alt sistemlere ve sistemin bütününe yönelik hata ağacı analizleri tamamlanmıştır. Projenin dördüncü ve nihai döneminde, çekme kepçeli yerkazaların ünitelerinin onarım süreleri dağılımları, ve bu ünitelere ve sistemin geneline yönelik önleyici bakım-onarım politikaları geliştirilmesi üzerine analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu raporun giriş bölümünü takiben, ikinci bölümde proje konusu ile ilgili yapılan geniş literatür taramasının özeti, üçüncü bölümünde proje çalışmaları için izlenen gereç ve yöntem, dördüncü bölümünde bulgular ve tartışma, beşinci bölümünde ise sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Yürüyen Çekme-Kepçeli Yerkazaların Genel İncelemesi

Yürüyen çekme kepçeli yerkazar, John W. Page tarafından Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de icat edilmiştir. Şuan kullanımda olan yerkazalar beş farklı üretici tarafından sağlanmıştır ancak şuanda iki üretici bulunmaktadır: Bucyrus International ve Harnischfeger's P&H Madencilik Ekipmanları. Bucyrus ilk olarak, bir İngiliz firma olan, Ransomes & Rapier'i sonra da 1997'de Marion Power Shovel Co. firmasını bünyesine almıştır. P&H ise 1988'de Page Mühendisliği bünyesine katarak günümüzde üretime devam etmektedir (Gilewicz, 2000).

Yürüyen çekme kepçeli yerkazalar, açık ocak kömür madenciliğinde örtü-kazı işleminde başlıca kullanılan yerkazalardır. Açık ocak kömür madenciliğinde maliyeti en çok etkileyen faktör örtü-kazı oranı ve dolayısıyla örtü-kazı maliyetidir. Yürüyen çekme kepçeli yerkazalar, 25 m kalınlığındaki örtü katmanını yeniden kazı yapmadan kaldırabilmesi ve nakliye araçlarına gerek duymamasından dolayı düşük birim maliyetine sahiptir. Dragline yöntemi

30-35 m'ye kadar olan örtü kalınlıklarında en ekonomik yöntemdir. Artan derinliklerde dragline yöntemi tek başına kullanılamayacağından, onun Döner Kepçeli Ekskavatör veya Ekskavatör+Mobil Kırıcı+Bantlı Konveyör yöntemi ile oluşturduğu kombinasyonlar ekonomik olmaktadır (Köse ve Yalçın, 1985).

Birçok ülkede, yürüyen çekme kepçeli yerkazalar, açık işletme kömür madenciliğinde genel olarak kullanılan yerkazalardır. Sadece ABD'de bulunan, en az 40 yd³ kapasiteli 101 adet çekme kepçeli yerkazar, tüm dünyadaki açık ocak örtü-kazı işlemlerinin %40'ını gerçekleştirmiştir. ABD'den sonra, bu yerkazaların en çok kullanıldığı ülkeler Avustralya (61 adet), Güney Afrika (25 adet), Kanada (22 adet) ve Hindistan (17 adet) olarak sıralanır (Gilewicz, 2000). Türkiye'de devlet eliyle işletilen madenlerde sekiz adet ve özel sektör bünyesinde çalıştırılan ocaklarda da bir adet olmak üzere toplamda dokuz adet çekme kepçeli yerkazar kullanılmaktadır.

1970'lerde 90-100 m³ kapasiteli yerkazalar yaygın olarak kullanılıyordu fakat günümüzde çok daha yüksek kapasiteli yerkazalar olmasına rağmen en yaygın kullanılan yerkazalar 75-85 m³ kapasitelidir. Çok yüksek kapasiteli yerkazaların planlı veya plansız bakımları yapılırken kullanım dışı kaldıkları süre çok fazla olup, ortalama kapasiteli yerkazalarla karşılaştırıldığında orantısız olduğu farkedilmiştir. Başka bir deyişle çok yüksek kapasiteli yerkazaların bakım onarımı ile başa çıkmak zor olduğu için genel güvenilirlik ve üretim değerleri beklentilerin altında kalmıştır (Sullivan, 2004). Yatırım maliyeti 100 milyon ABD doları bulan çekme-kepçelerin performansının yani üretkenliğinin ve verimliliğinin azami düzeyde olması maden işletmeciliğinin başarısı ve karlılığı açısından çok büyük önem taşımaktadır. Makinanın üretkenliğinin ve verimliliğinin artırılması, ancak uygun bir bakım-onarım planı ile gerçekleştirilebilir. Bu da makinanın servis ömrü boyunca geçirdiği bakım-onarım faaliyetlerinin incelenmesi ve sistemin güvenilirlik analizinin yapılması ile mümkün olmaktadır.

2.2 Güvenilirlik Analizi

Güvenilirlik; bir ürünün veya sistemin, belirli fonksiyonel ve çevresel koşullara sahip bir zaman aralığında arızalanmama veya başarısız olmadan veya arızalanmadan çalışma olasılığıdır (Bertsche, 2008). Güvenilirlik analizi ise bir sistemin, bir sisteme bağlı alt sistemin veya bir sistemin kritik parçalarının güvenilirliğinin ölçülmesi, hesaplanması veya değerlendirilmesi işlemidir (Uzgören ve Elekli, 2010).

Güvenilirlik mühendisliğinin amacı sistemin çalışması ve arızası arasındaki ilişkiyi sorgulamaktır. Bunu yaparken sorulan sorular:

- Sistemler neden başarısız olur? (güvenilirliği kullanarak, arızanın sebep ve mekanizmasını bulmak ve sonuçlarını tespit etmek)
- Güvenilir sistemler nasıl elde edilir? (güvenilirlik bazlı tasarım)
- Tasarımın güvenilirliği nasıl ölçülür ve test edilir?
- Sistemlerin güvenilir kalması nasıl sağlanır? (bakım, hata tanısı ve tahmini)

Bu sorulardan yola çıkarak güvenilirlik mühendisliğinin çözmesi gereken problemler: sistemin tasarımı ve modellenmesi, sistem modelinin sayısallaştırılması ve sistem davranışındaki belirsizliğin tanımı, yayılımı ve sayısallaştırılmasıdır (Zio, 2009).

Bir sistemin güvenilirliği, o sistemin belirli bir süre içindeki arıza sayıları, arıza süreleri ve arızalar arasındaki sürelerinin analizine dayanır. Güvenilirlik analizinde esas amaç ise bu verileri tanımlayacak en uygun istatistiksel modelin belirlenmesidir. Tamir edilebilir sistemlerde, güvenilirlik genel olarak 5 başlıca stokastik süreç modeli kullanılarak modellenir. Bu modeller: yenilenme süreci, homojen poisson süreci, dallanan poisson süreci, üst-üste konumlandırılmış yenilenme süreci ve homojen olmayan poisson süreci. Bu süreçleri seçerken ilk olarak trend testleri yapılır. Trend testleri başlıca 2 gruba ayrılır: grafiksel metot ve analitik metot. Grafiksel metotların başlıcaları: kümülatif arıza-zaman grafiği, başarılı servis sürelerinin serpe dağılımı, Nelson-Aalen grafiği ve sınaama dönüşümünde toplam süre grafiğidir. Analitik trend testleri ise: Mann testi, Laplace testi, Lewis-Robinson testi ve Military Handbook testi'dir (Loui vd., 2009).

Maden makinelerinin güvenilirlik analizlerinde genel olarak, belli bir zaman aralığında toplanmış arıza verileri analiz edilerek, yenilenme süreci ve homojen olmayan poisson süreci modelleri uygulanır (Uzgören vd., 2010). Eğer sistem her arızadan sonra tamir edilerek eski haline getirilebiliyorsa, sistemin arıza süreci yenilenme süreci olarak adlandırılır. Yenileme süreci durağan bir süreçtir. Durağan olmayan ve arıza sayılarında yaşa bağlı bir trend bulunabilen sistemler ise homojen olmayan poisson süreci olarak adlandırılır (Uzgören vd., 2010).

Durağan olmayan modellerde genel olarak Weibull dağılımı yoğunluk fonksiyonu olarak belirlenir. Weibull dağılımları 7 gruba ayrılabilir (I-VII). İki parametrelili Weibull dağılımı (Model I) arıza süreleri modellemelerinde sıklıkla kullanılır. Yoğunluk ve risk

fonksiyonlarında geniş şekil çeşitliliği sergiledikleri için, bu dağılımlar, kompleks arıza veri setlerinin analizleri için uygundur (Murthy vd., 2004).

2.3 Maden Mühendisliğinde Güvenilirlik Çalışmaları

Maden sektöründeki üretim makineleri sürekli bir gelişim içerisinde ve bu gelişimin göze çarpan eğilimi; sürekli daha yüksek kapasiteli makinelerin üretilmesidir. Ekipman ve teknolojideki bu gelişim, yöneticileri, hangi ekipmanın seçileceği ve nasıl bir bakım stratejisi uygulanacağı gibi birçok kararla baş başa bırakmaktadır. Bu kararları vermek için daha iyi metotlar geliştirilmesi gerekmektedir (Hall vd., 2000). Maden ekipmanlarının gün geçtikçe daha da gelişmesi, doğal olarak fiyatlarının da artmasına sebep olmaktadır. Fiyatların yükselmesi de yedek ekipman bulundurmaya ekonomik açıdan geçersiz kılmaktadır ve bu yüzden madencilik şirketleri daha güvenilir ekipmanlar talep etmektedir (Dhillon, 2008). Literatürdeki maden ekipmanları alanındaki bazı güvenilirlik çalışmaları Tablo 1'de listelenmiştir.

Kumar ve Barabady'nin 2007'de yaptığı çalışma, bu konuda yapılan birçok çalışmaya örnek olmuştur. Çalışmanın amacı İran'daki Jajarm boksit madenindeki kırıcı devresinin, düzenli bakım yapılarak güvenilirliğinin artırılmasıdır. Çalışmada kullanılan yöntem, güvenilirlik analizlerinde genel olarak kullanılan metodolojidir. İlk olarak her alt-birim için bozulma anına kadar geçen süreler ve tamir süre verileri toplanır ve bu alt-birimlerin her birinin güvenilirlikleri istatistiksel olarak hesaplanır. Bu hesaplamalardan yola çıkarak sistemin genel güvenilirliğine ve kullanılabilirliğine en çok etkisi olan alt-birimler tespit edilir ve sistemin güvenilirliğini belirli seviyede tutmak için gereken bakım aralıkları her alt birim için hesaplanır. Sonuç olarak sistemin güvenilirliği ve kullanılabilirliği için kritik olan birimlerin daha sık ve dikkatli bakım onarımlarının yapılması, sistemin genel olarak daha verimli çalışmasını sağlayacağı tespit edilmiştir (Kumar ve Barabady, 2007).

Tablo 1. Maden iş makinaları alanında yapılan bazı çalışmalar (Uzgören vd., 2010)

| Yıl | Yazar(lar) | Uygulama Alanı |
|------|-----------------------------------|------------------------|
| 1989 | Kumar, U. | LHD |
| 1992 | Kumar, U. ve Klefsjö, B. | LHD |
| 1993 | Kumar, D. ve Vagenas, N. | LHD |
| 1994 | Paraszczak, J. ve Perreault, J.F. | LHD |
| 1995 | Majumadar S.K. | Hidrolik Ekskavatör |
| 1997 | Vagenas vd. | LHD |
| 2001 | Pulcini G. | Devirme Kasalı Kamyon, |

| | | |
|------|--------------------------------|--------------------------|
| | | LHD |
| 2001 | Rao K. R. M ve Prasad P. V. N | LHD |
| 2001 | Samanta, B. vd. | Hidrolik Kepçe |
| 2003 | Hall, R.A. Ve Daneshmend, L.K. | Hidrolik Kepçe |
| 2003 | Hall, R.A. Ve Daneshmend, L.K. | Kepçe ve Kamyon |
| 2004 | Lhorente vd. | Elektrikli Maden Kamyonu |
| 2005 | Barabady J. ve Kumar U. | Kırıcı |
| 2007 | Barabady J. ve Kumar U. | Kırıcı |
| 2008 | Elevli S. vd. | Elektrikli Kepçe |
| 2008 | Barabady J. ve Kumar U. | Kırıcı |
| 2009 | Gupta S. vd. | Kıvrılır Zırhlı Konveyör |
| 2009 | Louit D.M. vd. | Backhoe |
| 2009 | Vagenas, N. ve Wu X. | LHD |

Roy vd. (2001)'nin yaptığı başka bir çalışmada ise dört adet kepçenin arıza paternlerinin incelenerek, farklı güvenilirlikler için bakım aralıkları hesaplanmıştır. Kullanılan yöntem arızalar arası sürelerin ve tamir sürelerinin incelenerek makinelerin güvenilirlik ve süreklilik karakteristiklerinin belirlenmesi ve bu karakteristiklerin teorik olasılık dağılımlarının tayin edilmesini kapsamaktadır. Alt-sistemlerin ve sistemin genelinin en uygun güvenilirlik dağılımları belirlendikten sonra kritik alt-sistemler belirlenir ve buna göre uygun bakım politikaları seçilir. Sonuç olarak güvenilirliğin düşük olmasındaki en etkili elemanların elektrik ve kepçe sistemleri olduğu görülmüştür. Örnek verecek olursak, elektrik ve kepçe sistemlerinin %75 güvenilirlikte olmasını sağlamak için bu sistemlerin sayısı ile 28.7 ve 18.9 saatte bir bakımlarının yapılması gerektiği hesaplanmıştır (Roy vd., 2001).

Samanta vd. (2004) bir LHD (Load Haul Dump) makinesinin güvenilirliğini modelleyerek performans analizini yapmıştır. Çalışmanın amacı LHD makinesinin güvenilirlik, kullanılabilirlik ve süreklilik verilerinin Markov modeline göre incelenmesi ve modellenmesidir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada ilk olarak makinenin alt-sistemlerinin güvenilirlik blok diagramı çıkarılmıştır. Daha sonra arıza verileri analiz edilerek Markov modeline uyup uymadığı belirlenmiştir ve alt-sistemlerin genel güvenilirliğe ve sürekliliğe etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonunda LHD'nin güvenilirliğini etkileyen kritik birimler transmisyon ve hidrolik birimleri olarak belirlenmiştir (Samanta vd., 2004).

Bu çalışmalara ek olarak Uzun ve Özdoğan (2011)'in yaptığı çalışmada ekonomik etkenler de hesaba katılmıştır. Çalışmanın amacı bir üretim hattının güvenilirlik verilerinin incelenmesi ve bakım maliyetlerine dayanarak bakım modelinin seçilmesidir. İlk olarak önceki çalışmalardaki gibi arıza verileri incelenerek en uygun olasılık dağılımı seçilmiştir ve farklı zaman aralıklarındaki güvenilirlikleri hesaplanmıştır. Bu işlemten sonra üretim

hattındaki her bir makinenin donanım bakımlarının maliyetleri ve süreleri belirlenmiştir. Son olarak da bu bakım süre ve maliyetleri göz önünde bulundurularak optimum bakım yapılma aralıkları belirlenmiştir. Yapılan çalışma uygulanacak bakım faaliyetlerinin güvenilirlik modelleri ile birlikte ele alınması gerektiğini göstermiştir (Uzun ve Özdoğan, 2011).

Ekonomik faktörleri de ele alan başka bir çalışma da Lhorente (2004)'in yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada bir elektrikli maden kamyonunun motor armatürüne en uygun yaş-bazlı bakım stratejisi belirlenmesi amaçlanmıştır. Armatürlerin dört yıllık arıza ve bakım verileri incelenerek arıza dağılımı belirlenmiş ve önleyici ve onarıcı bakımların, armatürlerin arıza dağılımlarına etkisi belirlenmiştir. Daha sonra farklı önleyici bakım aralıklarına göre birim zamana düşen giderler incelenmiştir ve en uygun önleyici bakım aralığı belirlenmiştir. En uygun önleyici bakım aralığı 14,500 saat olarak belirlenmiş ve bu bakım aralığının önceden uygulanan durumla karşılaştırıldığında, yıllık getiriye 163,900 \$US ve birimin kullanılabilirliğinin % 2.33 arttığı hesaplanmıştır (Lhorente vd., 2004).

Bu projenin de konusu olan yürüyen çekme kepçeli yerkazarların güvenilirlik analizini konu alan çalışmalar diğer maden makinalarının güvenilirlik çalışmaları kadar literatürde bulunmamaktadır. Uzgören ve Elevli (2010) çekme kepçeli bir yerkazarın arıza verilerinin analizi yapılarak bu arızaların bir trend izleyip izlemediğinin tespit etmeyi amaçlamışlardır. Arıza verilerinde arızalar arası sürelerinin benzer dağılım varsayımını sağlayıp sağlamadığına trend analizleri yapılarak bakılmıştır ve buradan çıkan sonuçlara göre uygun bir dağılım modeli seçilerek güvenilirlik hesaplamaları yapılmıştır. Arıza verilerinin trend içerdiği ve bu yüzden yenileme süreci modellerinin uygun olmadığı tespit edilmiştir. Trend ilişkisi dikkate alınarak kuvvet yasası modelinin uygun olduğuna karar verilmiştir ve bu modele göre arızalar arası sürenin zamanla azaldığı ve dolayısı ile yerkazarın güvenilirliğinin azaldığı görülmüştür. Güvenilirliği arttırmak amacıyla önleyici bakım planlaması yapılmasının yardımcı olacağına karar verilmiştir.

Uzgören (2010) yaptığı başka bir çalışma ise iki farklı çekme kepçeli yerkazarın farklı zaman aralıklarındaki güvenilirliklerinin bulunması ve gerekli bakım onarım sıklıklarının hesaplanması ve birbiri ile karşılaştırılmasını konu almıştır. Güvenilirlik analizinde kullanılan yöntem benzer şekilde iki yerkazarın da arıza verileri incelenerek en uygun olasılık dağılımı seçilmesi ve farklı zaman aralıklarındaki güvenilirlikleri hesaplanmasıdır. Sonuç olarak bu hesaplamalara göre önleyici bakım-onarım aralıkları tespit edilmiştir. İki yerkazarın karşılaştırılması sonucunda aynı tür makinelerin, çalışma şartlarındaki farklılıklar yüzünden, aynı güvenilirlik karakteristiklerine sahip olmayabileceği belirlenmiştir. Bu nedenle her

makine için ayrı güvenilirlik analizi yapılması ve buna göre bakım-onarım planlaması yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu proje çalışmasında ise bunlara ek olarak yerkazarın farklı bileşenlerinin (çekiş ünitesi, kaldırış ünitesi, kepçe, terazi, bum, yürüyüş ünitesi, makina dairesi) güvenilirlik analizlerini ve bunlara bağlı olarak sistem güvenilirliğinin hesaplanmasını kapsamaktadır. Bu anlamda yürütülen proje çalışması literatürde önemli bir eksikliği gidermeye de hizmet etmektedir.

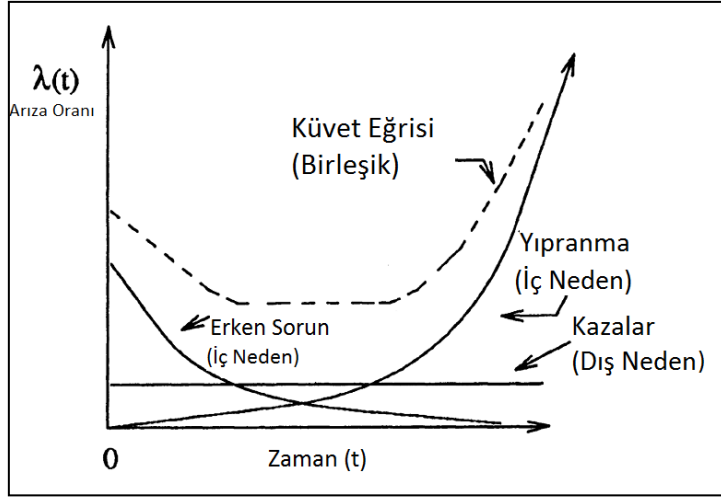
Projenin ikinci altı aylık döneminde yapılan bu literatür çalışmasında, proje kapsamında yapılacak analizlere temel oluşturacak şekilde detaylı bir çalışma sunulmaktadır. Bu kısımda, literatür taraması dört ana başlık altında toplanmıştır. Birinci bölüm sistem verimliliğini etkileyen faktörler ve sistem çeşitlerini, ikinci bölüm onarılabilir sistemler için uygulanan güvenilirlik süreçlerini, üçüncü bölüm hata ağacı analizine yönelik temel kavramlar ve tanımları, dördüncü bölüm ise hata ağacı analizine yönelik geçmişte yapılmış örnek uygulamaları konu almıştır. Projenin başvuru raporunda öngörüldüğü gibi, konu ile ilgili yayınlanacak olan güncel bilimsel yayınlar hariç, literatür taraması tamamlanmıştır.

2.4 Sistem Verimliliğini Etkileyen Faktörler ve Sistem Çeşitleri

Sistem, belirli bir işi belirtilmiş bir süre içerisinde yerine getirmeyi amaçlayan fonksiyonel bir mekanizmadır. Sistemin verimliliği pek çok iç ve dış faktörden etkilenebilir. Bu faktörler, etki şekillerine göre sistemin üretim aşamasında değişik miktarlarda duraksamalara neden olurlar. Bu duraksamaların nedenlerinin ve türlerinin belirlenmesi, bunların sistem içerisindeki etkinliklerinin saptanması ve gerekli bakım önlemlerinin alınmasıyla sistemin aktif çalışabilirlik süresi arttırılabilir. Godfrey (2002), sistem bütünüünün verimliliğini etkileyen ölçütler ve sistemin üretim süreci esnasında karşılaşılabileceği zaman kayıpları üzerinde çalışma yapmıştır. Eğer bir sistem belirlenmiş bir zaman diliminde duraksama ve ya yavaşlama olmadan üretimine devam edebiliyorsa, sistemin verimliliğinin %100 olduğu söylenebilir. Ancak, bu normal koşullarda gerçekçi bir yaklaşım değildir. Üretim aşaması, çalışma esnasında birçok sebepten ötürü kesintiye uğrar. Bu zaman kayıpları, kalitede ve hızda kayıplar ve arızaya bağlı olarak oluşan zaman kayıpları olarak sınıflandırılabilir. Sistem, parçalarının kalite gereksinimlerinin eksik olmasından veya kalitenin yeterli düzeyde olması durumunda bile verimli sayılacak bir hızda üretim yapamamasından kaynaklı olarak zaman kaybı yaşar. Hem kalitenin hem de üretim hızından bağımsız olarak, parçaların arızalarından kaynaklı duraksamalar da sistem verimini düşürmektedir. Bu sınıflandırılmış duraksamaların sebepleri içerisinde, parça değişimi, montajı ve bakımının sistemi işlevsizleştirilmesi ve

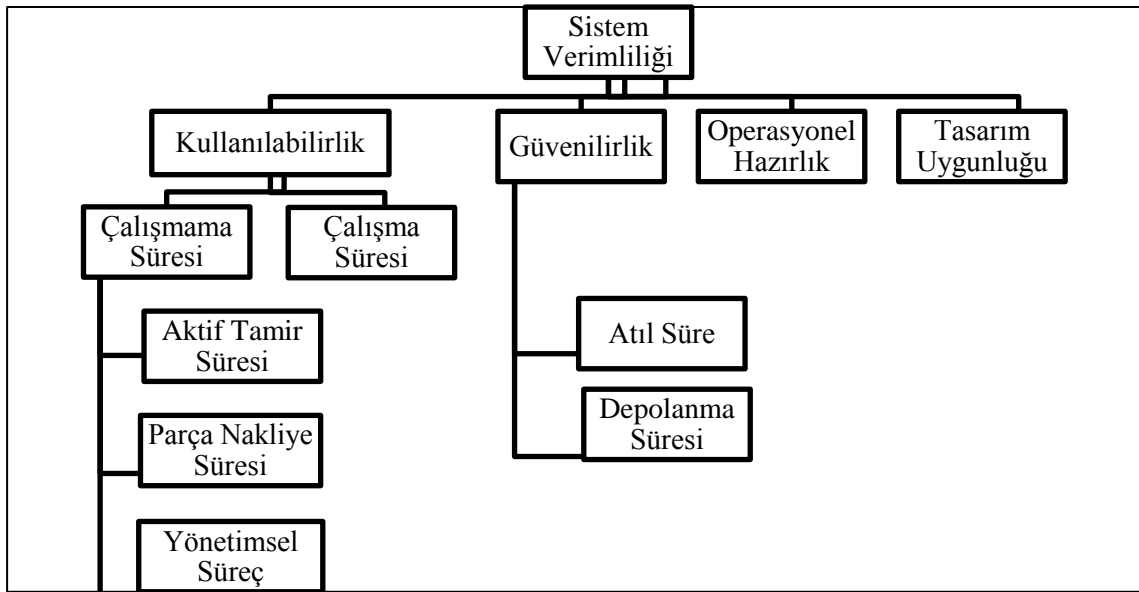
arızanın giderilmesine yönelik uygulanan yöntemin duraksama süresini arttırabilir yönde olması sayılabilir. Bahsi geçen iç sebeplerin yanı sıra, personel ve malzeme yetersizliği ve çevresel etkenler gibi plansız kayıplar, sistem revizyonu, makine üretkenliğine sınırlar konulması ve çevresel sebeplerden kaynaklı planlı kayıplar dış sebepler olarak gösterilebilir. İç sebeplere bakıldığı zaman özellikle plansız gerçekleşen, genellikle sisteme ait bir parçanın bozulması ve sistemin işlevini kaybetmesine neden olan arızalar, sistemin kullanılabilir süresi içerisinde fazlasıyla yer tutmaktadır. Bir sistemin arızaların oranlarının zamana bağlı değişimleri, küvet eğrisi (*bathtub curve*) adı verilen grafiğe benzer bir dağılım izlemektedir. Şekil 1'de belirtilen küvet eğrisi üç farklı arıza çeşidinin birleşiminden oluşmaktadır. Bunlardan biri olan erken sorun ve ya erken ölüm, sistemin tasarım ve üretim hatalarından ötürü, çalışmaya başladıktan kısa bir süre içinde arızalanmasını göstermektedir. Küvet eğrisinin sabit eğimli kısmını oluşturan kaza faktörü ise, genellikle sistemin yararlı (ya da normal) yaşam süresi içerisinde karşılaşılabileceği ve genellikle rutin olarak olan arızaları göstermektedir. Arıza oranının yükselmesine neden olan üçüncü faktörse sistemin yıpranma miktarıdır. Bu kısımda, sistem yararlı kullanım süresini doldurmaya başlamış ve yaşına bağlı olarak sıklığı artan bir şekilde arızalar vermektedir.

Bir sistemin verimliliğini, süre ölçüt olarak alındığında Şekil 2'de gösterildiği gibi kullanılabilirlik, güvenilirlik, operasyonel hazırlık süreci ve tasarım yeterliliği gibi faktörlerle açıklanabilir. Tüm çalışma koşullarının uygunluk gösterdiği yani sistem kullanılabilirliğinin en üst durumda olduğu sürelerde dahi, sistemin alt elemanlarının zamana bağlı güvenilirlikleri sistemin çalışma sürecini aktif şekilde etkilemektedir. Sistem ve alt elemanlarının güvenlik hesaplarında, öncelikli durum sistemin arızaya bağlı davranışını ölçmektir. Bununla ilgili olarak, sistemler onarılabilir veya onarılamaz olarak ikiye ayrılmaktadır. Onarılabilir sistemler, çeşitli bakım ve onarım işlemlerinden sonra eski işlevliğine veya yakın bir performansa geri dönebilen sistemlerdir. Onarılamaz sistemlerde ise bir arıza durumunda işlevini kaybetmektedir. Eğer bir ampulün sistem olduğu varsayılırsa, bu onarılamaz bir sistemdir.



Şekil 1. Sistemin zamana bağlı arıza oranı değişimi (Hartzell, 2002)

Onarılabilir sistemler içlerinde onarılamaz parçalar bulundurabilirler. Bu sistemlerdeki mekaniksel veya elektriksel sorunlar, ya parçaların tekrardan eski ayarlarına getirilmesi ya da değiştirilmesi yoluyla düzeltilebilir. Çekme kepçeli yerkazarlarda meydana gelen arızalar, parça değişimi veya onarımı yoluyla düzeltilebilen arızalardır. Yani çekme kepçeli yerkazar, diğer tüm maden makinaları gibi onarılabilir bir sisteme sahiptir. Onarılabilir ve onarılamaz sistemlere yönelik güvenilirlik analizleri farklılıklar göstermektedir. Onarılamaz sistemlerde yaşanacak bir arıza sistemin değiştirilmesi yoluyla çözüleceği için tamirat durumu hesaba katılmamaktadır. Onarılabilir sistemlerde ise hem tamiratlar arası süre, hem tamirat miktarı, hem de tamirat sıklığının sistemin çalışma yaşında ve güvenilirlik hesaplarında farklılıklar oluşturmaktadır.



Şekil 2. Sistem verimliliği parametreleri blok diyagramı (Zacks, 1992)

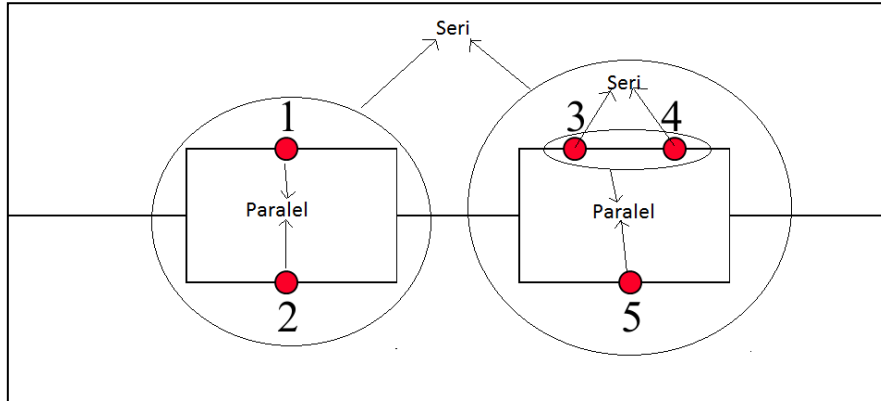
Sistemin çeşidini belirledikten sonra bir önemli kıstas da sisteme ait alt sistemlerin belirlenmesi ve bunların birbirlerinin güvenilirlik değerlerine olan etkilerinin ölçülmesidir. Genel itibariyle bir sistemin güvenilirliği, kendisini oluşturan alt sistemlerin güvenilirlikleriyle bulunabilir. Bu bakımdan alt sistemler üç çeşit etkileşim içindedirler: seri, paralel, ve bunların birleşimi. Seri bağlı sistemler, birbirlerini seri şekilde bağlı ve birbirlerinin güvenilirliklerini doğrudan etkileyen sistemlerdir. Bu sistemlerin birisinde yaşanacak arıza, bütün sistemi işlevsizleştirecektir. Seri bağlı alt sistemlerden oluşmuş bir sistemin güvenilirliği bağıntı 1 ile hesaplanır.

$$R(t) = \prod_{i=1}^n Ri_i(t) \quad (1)$$

Paralel sistemlerde ise, sistemler birbirlerinin alternatifi niteliğinde olduğu için güvenilirlik hesabı doğrudan çarpım yoluyla bulunmaz. Paralel bağlı alt sistemlere bağlı bir sistemin güvenilirliği, tüm alt sistemlerin başarısız olma ihtimalinin 1'den çıkarılmasıyla bulunabilir (Bağıntı 2).

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - Ri_i(t)] \quad (2)$$

Her iki sistem çeşidinin birleşimi durumundaki sistemlerin güvenilirliğine, öncelik sırasına göre seri ve paralel bağlantı çözümlenmeleri yapılarak ulaşılabilir. Şekil 3 bu tarz sistemlere bir örnektir.



Şekil 3. Seri ve paralel birleşik sistemlerin güvenilirliği

2.5 Onarılabilir Sistemlerin Güvenilirlik Analizleri

Onarılabilir sistemler güvenilirlik analizleri için en fazla kullanılan yöntemler, kusursuz yenileme süreci (perfect renewal process (RP)) ve homojen olmayan Poisson sürecidir

(*nonhomogeneous Poisson process (NHPP)*) (Mettas ve Zhao, 2005). Bu iki analiz çeşidi, makinanın arıza tamir ve bakımının makinanın çalışma yaşına olan katkısını irdelemektedir. Kusursuz yenileme sürecinde, makinanın onarımdan sonra “yeni gibi” (*good as new*) durumuna geldiği varsayılır. Homojen olmayan Poisson sürecinde ise makinaya asgari düzeyde bakım yapıldığını ve bu durumda makinanın sadece “eskisi gibi kötü” (*bad as old*) haline geri döndüğünü düşünülür. Fakat gerçekte, onarım aktivitelerinin çoğu bu uç durumlarda değil, genellikle bunların arasında bir verimlilikte sonuçlanmaktadır. Bu onarım verimliliği eskisinden iyi, yenisinden kötü (*better than old but worse than new*) olarak nitelendirilebilir (Guo vd., 2011). Bu gibi daha gerçekçi bir yaklaşım, Kijima'nın genel yenileme süreci (*general renewal process - GRP*) olarak adlandırılan iki farklı istatistik modeliyle desteklenmektedir (Kaminskiy, 2004).

Kijima'nın GRP analizi, güvenilirlik hesaplamalarına sanal yaş (virtual age) kavramını getirmiştir. Sanal yaş, makinanın operasyonda kaldığı zamana ve bu süre içerisinde oluşan onarımların sayılarına göre oluşturulan bir fonksiyondur. Belirlenmiş zaman aralığındaki arızaların yoğunluğu, operasyon süresinden daha çok sanal yaş fonksiyonuyla sağlanmaktadır.

Kijima iki farklı sanal yaş modeli geliştirmiştir. Birinci geliştirdiği model (GRP Type-1), n'inci arızasını geçirmekte olan bir sisteme yapılan onarım sadece n-1 ve n numaralı arızalar arasındaki zararı giderebileceğini varsaymaktadır. Bu iki tamir zamanı arasındaki sürenin sistem lehine azaltılması yani sanal yaşının düşürülmesini sağlayan “q” onarım etkinliği faktörü (*repair effectiveness factor*) ve sanal yaş hesabı bağıntı 3 ve 4 (Kaminskiy, 2004) ile hesaplanır. Bağıntı 3 ve 4’de q değeri 0-1 arasında bir değer almaktadır. Eğer q değeri 1’e eşit olursa, sistem “eskisi gibi kötü” durumuna indirgenmiş olur ve analiz homojen olmayan Poisson sürecine yönelir.

$$v_n = v_{n-1} + qx_n \quad (3)$$

$$v_n = q(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = qt_n \quad (4)$$

Kijima'nın ikinci GRP modelinde (GRP Type-2) ise sistemde gerçekleştirilen n sayılı onarım aktivitesinin, şu anki ve önceki arızaların toplam zararını giderdiği varsayılmıştır. n sayılı onarım süresine kadarki sistemin toplam sanal yaşı $v_{n-1}+x_n$ olarak düşünüldüğünde, etki faktörü olan q kullanılarak, sistemin sanal yaş bağıntı 5 ve 6 ile hesaplanmaktadır.

$$v_n = q(v_{n-1} + x_n) \quad (5)$$

$$v_n = q(q^{n-1}x_1 + q^{n-2}x_2 + \dots + x_n) \quad (6)$$

Bu tarz modellerde arızaların yinleme sıklığını (*rate of occurrence of failure (ROCOF)*) değeri bağıntı 7'de verilen güç yasasıyla bulunabilir.

$$\lambda(t) = \lambda\beta t^{\beta-1} \quad (7)$$

ROCOF değeri ve sanal yaş hesaba katılarak bulunan anlık arıza yoğunlukları (λ_i) ve birikimsel arıza yoğunluğu değerleri (λ_c) bağıntı 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

$$\hat{\lambda}_c(t) = \frac{\hat{N}(t)}{t} \quad (8)$$

$$\hat{m}_c(t) = \frac{t}{\hat{N}(t)} \quad (9)$$

$$\lambda_i(t) = \lambda\beta v_i^{\beta-1} \quad (10)$$

Arızaların olma sıklığı kullanılarak oluşturulan ve belirlenmiş zaman aralıkları arasındaki arıza davranışını gösteren olasılık dağılım fonksiyonu bağıntı 11'de verilmiştir.

$$f(t_i | t_{i-1}) = \lambda\beta(x_i + v_{i-1})^{\beta-1} e^{-\lambda[(x_i + v_{i-1})^\beta - v_{i-1}^\beta]} \quad (11)$$

2.6 Hata Ağacı Analizi ile İlgili Temel Kavramlar ve Açıklamalar

Hata ağacı analizi, bir sistemde istenmeyen tek bir olaya (tepe olay) sebep olabilecek bütün olayların belirlenmesinde kullanılan analitik bir tekniktir. İstenilmeyen olaya giden arıza yollarını belirleyerek, o olayın olma olasılığını belirlemekte kullanılan, yukarıdan aşağıya doğru arıza odaklı sembolik bir mantık modelidir (Ericson II, 1997). Hata ağacı analizi, sistem tasarımındaki potansiyel hataların tanımlanmasını sağlayarak yüksek maliyetli proje değişikliklerini engellemeye yardımcı olur (Birnbaum, 1975).

Hata ağacı analizi ilk olarak 1961'de Bell Laboratuvarlarında, H. Watson tarafından Minuteman füzesi fırlatma kontrol sisteminde uygulanmıştır (Ericson II, 1999). Daha sonra Boeing firması Dave Haas'ın önderliğinde bu yöntemi Minuteman silah sistemlerinin tamamının sayısal güvenlik analizinde kullanmıştır. Boeing firması tekniği geliştirerek ilk hata ağacı bilgisayar kodlarını geliştirmiştir ve birçok ürüne uygulamıştır. 1966'da Boeing'de Bob Schroeder'in geliştirdiği BACSIM adlı benzetim çok aşamalı hata ağaçlarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu benzetimlik 12 aşamaya kadar hata ağaçlarını oluşturabilmektedir. Daha sonra nükleer enerji sektörü hata ağacı analizini kullanmaya başlamış ve daha da geliştirmiş ve düzenlemiştir (Ericson II, 1999).

Hata ağacı analizi; hata ağacını oluşturulması, her olayın arıza olasılıklarının belirlenmesi, bu olasılıkları kullanarak tepe olayın olasılığının hesaplanmasını ve kesme setlerinin belirlenmesini kapsar. Kesme setleri; tepe olayın olmasını kesin kılan olaylar grubudur.

Hata ağacı analizi:

- Tepe olaya giden mantıksal yolu anlamak,
- Tepe olaya en yardımcı elementleri belirlemek,
- Tepe olayı engellemek için yapılabilecekleri öngörmek,
- Sistemin performansını denetlemek,
- Kaynakları optimize etmek,
- Sistemin tasarlanmasına yardımcı olmak, ve
- Tepe olayın sebebini belirlemek ve çözüm üretmek

için kullanılabilir.

Hata ağacı analizi sistem ömrü boyunca kullanılabilir. Hata ağacı analizinin, tasarım sürecinden uygulama ve geliştirme süreçlerine kadar birçok karar verme aşamasında çeşitli kullanımları vardır (Vesely vd., 2002). Hata ağacı analizindeki terminoloji, problemi tanımlamakta büyük önem taşır. Problemi eksiksiz olarak tanımlamak için bazı standart tanımlar ve mekanikler mevcuttur. Bu standart tanımlardan bazıları aşağıdaki gibidir (Ericson II, 1997):

- **Ağaç:** İstenmeyen tepe olayına sebep olan gerekli olayları ve mantık öğelerini içeren hata ağacı,
- **Tepe olay:** Araştırılan en üstteki istenmeyen olaydır. Hata ağacında sadece bir tane tepe olay olabilir.
- **Dal:** Ağacın, kapıları ve olayları içeren bir bölümü,

- **Modül:** Kendi üst olayı başka bir yerde oluşmayan bağımsız bir dal,
- **Olay:** Arıza, kapı ve durumları içeren her bir olay,
- **Kapı:** Girdi olaylarını belli bir fonksiyonla birleştiren bir mantık operatörü,
- **Çoğul Olay:** Ağaçta birden çok görülen bir girdi olayı,
- **Kesme Seti:** Tepe olayını sağlayan olaylar grubu,
- **Yol Seti:** Set içerisindeki hiçbir olayların olmaması durumunda tepe olay da oluşmaz,
- **Minimum Kesme Seti:** En az olay içeren kesme seti,
- **Kritik Yol:** Oluşma olasılığı en yüksek olan kesme seti (tepe olayı etkisi en yüksek olan yol).

Bazı terimler yetersiz tanımlandığı ve birbiri yerine kullanılabilirdiği ve hata ağacı geliştirilmesini zorlaştırdığı için aşağıdaki gibi daha açık tanımlar getirilmiştir (Ericson II, 1997):

- **Düğüm:** Tüm olay, kutu, kapı, girdi ve durumlara verilen genel isim,
- **Genel Olay:** Arıza oran ve olasılıklarının girildiği arıza bileşeni düğümleri,
- **Kapı Olay:** Düğümleri belli bir fonksiyonla birleştiren bir mantık operatörü. (ve, veya, engel, Öncelikli ve ve Hariç veya),
- **Şart Olayı:** Bir kapı olayına bağlı olan genel olay,
- **Ara Olay:** Genel olaya ulaşmak için kullanılan sebep-sonuç ilişkileri.

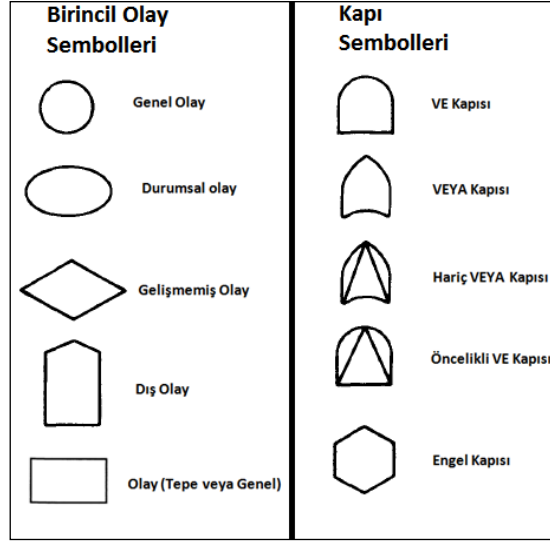
Hata ağaçları genelde kesme setlerine göre değerlendirilirler. Kesme setleri, yapının fonksiyonunu elde etmek için temel oluşturur. Bu şekilde istenmeyen olayın olma olasılığı ya da beklenen frekans açısından hata ağacının sayısal analizi yapılır (Hauptmanns, 2010).

Hata ağacında kullanılan bazı operatörler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Ericson II, 1997):

- **VEYA Kapısı:** Çıktı, girdilerin en az birinin gerçekleşmesi ile oluşur.
- **VE Kapısı:** Çıktı, girdilerin her birinin gerçekleşmesi ile oluşur.
- **ENGEL Kapısı:** Çıktı, girdi ve gerekli bir durumun oluşması ile oluşur.
- **Hariç VEYA Kapısı:** Çıktı, girdilerden sadece bir tanesi gerçekleşirse oluşur.
- **Öncelikli VE Kapısı:** Çıktı, girdilerin belirli bir sıra ile gerçekleşmesi sonucu oluşur.
- **Durumsal Olay:** Olayların sürekliliğine durumsal bir kısıtlama veya olasılık getirilme olayı.
- **Temel Olay:** Arıza durumunun bir parçası olan bir genel olay.
- **Gelişmemiş Olay:** Gerekirse daha geliştirilebilecek bir genel arıza olayı.

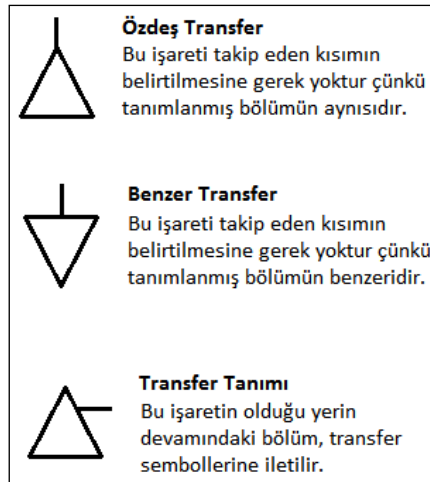
- *Dış Olay*: Arıza yolunda beklenen ve dahil edilmesi gerekli olan bir genel olay.

Bu operatörlere atanan semboller Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Hata ağacında kullanılan operatör sembolleri (Vesely vd., 1981)

Bu sembollerin dışında, hata ağacının görünümünü daha derli toplu hale getirmek için transfer sembolleri (üçgen) kullanılır. Bu transfer sembolleri Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Transfer sembolleri (Limnios, 2007)

Hata ağacı analizinin başlıca avantajlarını şu şekilde özetleyebiliriz (Clemens, 1993):

- Karmaşık sistemlerdeki bileşik arıza ve hataların olasılık hesaplamalarının yapılmasını sağlar.

- Tek noktadaki arızaların teşhis edilmesini ve buna yönelik önlem alınmasını sağlar.
- Sistemin hassasiyeti ve düşük etkili çözümler belirlenir ve bu sayede risk kontrolünde kaynakların verimli kullanılmasını sağlar.
- Bu yöntem, sistemin tekrar şekillendirilerek, arıza ihtimalinin azaltılmasını sağlar.
- Arıza olasılıklarının azalması ve bunu sağlayan yöntemlerin giderlerinin karşılaştırılmasını sağlar.

Hata ağacı analizi kendi içerisinde bazı kısıtlamalara sahiptir. Bu dezavantajlar şunlardır (Clemens, 1993):

- Analizi yapacak kişinin belirleyeceği sadece tek bir istenmeyen olay (tepe olay) analiz edebilir. Bu yüzden tek bir sistem için birden çok hata ağacı yapılması gerekli olabilir.
- Olasılık hesabı yapılacak büyük sistemler gelişmiş bilgisayarlar ve bilgisayar programları gerektirebilir.
- Kesin bir olasılık hesabı yapmak, büyük sistemlerde fazla zaman ve kaynak gerektirebilir. Olasılık hesaplaması yaparken ağacın boyutunu sınırlamak gerekebilir.
- Tüm önemli hata veya arızalar hesaba katılmadığı sürece kesin bir hesaplama yapmak mümkün değildir.
- Aynı mantık kapısındaki olay ve durumlar birbirinden bağımsız olmalıdır.
- Olağan durumların hesaba katılması analizin güvenilirliği açısından önemlidir.
- Ağacın herhangi bir seviyesindeki olay ve durumlar bağımsız olmalıdır ve bitişik seviyedeki olay ve durumlara doğrudan etkisi olmalıdır.
- Her bir olayın arıza oranları sabit ve tahmin edilebilir olmalıdır. Genel olarak, kesin arıza olasılıklarının hesaplanması zordur bu yüzden göreceli analiz, programdan daha iyi sonuçlar alınmasını sağlar.

Hata ağacının oluşturulması analizi yapanın bilgi ve yeteneklerinden büyük ölçüde yararlanır ve bu yüzden nasıl oluşturulacağı hakkında açık bir tanımlama yapmak zordur. Hata ağacı ayrıntılı analiz gerektirir ve kapsamlı varsayımlar gerekli olabilir ama bunların haricinde hata ağacı analizinde izlenen belli başlı basamaklar şunlardır (Öktem, 2006):

- *Tepe Olayı Seçimi:* Analiz edilecek istenmeyen olay seçilir.
- *Bilinen Sebeplerin Birleştirilmesi:* Sahip olunan bilgi birikimi ile mevcut hatalı durumlar ve hata olayları belirlenir. Genel olarak hata listesi tam olmasa da ağacın oluşturulmasında büyük önem taşır.

- *Hata Ağacı İnşaatı:* Tepe olayın hangi bağımsız olaylar sonucu oluşabileceği belirlenir. Bu olaylar VEYA kapısı ile bölünür ve yukarıdan aşağıya doğru temel nedenler aranarak devam edilir.
- *Gözden Geçirme, İlave ve Test:* Hata ağacı oluşturmak bir deneme-yanılma sürecidir ve hataya neden verebilecek hiçbir neden göz ardı edilmemelidir.
- *Sonuçların Değerlendirilmesi:* Analizin amacına göre tamamlanmış ağaç değerlendirilir ve bu değerlendirme birkaç farklı basamak içerebilir. Bunlardan bazıları; sonuçların direk değerlendirilmesi, minimum kesme setlerinin listelenmesi, minimum kesme setlerinin derecelendirilmesi, olasılıkların hesaplanması.

Hata ağacı analizinin verdiği en önemli sonuçlardan biri de önem ölçüleridir. Bu ölçüler hata ağacındaki tüm olayların tepe olayına katkısını veya tepe olayın, diğer olayların olasılıklarındaki artma veya azalmalara karşı duyarlılığını ölçer. Önem ölçülerinin kullanışlı özelliği, tepe olayına az miktarda genel olayın etkili olduğunu göstermesidir. Geçmiş yıllarda yapılan hata ağacı analizlerinde genel olayların %20'sinden azının tepe olaya önemli etkisi olduğu görülmüştür. (Vesely vd., 2002)

Farklı uygulama çeşitleri için, başlıca 4 çeşit önem ölçüsü hesaplanabilir (Vesely vd., 2002). Bu ölçütler şu şekildedir:

Fussell-Vesely (F-V) Önem Ölçüsü: Bir olayın, tepe olayı olasılığına katkısı.

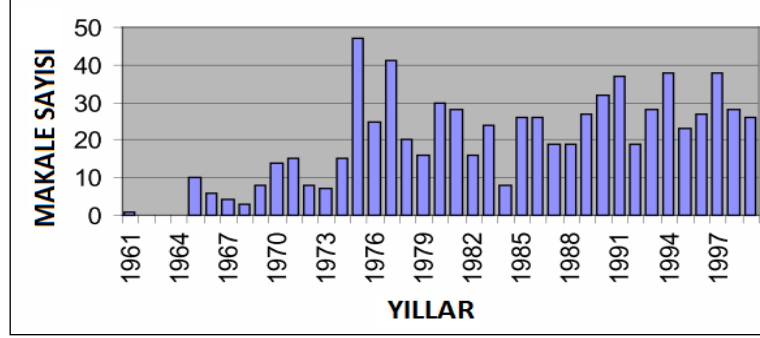
Risk Azaltma Bedeli (Risk Reduction Worth, RRW): Bir olayın kesin gerçekleşmeyeceği düşünüldüğünde, tepe olayın olasılığındaki azalma.

Risk Oluşma Bedeli (Risk Achievement Worth, RAW): Bir olayın gerçekleşmesi sonucu tepe olayın olasılığındaki artış.

Birnbaum'un Önem Ölçüsü (BM): bir olayın oluşma olasılığındaki değişimi sonucu, tepe olayın olasılığındaki değişimi.

2.7 Hata Ağacı Analizine Yönelik Örnek Uygulamalar

Günümüze kadar hata ağacı konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 6'da hata ağacının ortaya çıktığı tarihten 1997 yılına kadar yıllara göre yapılmış olan çalışmalar görülmektedir.

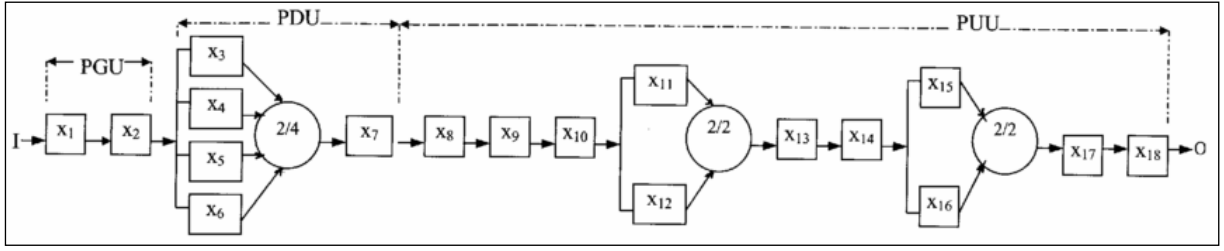


Şekil 6. 1997 yılına kadar yayınlanmış hata ağacı ile ilgili makale sayıları (Ericson II, 1999)

Samanta vd. (2002)'nin yaptığı çalışma hata ağacı kullanarak, hidrolik kepçe sisteminin güvenilirlik analizini konu almıştır. Kepçe-kamyon ikilisi açık ocak madenlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir ve kepçenin güvenilirliği üretimin verimliliğinde büyük rol oynar. Maden makinelerinde daha önce yapılan güvenilirlik çalışmalarında, sistemin ve alt sistemlerin arıza verilerine uygun olasılık dağılımları belirlenerek genel analitik yöntemlerin aracılığı ile güvenilirlik hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmada güvenilirlik analizinde kullanılan basamaklar şu şekilde belirtilmiştir;

- i. Güvenilirlik blok diyagramı oluşturulur,
- ii. Hata ağacı oluşturulur,
- iii. Minimum kesme seti hesaplanır,
- iv. Minimum yol seti hesaplanır,
- v. Güvenilirlik değerlendirilir.

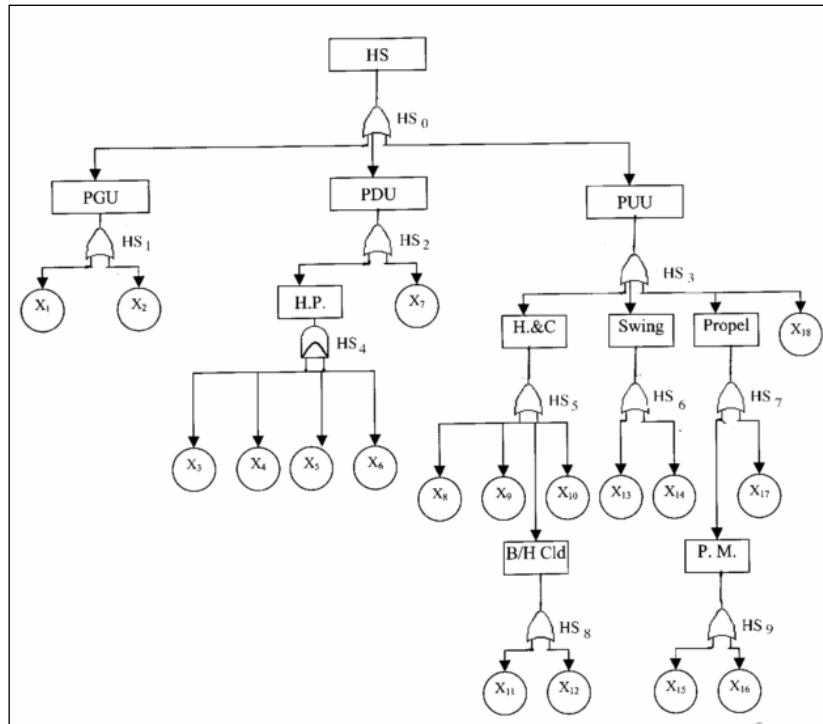
Blok diyagramı sistemin bileşenlerini güvenilirlikler hesaba katılarak grafiksel olarak temsilidir. Bu çalışmada hidrolik kepçenin üç ana alt sistemden oluştuğu düşünülmüştür. Bu sistemler; (i) güç üretim birimi, (ii) güç geliştirme birimi ve (iii) güç kullanım birimidir. Güvenilirlik blok diyagramı Şekil 7'de verildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 7. Sistemin güvenilirlik blok diyagramı (Samanta vd., 2002)

Şekil 7'de, **PGU**, güç üretim birimi, **PDU**, güç geliştirme birimi, **PUU**, güç kullanım birimi, **I**, girdi, **O**, çıktı'yı ifade etmektedir.

Her bir "x", keppenin bir alt birimini temsil etmektedir. Bu blok diyagram daha sonra olay ve durum sembolleri eklenerek Şekil 8'de hata ağacı şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 8. Sistemin hata ağacı şeklinde gösterimi (Samanta vd., 2002)

Hata ağacında kullanılan kapıların grafiksel gösterimi, Boolean eşitliği ve olasılık ilişkisi Tablo 2'de açıklanmıştır (Samanta vd., 2002).

Tablo 2. Kullanılan kapıların grafiksel gösterimi, Boolean eşitliği ve olasılık ilişkisi (Samanta vd., 2002)

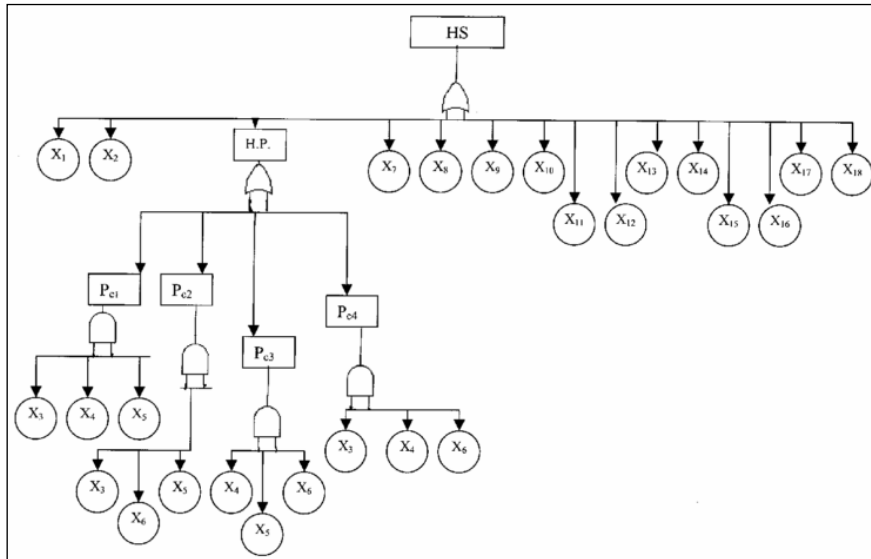
| Kapı | Sembol | Grafiksel Gösterim | Boolean Denklemi | Olasılık İlişkisi |
|---------------|--------|--------------------|---|--|
| VEYA | | | $Y = x_1 + x_2 + x_3$ | $P(y) = P(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3)$ $= P(\bar{x}_1) + P(\bar{x}_2) + P(\bar{x}_3) -$ $P(\bar{x}_1)P(\bar{x}_2) - P(\bar{x}_1)P(\bar{x}_3) -$ $P(\bar{x}_2)P(\bar{x}_3) + P(\bar{x}_1)P(\bar{x}_2)P(\bar{x}_3)$ |
| VE | | | $Y = x_1x_2x_3$ | $P(x_1x_2x_3) = P(\bar{x}_1)P(\bar{x}_2)P(\bar{x}_3)$ |
| Oylama Kapısı | | | $Y = x_1x_2 + x_1x_3 +$ $x_2x_3 + x_1x_2x_3$ $= x_1x_2 + x_1x_3 +$ x_2x_3 | $P\{\bar{x}_1\bar{x}_2 + \bar{x}_1\bar{x}_3 + \bar{x}_2\bar{x}_3\}$ $= P(\bar{x}_1\bar{x}_2) + P(\bar{x}_1\bar{x}_3) + P(\bar{x}_2\bar{x}_3)$ $- P(\bar{x}_1\bar{x}_2)P(\bar{x}_1\bar{x}_3) - P(\bar{x}_1\bar{x}_2)P(\bar{x}_2\bar{x}_3)$ $- P(\bar{x}_1\bar{x}_3)P(\bar{x}_2\bar{x}_3)$ $+ P(\bar{x}_1\bar{x}_2)P(\bar{x}_1\bar{x}_3)P(\bar{x}_2\bar{x}_3)$ |

VEYA Kapısı: Çıktı, Girdilerden herhangi biri gerçekleşirse gerçekleşir.

VE Kapısı: Çıktı, girdilerin hepsi gerçekleşirse gerçekleşir.

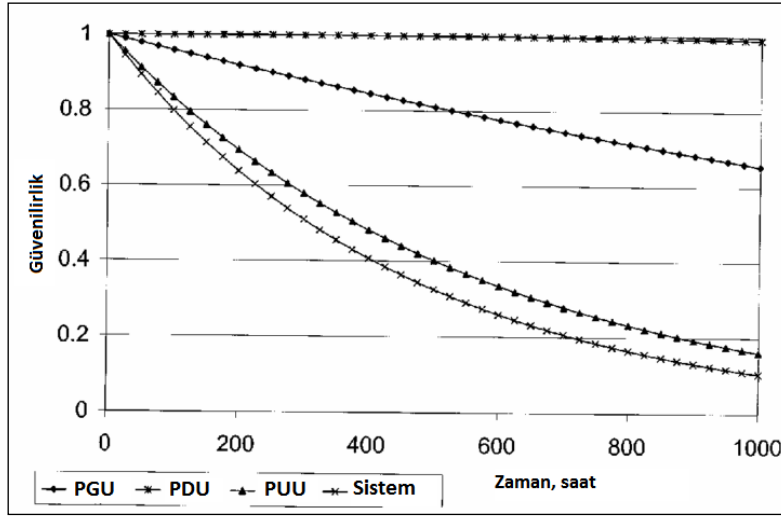
Oylama Kapısı: Çıktı, girdilerden en az ikisi gerçekleşirse gerçekleşir.

Sistem güvenilirliğinin analizi için, hata ağacı oluşturulduktan sonra, kesme setinin belirlenmesi gerekmektedir. Minimum kesme seti Fussel'in geliştirdiği algoritma ve Boolean mantık ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır. Kesme seti belirlendikten sonraki basitleştirilmiş hata ağacı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Sistemin basitleştirilmiş hata ağacı (Samanta vd., 2002)

Sistemin hata ağacı; en çok ilgi gerektiren öğelerin $x_{1,2,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18}$ öğeleri olduğunu göstermiştir. Bu olaylardan herhangi birinin gerçekleşmesi, tepe olayın da gerçekleşmesi anlamına gelmektedir. Güvenilirlik hesaplamaları sonucunda, Şekil 10'daki grafik elde edilmiştir ve en güvenilir alt sistemin güç geliştirme birimi olduğu görülmüştür. Güç kullanım birimi (PUU) ise zamanla güvenilirliği en çok azalan birimdir. Bunun sebebi de VEYA kapıları ile bağlı olan birçok genel olay bulunmasıdır. Bu birimin güvenilirliğini geliştirmek bakım planlamasının geliştirilmesi ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 10. Kepçenin ve alt sistemlerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri (Samanta vd., 2002)

Sonuç olarak hata ağacı analizinin, bir makinanın güvenilirlik ve çalışma davranışlarının değerlendirilmesinde, bakım onarım planlaması yapılmasında ve kritik birimlerin tespitinde güçlü bir analitik teknik olduğu belirlenmiştir.

Hong ve Lee (2009) tarafından yapılan çalışmada bir kompozit sistemin güvenilirliğinin, deterministik yaklaşım ve hata ağacı analizini birleştiren bir yöntem ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada konu alınan sistem, Tayvan'daki Taipower aktarım sistemidir. İlk olarak arıza analizi yapılarak, sistem durumunun üç kümeye ayrılmasına karar verilmiştir. Bunlar (i) normal, (ii) lokal sorun ve (iii) sistem sorunu. Lokal sorunlar, aşırı yüklenme ve yüksek veya düşük voltaj, sistem sorunu ise voltaj sınırlanmasıdır. Lokal sorunlar, yük kısılmasıyla çözülebilecek durumlardır fakat sistem sorunu genel olarak sistemin kapanmasına yol açacaktır. Hata ağacı analizi hem lokal hem de sistem sorunlarını kapsamaktadır. Arıza taraması N1 ve N2 kriterlerine göre yapılmaktadır. N1 kriteri, bir taşıma hattı, trafo veya jeneratördeki planlı veya mecburi kesintileri ifade eder. N2 kriteri ise ikiye

ayrılır; iki taşıma hattı kesiktir (N2(LL)), sistemdeki en yüksek kapasiteli trafo çalışmamaktadır ve taşıma hattı kesiktir (N2(GL)). N1 veya N2 olaylarından birinin gerçekleşmesi, sistemin çalışmayı sürdürmemesi demektir. Bu durumda hata ağacının temel hali tepe olayına VEYA kapısı ile bağlı üç alt-tepe olaydan oluşur; N1, N2 (LL) ve N2 (GL). Bu alt-tepe olayların her biri de bir hata ağacı ile belirtilmiştir. Hata ağacı oluşturulduktan sonra üç alt-tepe olay için de minimum kesme setleri, Boolean işlemleri ile bulunmuştur.

Bu çalışmada güvenilirliklerin belirlenmesi için bileşenlerin kullanılabilirliklerinden yararlanılmıştır. Hesaplamalarda F, D ve U olarak üç parametre kullanılmıştır. F, birimin arızalanma frekansı, D, birimin ortalama arıza süresi ve U, birimin kullanılamazlığıdır. Bu parametreler arasındaki bağıntı 12-15'de verilmiştir.

$$F = P_{IN} \times \lambda = P_{OUT} \times \mu \quad (12)$$

$$D = \frac{P_{OUT}}{F} \quad (13)$$

$$U = F \times D \quad (14)$$

$$\lambda = \frac{F}{1 - F \times D} \quad (15)$$

P_{IN} ve P_{OUT} sırası ile birimin çalışır ve arızalı olma olasılıklarıdır. λ ve μ ise sırası ile arıza ve tamir oranlarıdır. Bağıntı 12-15 kullanılarak alt birimlerin ve kesme setleri kullanılarak alt-tepe olaylarının F,D ve U değerleri hesaplanmıştır. Tablo 3'de alt-tepe olaylar için hesaplanmış bu değerler verilmiştir.

Tablo 3. Tepe ve alt-tepe olaylar için hesaplanan F, D ve U değerleri

| | U | F | D |
|---------------------|---------|--------|-------|
| N1 | 10.0316 | 0.5770 | 15.23 |
| N2 (LL) | 1.3034 | 0.0661 | 17.27 |
| N2 (GL) | 0.2338 | 0.0120 | 17.02 |
| N1 & N2 (tepe olay) | 11.5689 | 0.6546 | 15.48 |

Bunun dışında her taşıma hattı için "Risk Azaltma Bedeli" (RRW) değerleri hesaplanmış ve arızaya etkisi en yüksek olan hatlar tespit edilmiştir.

Tablo 4’de, her bir alt-tepe olaya etkisi en yüksek olan beşer hattın RRW değerleri verilmiştir. Tablo 4’de de görüldüğü gibi 2491, 710 ve 94 numaralı taşıma hatları sırası ile N1, N2 (LL) ve N2 (GL) ölçütlerinin arızalarında en etkili elemanlardır.

Tablo 4. Her alt-tepe olaya etkisi en yüksek olan beşer hattın RRW değerleri

| Alt-Tepe | Taşıma Hattı | RRW |
|----------------|--------------|------------------|
| N1 | 2491 | 1,2543479 |
| | 944 | 1,1425743 |
| | 2499 | 1,1160542 |
| | 471 | 1,0665435 |
| | 2464 | 1,0510018 |
| N2 (LL) | 710 | 5,9825868 |
| | 602 | 1,1998603 |
| | 707 | 1,0457311 |
| | 708 | 1,0457311 |
| | 560 | 1,0369794 |
| N2 (GL) | 94 | 1,0004934 |
| | 199 | 1,0001610 |
| | 5 | 1,0001550 |
| | 6 | 1,0001550 |
| | 523 | 1,0000568 |

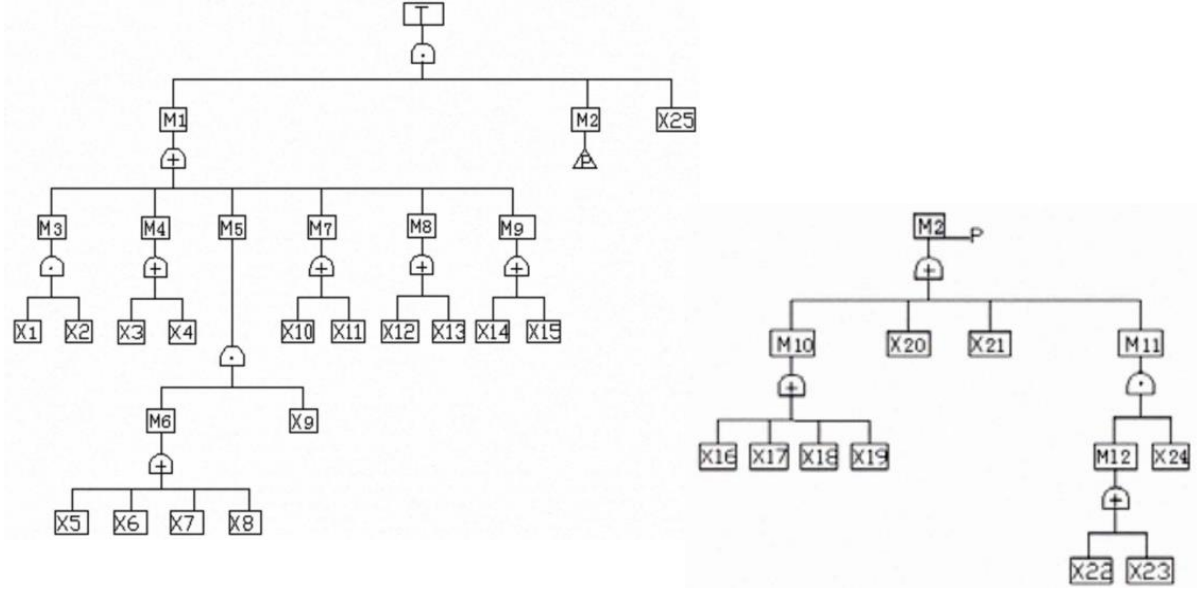
Tepe olaya en çok etkisi olan ilk 10 taşıma hattının RRW değerleri de Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5’de de görüldüğü gibi sistemdeki en önemli taşıma hattının 2491 numaralı 46 km uzunluğundaki 161 kW taşıma hattı olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Tepe olaya en çok etkisi olan ilk 10 taşıma hattı

| TEPE | TAŞIMA | RRW |
|----------|-------------|------------------|
| N1 ve N2 | 2491 | 1,2133399 |
| | 944 | 1,1213305 |
| | 710 | 1,1035509 |
| | 2499 | 1,0991046 |
| | 471 | 1,0571955 |
| | 2464 | 1,0439270 |
| | 2465 | 1,0439270 |
| | 85 | 1,0374169 |
| | 274 | 1,0341923 |
| | 476 | 1,0309875 |

Gerçekleştirilen bir diğer güvenilirlik çalışmasında (Wang, 2010), hata ağacı analizi kullanılarak, akaryakıt tanklarında oluşabilecek yangın ve patlamaların önüne geçilebilmesi

için alınabilecek önemler araştırılmıştır. Kesme setleri belirlenerek önem dereceleri hesaplanmıştır, tepe olayın başlıca nedenleri ve alınabilecek önlemler tartışılmıştır. Hata ağacında tepe olay, akaryakıt tankının yanması veya patlaması olarak belirlenmiştir ve bu olaya sebep olabilecek 25 olay vardır. Oluşturulan hata ağacı Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Sistemin hata ağacı şeklinde gösterimi

Hata ağacının oluşturulmasından sonra, Şekil 12’deki yedi tane kesme seti bulunmuştur

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \{ x'_1 x'_3 x'_4 x'_5 x'_6 x'_7 x'_8 x'_{10} x'_{11} x'_{12} x'_{13} x'_{14} x'_{15} \} \\
 P_2 &= \{ x'_1 x'_3 x'_4 x'_9 x'_{10} x'_{11} x'_{12} x'_{13} x'_{14} x'_{15} \} \\
 P_3 &= \{ x'_2 x'_3 x'_4 x'_5 x'_6 x'_7 x'_8 x'_{10} x'_{11} x'_{12} x'_{13} x'_{14} x'_{15} \} \\
 P_4 &= \{ x'_2 x'_3 x'_4 x'_9 x'_{10} x'_{11} x'_{12} x'_{13} x'_{14} x'_{15} \} \\
 P_5 &= \{ x'_{16} x'_{17} x'_{18} x'_{19} x'_{20} x'_{21} x'_{22} x'_{23} \} \\
 P_6 &= \{ x'_{16} x'_{17} x'_{18} x'_{19} x'_{20} x'_{21} x'_{24} \} \\
 P_7 &= \{ x'_{25} \}
 \end{aligned}$$

Şekil 12. Hata ağacının kesme setleri

Bu kesme setleri kullanılarak önem derecesi katsayıları her bir olay için hesaplanmıştır. Hesaplamaya örnek vermek gerekirse; x_1 olayının önem katsayısı olan $I_\phi(1)$ hesabında “13” ve “10” rakamları, x_1 in bulunduğu kesme setlerinin eleman sayılarıdır. Her bir x olayı için $I_\phi(i)$ değeri hesaplanmıştır ve değerler Şekil 13’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
I_{\varphi}(1) &= I_{\varphi}(2) = \frac{1}{2^{13-1}} + \frac{1}{2^{10-1}} = 0.002197 \\
I_{\varphi}(3) &= I_{\varphi}(4) = I_{\varphi}(10) = I_{\varphi}(11) = I_{\varphi}(12) = I_{\varphi}(13) = I_{\varphi}(14) = I_{\varphi}(15) = \frac{1}{2^{13-1}} + \frac{1}{2^{10-1}} + \frac{1}{2^{13-1}} + \frac{1}{2^{10-1}} = 0.008789 \\
I_{\varphi}(5) &= I_{\varphi}(6) = I_{\varphi}(7) = I_{\varphi}(8) = \frac{1}{2^{13-1}} + \frac{1}{2^{13-1}} = 4.88 \times 10^{-4} \\
I_{\varphi}(9) &= \frac{1}{2^{10-1}} + \frac{1}{2^{10-1}} = 0.003906 \\
I_{\varphi}(16) &= I_{\varphi}(17) = I_{\varphi}(18) = I_{\varphi}(19) = I_{\varphi}(20) = I_{\varphi}(21) = \frac{1}{2^{8-1}} + \frac{1}{2^{7-1}} = 0.0234375 \\
I_{\varphi}(22) &= I_{\varphi}(23) = \frac{1}{2^{8-1}} = 0.0078125 \\
I_{\varphi}(24) &= \frac{1}{2^{7-1}} = 0.015625 \\
I_{\varphi}(25) &= 1
\end{aligned}$$

Şekil 13. Her bir x olayı için $I_{\varphi}(i)$ değerleri

Bu hesaplamalar sonucunda, tepe olayı etkisi en yüksek olan olayın X_{25} (yağ ve gaz karışım oranının patlayıcı sınıra ulaşması) olayı olduğu görülmüştür. Bunun dışındaki M_1 ve M_2 alt-tepe olaylarına etkisi en yüksek olaylar;

M_1 için: $X_3, X_4, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}$ ve X_{15} 'dir

M_2 için: $X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}$ ve X_{21} 'dir

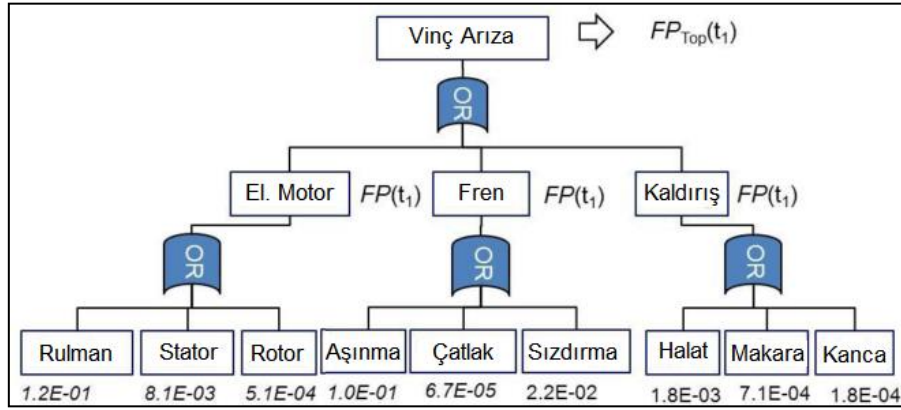
Sonuç olarak alınabilecek önlemler tartışılmıştır. Boş alan olduğu sürece yağ ve gazın karışması tam olarak engellenemeyeceği için, ilk olarak tutuşmaya sebep olabilecek durumlara önlemler düşünülmüştür. Bunun dışında kaçak ve havalandırma eksikliği de karışmaya sebep olabileceği için bu durumlara da önlem alınması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmanın literatürde dolduracağı boşluğu tespit etmek ve çalışmanın yenilikçiliğini vurgulamak, mevcut çalışmaların yaklaşımlarının nasıl sonuçlandığını varsa eksikliklerini öğrenebilmek için oldukça kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda güvenilirlik analizi ile ilgili 14 kitap ve 29 makale; hata ağacı analizi ile ilgili 7 kitap, 32 makale; çekme kepçeli yerkararlarla ilgili yapılan çalışmalarla ilgili 2 kitap, 6 makale; ayrıca, 10 adet de disiplinlerarası çalışma olmak üzere toplam 90 bilimsel eser incelenmiştir. Projenin sonlandırılmasına kadar konuyla ilgili yayınlanacak eserlerde olursa onlar da literatür taraması bölümüne dahil edilecektir.

Hata ağacı analizinin esas amacı, sistemin en önemli bileşenlerini belirlemek ve bu bileşenlerin arızalanmalarına karşı tedbirler geliştirmektir. Bu gelişme raporunun literatür

çalışması, hata ağacı analizini kullanarak yapılan bazı örnek çalışmaları ve sonuçlarını kapsamaktadır.

Halme ve Aikala (2012) hata ağacı uygulamasını kullanarak, vinçin güvenilirlik ve arıza olasılıklarını tahmin etmişlerdir. Yapılan çalışmada, birçok veri kaynağından alınan gerçek zamanlı ve dinamik bilgi hata ağacına bağlanmıştır ve herhangi bir anormallik durumu veya çalışma süresi seviyeleri yeni hesaplamalarla tahmin edilmiştir. Hata ağacı kullanılarak arızaya meyilli dallar ve olaylar belirlenmiştir ve bu sonuçlar göz önünde bulundurularak öncelikli bakım onarım yapılması gereken bileşenler listelenmiştir. Örnek çalışmada bir vinç sistemi ele alınmıştır. Şekil 14 vinç sisteminde yer alan arızaların hata ağacı analiziyle değerlendirilmesini göstermektedir.



Şekil 14. Vinç güvenilirliğine yönelik yapılan hata ağacı analizi (Halme ve Aikala, 2012)

Hata ağacındaki alt elemanların arıza olasılıkları Şekil 14'de görülmektedir ve bu değerlerden yola çıkarak hesaplanan sistemin ve alt sistemlerin arıza olasılıkları Tablo 6'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Vinç alt sistemlerinin arızalanma olasılıkları

| Olay tipi | Olay ismi | Belirli bir zamandaki arıza olasılığı |
|-----------|-------------------------|---------------------------------------|
| Tepe Olay | Vinç Arızası | 0.2364691 |
| Olay | Elektrik Motoru Arızası | 0.1290777 |
| Olay | Fren Arızası | 0.1209734 |
| Olay | Kaldırış Arızası | 0.0026554 |

Bu tablodaki değerler aşağıdan yukarıya doğru hesaplanmıştır ve alt olayların değerlerinde oluşacak değişiklikler sonucu (bakım onarım sonrası veya işletimsel ilerlemeler sonucu) hesaplamalar yenilenebilmektedir. Yenilenen arıza olasılıkları, bakım onarım çalışmalarında önem sırasını belirlerken kullanılabilir. Yapılan çalışmada arıza olasılıklarının hesaplanmasında Tanısal Önem Faktörü (Diagnostic Importance Factor – DIF) kullanılmıştır.

Bu metot ile seçilen bileşenin arızasını içeren sistemin arıza olasılığı FP {sistem ve bileşen} / FP{sistem}. (FP: arıza olasılığı –failure probability) ile hesaplanır, Hata ağacı analizi, arıza olasılıklarının hesaplanmasının yanı sıra, en olası arıza nedenlerinin belirlenmesinde kullanılır. Yapılan çalışmada mevcut durumdaki en olası 5 arıza belirlenmiştir ve vinç için bakım onarım sıra listesi Tablo 7'deki şekilde hazırlanmıştır.

Tablo 7. Vinç sistemindeki en olası arıza nedenleri

| Öncelik Sırası | Arıza Dalı | | | |
|----------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 | Olay | Vinç Arıza | Elektrik Motoru Arıza |
| | DIF | 1 | 0.545855 | 0.514021 |
| 2 | Olay | Vinç Arıza | Fren Arıza | Aşınma |
| | DIF | 1 | 0.511582 | 0.429443 |
| 3 | Olay | Vinç Arıza | Fren Arıza | Sızdırma |
| | DIF | 1 | 0.511582 | 0.091145 |
| 4 | Olay | Vinç Arıza | Elektrik Motoru Arıza | Stator Arıza |
| | DIF | 1 | 0.545855 | 0.034116 |
| 5 | Olay | Vinç Arıza | Kaldırış Arıza | Halat Arıza |
| | DIF | 1 | 0.011229 | 0.074991 |

Tablo 7'de de görüldüğü üzere, vincin arızalanmasına sebep olan en belirgin olay, elektrik motorundaki rulmanın arızalanmasıdır ve onu frenin aşınması takip etmektedir. Bunun dışında bakım görevlisi rulmanın bakımını yapmak için gittiğinde herhangi bir arıza yoksa, arıza olasılık değerini 0 (sağlıklı) olarak güncelleyebilir ve listeyi yenileyebilir. Tablo 8'de rulman arıza olasılığının 0 ve kaldırış arıza olasılığının 1 olarak girilerek elde edilen yeni liste görülmektedir.

Tablo 8. Olasılık güncellemesinden sonra en olası arıza nedenleri

| Öncelik Sırası | Arıza Dalı | | | |
|----------------|------------|------------|----------------|----------------|
| | 1 | Olay | Vinç Arıza | Kaldırış Arıza |
| | DIF | 1 | 1 | 0.667090 |
| 2 | Olay | Vinç Arıza | Kaldırış Arıza | Makara Arıza |
| | DIF | 1 | 1 | 0.266840 |
| 3 | Olay | Vinç Arıza | Fren Arıza | Aşınma |
| | DIF | 1 | 0.120973 | 0.101550 |
| 4 | Olay | Vinç Arıza | Kaldırış Arıza | Kanca Arıza |
| | DIF | 1 | 1 | 0.066709 |
| 5 | Olay | Vinç Arıza | Fren Arıza | Sızdırma |
| | DIF | 1 | 0.120973 | 0.021553 |

Yapılan çalışmanın sonucu olarak hata ağacının birimlere özel durumlar göz önüne alınarak daha uygun çözümler getirilebileceği belirtilmiştir ve düşük güvenilirlik değerine sahip birimlerden daha hızlı ve sık veri alınarak uygun bakım onarım modelleri geliştirilmesi önerilmiştir. Bunlara ek olarak, servis sırasında sağlıklı olduğu belirlenen birimlerin olasılık değerlerinin hesaba katılarak yeni öncelik sıralarının oluşturulması, bakım onarım işlemlerinin daha mantıklı yapılmasını ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacağı belirtilmiştir.

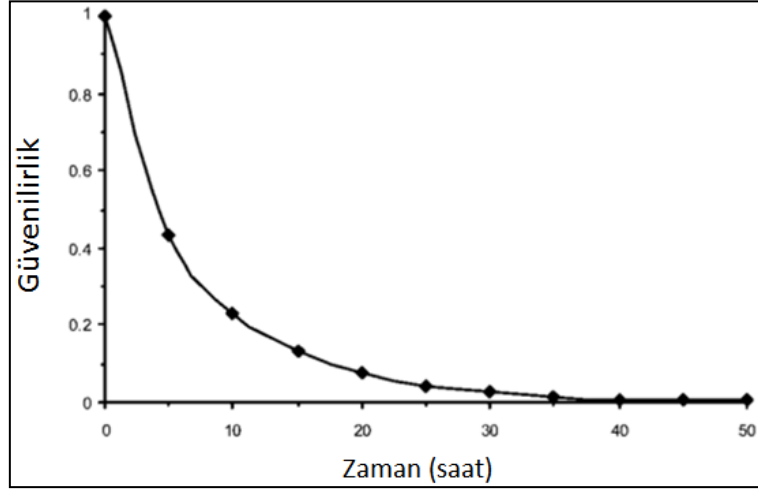
Gupta v.d. (2006) tarafından yapılan çalışmada bir yeraltı kömür madenindeki kesici yükleyicinin (shearer) hata ağacı tekniği kullanılarak, parça değişim ve bakım onarım analizi konu alınmıştır. Bu çalışmada sistem güvenilirliğinin hesaplanması başlıca 4 adımdan oluşmuştur:

- Gerekli saha verisinin toplanması
- Toplanan verilerin sınıflandırılarak “arızaya kadarki süre” değerlerinin hesaplanması
- Çeşitli güvenilirlik parametrelerinin belirlenmesi ve temel olayların güvenilirliklerinin hesaplanması
- Hata ağacındaki kapı ve ara olayların güvenilirlik olasılıklarının hesaplanması

İlk olarak kömür madeninde çalışan bu kesici yükleyicinin arıza ve bakım verileri incelenmiş ve sınıflandırılarak her birimin 2 ardışık arızası arasında net çalıştığı süre hesaplanmıştır. Daha sonra bu süreler kullanılarak her bir alt birimlerin arıza dağılımları 2-parametrelili Weibull dağılımına uyarlanarak bu dağılım için ölçek ve biçim parametreleri bilgisayar yardımıyla belirlenmiştir. Burada belirlenen biçim parametresi, o birimin yaşamının hangi evresinde olduğunu belirtmektedir. Bu değer 1'in altında olması, birimin henüz sabit arıza oranına ulaşmadığı ve arıza oranının zamanla düştüğünü belirtir. Bu birimler arıza oranı sabitlenene kadar gözlemlenmelidir ve buna uygun bakım onarım aralıkları belirlenmelidir. Biçim parametresinin 1 olması, birimin sabit arıza oranına sahip olduğunu belirtir ve rutin bakım onarım planı yeterlidir. Eğer bu parametre 1'den büyükse, birim faydalı ömrünü bitirmiştir ve artık arıza oranı zamanla artmaya başlamıştır. Bu durumda birimin değiştirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışma birimlerin %60'ının faydalı ömür sürecinde olduğunu ve sabit arıza oranına sahip olduğunu göstermiştir. Birimlerin yaklaşık %15'inin faydalı ömrünü tamamladığı ve %25'inin ise henüz faydalı ömür sürecine gelmediği görülmüştür.

Sistemin genel güvenilirliğinin hesaplanması için hata ağacı kullanılmıştır. Her bir alt birimin güvenilirlik dağılımları hata ağacına girildikten sonra hesaplamalar yapılmıştır. Kesici

yükleyicinin zamana bağlı güvenilirlik grafiği Şekil 15’de gösterilmiştir. Güvenilirlik hesaplamaları, kesici yükleyicinin 5 saat boyunca arızasız çalışma ihtimalinin %43 olduğunu göstermektedir. %93 ihtimalle sistemin 20 saat içerisinde arıza vereceği görülmektedir.



Şekil 15. Kesici yükleyicinin güvenilirlik eğrisi (Gupta v.d., 2006)

Kesici yükleyicinin bakım onarım politikası için her birimin Birnbaum faktörü hesaplanmıştır ve bu faktöre göre her birimin farklı zamanlar için önem sıralaması bulunmuştur. Bu faktör basitçe birimin güvenilirliğindeki değişimin sistemin genel güvenilirliğine etkisi olarak açıklanabilir. 5, 20 ve 40 saat sonraki önem sıraları, Birnbaum faktörleri hesaplanarak belirlenmiştir. Bu sıralama dinamiktir ve zamanla değişmektedir. Sonuç olarak, arıza modellemeleri kullanılarak değiştirilmesi gereken bileşenlerin tespit edilebileceği gösterilmiştir. Bundan sonra yapılan Birnbaum faktörü hesaplamaları da birimlerin hangi sırayla bakıma girmesi gerektiğinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Birnbaum faktöründen (Birnbaum's Measure – BM) farklı olarak kullanılan başka önem seviyeleri de mevcuttur, bunlar:

- i. Koşullu Olasılık (Conditional Probability – CP)
- ii. Risk Kazanma Bedeli (Risk Achievement Worth – RAW)
- iii. Risk Azaltma Bedeli (Risk Reduction Worth – RRW)
- iv. Tanısal Önem Faktörü (Diagnostic Importance Factor – DIF)
- v. Kritiklik Önem Faktörü (Criticality Importance Factor – CIF)
- vi. Gelişim Potansiyeli (Improvement Potential – IP)

Xing (2004) tarafından yapılan çalışmada bu değerlerin deneyler sonucu karşılaştırması yapılmıştır. CP ve RAW değerleri, seri bir sistemdeki benzer pozisyondaki bileşenler arasındaki farkı belirleyememekte ve olasılıklar arasındaki büyük farklara rağmen değerlerde farklılık oluşmamaktadır. RRW, CIF ve IP ise seri sistemde en düşük güvenilirliğe sahip bileşene daha yüksek önem değeri atamaktadır. Ancak paralel sistemdeki bütün bileşenlere olasılıklara bakmaksızın aynı önem değerini vermektedir. CP, RAW ve BM değerleri her zaman seri sistemdeki bileşenleri paralel sistemlerdekinden daha önemli göstermektedir. Buna ek olarak BM değeri paralel sistemlerde güvenilirliği daha yüksek olan bileşenlere daha yüksek önem değeri atamaktadır ki bu durum bakım onarım açısından anlamsız olmaktadır. Bu 7 önem değerinin içinde DIF değeri sıralama konusunda en dinamik ve duyarlı ölçüdür. DIF yöntemi sıralama yaparken sistemde benzer pozisyondaki bileşenleri (hem seri hem paralel yapılar için) güvenilirlik farklılıklarına göre farklı sıralara koymaktadır.

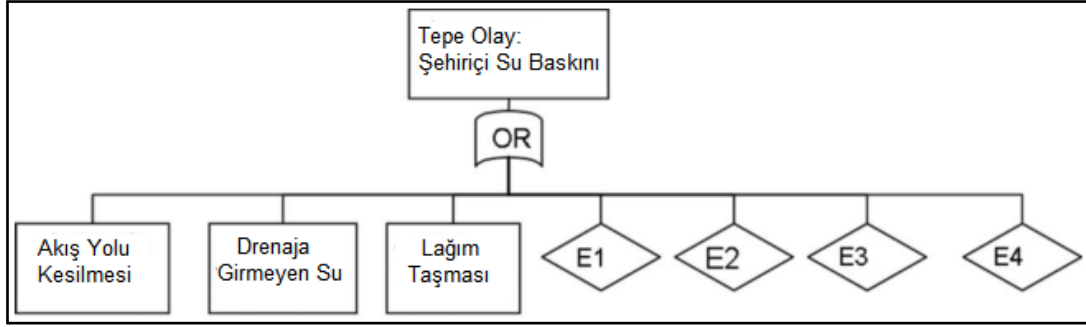
Mekanik sistemlerden farklı olarak Veldhuis v.d. (2011) tarafından yapılan çalışmada şehir içi su baskınlarına sebep olan mekanizmalar hata ağacı yöntemi ile sayısallaştırılarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler 2 farklı şehirdeki su baskını çağrı merkezlerinden alınmıştır ve 7 başlıca su baskınına sebep olan mekanizma tespit edilmiştir. Her mekanizma için veriler incelenerek Poisson dağılımı varsayılarak analizler yapılmıştır ve sonuç olarak $p_x(x)$ değerleri hesaplanmıştır. Bu değer belli bir zaman aralığında 'x' kere o olayın gerçekleşme ihtimalini vermektedir. Kullanılan Poisson eşitliği bağıntı 16'da verilmiştir.

$$p_x(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (16)$$

Bağıntı 16'daki x değeri, o olayın kaç kere gerçekleştiği, t değeri zaman aralığı ve λ birim zamanda olayın gerçekleşme oranıdır. λ değeri çağrı merkezi verilerinden elde edilmiştir. Veldhuis v.d. (2011)'nin çalışmasında dağılımlar 'homojen Poisson dağılımı' olarak varsayılmıştır ve bu sebeple de λ değeri sabit kabul edilmiştir. Su baskını bu olaylardan herhangi birinin gerçekleşmesi ile gerçekleşeceği için olasılık hesaplaması bağıntı 17'de verildiği gibi yapılmıştır.

$$P(X \geq 1) = 1 - p_x(0) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (17)$$

Buradaki $P(X \geq 1)$ değeri bir veya daha fazla kere olayın olma olasılığıdır. Bu çalışmadaki hata ağacı analizi için 't' değerinin 1 hafta olarak alınması uygun görülmüştür. Şekil 16'de çalışma için oluşturulan hata ağacı görülmektedir.



Şekil 16. Şehiriçi su baskına yönelik hata ağacı analizi (Veldhuis vd., 2011)

E1: İçme suyu kaçağı

E2: Yeraltı su seviyesinin yüzeyin üstüne çıkması

E3: Yüzey suyunun bentleri aşması

E4: Yüze su boşaltımı

Akış yolu kesilmesine; oluk tıkanmaları, kanallar, kanal birleşimleri ve yüksek yol kenarları gibi alt mekanizmalar dâhildir. Örnek çalışma için Hollanda'nın Haarlem ve Prinsenbeek şehirlerinden alınan veriler kullanılmıştır. Analizler sonucu su baskını olasılığındaki en etkili mekanizmalar; Haarlem için %71 kanal tıkanması, %25 kanal birleşimlerinin tıkanması ve %1 boru tıkanmaları, Prinsenbeek için %73 lağım tıkanması olarak tespit edilmiştir. Genelde su baskınları konusunda üzerine en çok gidilen konu yüksek yağış sonucu lağım taşmaları olmasına rağmen çalışma sonucunda bu durumun su baskınlarına etkisinin sadece %3 olduğu görülmüştür. Çalışmanın genel sonucu olarak hata ağacı analizinin olayların mekanizmalarının anlaşılabilir belki de önceden üzerinde durulmayan ama gerçekte önemli olan konulara daha çok dikkat edilmesini sağladığı belirtilmiştir.

2.8 Bakım Onarımın Genel İncelemesi

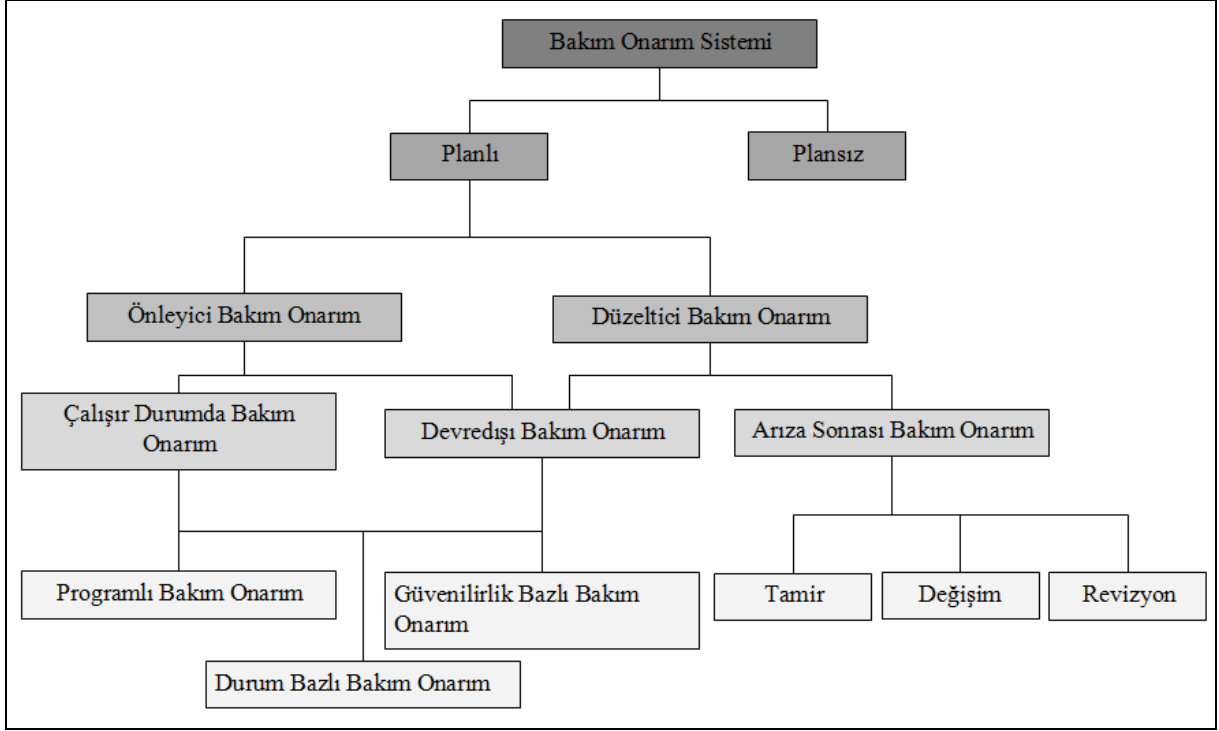
Bir bakım onarım aktivitesi, alt sistemlerin ve sistemin genelinin çalışmasının sürdürülmesi ve verimli çalışmanın devam etmesi için yapılan işlemlerin tümünü tanımlamaktadır (Stephens, 2010). Bu işlemler, bakım onarım personeli ve yedek parça malzemeleri için harcanan maddi kaynaklar ve de verimsiz bakım onarım sonucu oluşan üretim kayıplarından kaynaklı dolaylı giderler olmak üzere, üretim sürecinde yüksek maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Arıza sürelerinin yönetiminde olacak başarısızlık ve planlanmamış arızalanmaların sistemin çalışmasında art arda sebep oldukları olumsuz etkiler, bu maliyetleri ortalamanın çok üstünde seviyelere çıkarabilir. Bunlara ek olarak, endüstrilerde artan talep ve yüksek üretim döngüleri maliyeti arttırarak sektörü daha özenli bakım onarım yapmaya zorlamaktadır.

ABD'de yıllık bakım onarım maliyet eğilimleri, her sene genel işletim maliyetlerindeki bakım onarım maliyetlerinin arttığını göstermektedir. 1981'de önemli tesislerde 600 milyar dolar olan bakım onarım maliyetleri, 2000 yılında ikiye katlanmıştır (Mobley, 2004). Araştırmalara göre bakım onarıma harcanan paranın üçte biri yetersiz işlemler yüzünden boşa gitmiştir. Bunlar göz önünde bulundurulursa, sistemin devamlılığı için, sisteme uygun bakım onarım planlamasının belirlenmesi, denenmesi ve onaylanması gereklidir. "Onarılabilirlik" terimi planlı ve plansız arızaların kontrolü için oluşturulmuştur. Onarılabilirlik, belirli koşullar altında, bir onarım veya arıza inceleme aktivitesine ayrılan sürenin belirli bir zaman periyodundan az olabileme ihtimalini tanımlayan istatistiksel bir yaklaşımdır (Bertsche, 2008).

2.9 Bakım Onarım Türleri

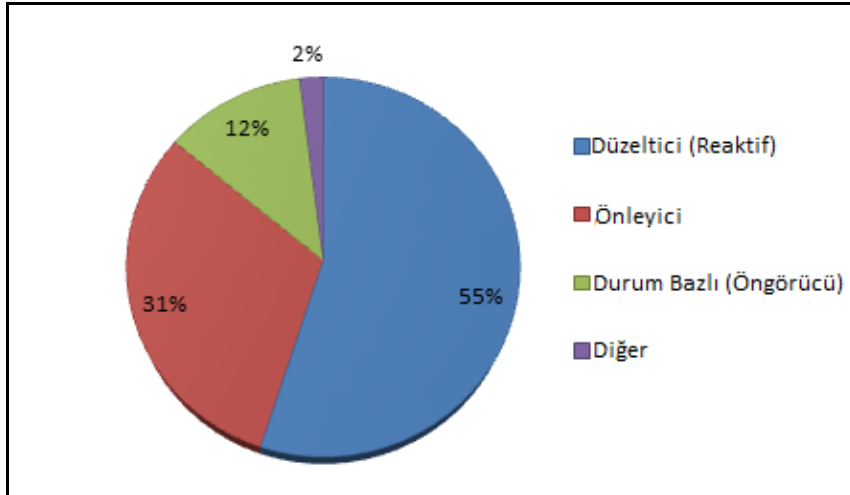
Bakım onarım türleri, arızanın oluşmasının öngörülebilmesine göre planlı ve plansız olarak sınıflandırılabilir (Şekil 17). Plansız bakım onarım, tahmin edilemeyen arızaların olduğu acil durumlarda uygulanır. Bu bakım onarım türüne sistemin çalışır durumdayken bakımı ve arıza sonrası arıza sebebinin tespiti dâhil değildir. Sadece, sistemin onarılması ve tekrar çalışır hale gelmesini kapsamaktadır ve düzeltici bakımın plansız versiyonudur. Acil durum anında yedek parça yeterli olmaması ve yönetsel gecikmeler, işletme için yüksek ve plansız maliyetlere sebep olabilir. Bu nedenle, plansız duraksamaları olabildiğince asgari seviyeye indirmek gerekmektedir.

Planlı bakım onarım ise, arızaya karşı ne zaman ve ne yapılması gerektiğinin ve de bakım onarımdan kimin sorumlu olduğunun açık şekilde belirlendiği arıza giderme faaliyetidir. Sistemin aşırı veya verimsiz kullanımı ve çalışma koşullarını etkileyen çevresel faktörler planlı bakım onarım programı yapılırken dikkate alınmalıdır (Mishra ve Pathak, 2004). Planlı bakım onarım, önleyici ve düzeltici bakım onarım olarak iki ana başlığa ayrılabilir. Önleyici bakım onarım, denetleme, deneme ve ya istatistiksel varsayımlardan yararlanır. Bu bakım türü, belirli periyotlarla yapılan revizyon-bakım çalışmaları, güvenilirlik ve durum bazlı bakım-onarım gibi teknikleri kullanarak arızanın önceden tespit edilmesini, bu yönde tedbirler alınmasını sağlar. Düzeltici bakım onarım ise arıza olduğu zaman yapılan onarım aktivitesidir. Bu tarz bir onarım çalışmasında, arızaya mahal veren parçalar tamir edilebilir, başka bir parçayla değiş tokuş edilebilir ya da mevcut parçanın yer aldığı kısım revizyon ile değiştirilebilir.



Şekil 17. Bakım-onarım çeşitleri (Mishra ve Pathak, 2004)

ABD'deki yapılan bakım onarım türlerinin birbirine göre yüzdelik payları Şekil 18'de gösterilmektedir. Burada da görüldüğü üzere bakım onarım çalışmaları çoğunlukla arıza oluştuktan sonra, yani düzeltici nitelikte yapılmaktadır.



Şekil 18. A.B.D.'de yapılan bakım-onarım çalışmalarının yüzdelik dağılımları (U.S. DOE, 2010)

Bir önleyici bakım onarım çalışması, sistemin tümündeki veya bir parçasındaki bozulmanın belirlenmesi, engellenmesi veya azaltılması ve sistemin kullanım ömrünün uzatılması için

yapılan eylemlerdir ve işletim giderlerinden %18 civarında kâr sağlamaktadır (U.S. Department of Energy, 2010). Önleyici bakım onarım programı, sistemin güvenilirliği ve güvenliğinde zayıflıklara yol açan sebepleri belirlemeyi amaçlar ve bu çerçevede kullanılan fiziki yöntemler aşağıdaki gibidir (Smith, 2007) ;

- i. Yağlama ve bakım
- ii. Çalışır, görsel ve otomatikleştirilmiş denetleme
- iii. Teftiş, işlev testi ve durum gözlemlene
- iv. Restorasyon
- v. Iskartaya çıkarma

Önleyici bakım onarımda esas amaçlanan; sistemin işlevselliğini yaşlanma, aşınma ve kirlenme dolayısıyla oluşabilecek arızalara karşı korumak ve bu olaylar sonucu oluşabilecek zararları engellemektir.

Düzeltilici bakım onarım; arıza sonrası, arızalanan parçayı tekrar çalışır hale getirmek için yapılan tepki eylemidir ve arızalanan parçanın onarılmasını veya değiştirilmesini kapsar. Arızalar rastgele zamanlarda meydana geldiği için arıza oluşumlarının kesin zamanlarını öngörmek mümkün değildir ancak planlı bir düzeltilici bakım onarım politikasıyla olası arıza sürelerini kontrol altında tutmak gerekmektedir. Düzeltilici bakım onarım planlaması üç adımda yapılır; (i) arızanın tanımlanması ve çalışmayan bölgenin belirlenmesi, (ii) arızalı unsurun onarılması veya değiştirilmesi ve (iii) onarım ve değişim işleminin sistemi çalışır hale getirdiğinden emin olmak için doğrulama yapılması (Misra, 2008). Düzeltilici bakım onarım, “arızalı değilse, düzeltme” mantığı ile çalışır. Yeni sistemler için bu makul olabilir çünkü bakım yeni sistemlerde büyük bir sorun teşkil etmez ancak eskiyen ve aşınma problemi olan sistemlerde bu yöntem geri dönüşü olmayan sorunlara yol açabilir. Birçok işletme sadece düzeltilici bakım onarım planlaması ve yağlama gibi temel önleyici önlemler aldıkları için; yedek parça, fazla çalışma saatleri, yüksek arıza süresi beklentileri ve düşük üretim gibi ek masraflarla karşılaşmaktadırlar (Moble, 2004) .

Durum bazlı bakım onarım, başka bir deyişle tahmine dayalı bakım onarım, karar verme mekanizmasını tanımlayıcı ve doğrulayıcı veri akışına dayanarak, sistemin durumunun sürekli gözetlenmesi ile yapılır (Ben-Daya *et al.*, 2009). Sistem ve parçaları arızaya sebep olan rastgele değişken mekanik ve elektronik özelliklere sahip olduğu için, durum bazlı bakım onarım arıza öncesi uyarı verileri toplanmasını sağlar ve gereksiz denetlemelerin yapılmasını engeller. Durum bazlı bakım onarımla sistemin çalışma yapısını denetlemekte kullandığı

başlıca teknolojiler; kızılötesi, parçacık deşarjı, korona tespiti, titreşim, akustik ve yağ seviyesi analizleridir (Misra, 2008) . Kontroller genel olarak çalışma takviminde durmaya yol açmamak için, parçalar servisteyken yapılır. Durum bazlı bakım onarım sadece gözlemlene işlemleri değil aynı zamanda sistemdeki parçaların arızalar arası süre (MTTF) analizi ile kalite, kullanılabilirlik, üretkenlik ve kârlılıklarının optimizasyonunu, düzeltici bakım onarımlarının arasındaki sürelerin azami seviyeye çekilmesi ve beklenmedik arızalarda oluşacak giderlerin asgari düzeye indirilmesini kapsar (Moblely, 2002). Çalışma parametreleri gözlemlene, ısı görümlene, yağ analizi ve görsel denetleme gibi tahribatsız izleme yöntemlerinin dışında, titreşim izleme mekanik sistemlerde en çok kullanılan izleme yöntemidir. Mekanik sistemlerde hareketli parçalar titreşim için devamlı veri akışı sağlayabilmektedir (Moblely, 2002). Elektronik sistemlerde ise titreşim harici yöntemler kullanılmaktadır.

Güvenilirlik bazlı bakım onarım çalışmaları 1960'ların sonlarına doğru, ABD havacılık sektöründe hassas bakım onarım gerekliliğinden dolayı uygulanmaya başlamıştır ve daha sonrasında nükleer santrallerin bakım onarım faaliyetlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde güvenilirlik bazlı bakım onarım, sistem güvenliği ve güvenilirliğinin yüksek önem taşıdığı sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu metot, başlıca mantık şemaları ve görev seçimi yöntemlerini kullanarak parçaların işlevsel arızalarının değerlendirilmesi, arızalara karşı tedbirlerin belirlenmesi, işlevsel öneme sahip parçaların saptanması ve etkili ve uygulanabilir önleyici bakım onarım planlamaları yapılması için kullanılmaktadır (Smith, 2007) . "İşlevsel öneme sahip" terimi, bir parçanın arızasının sistem mekanizmasına etkisini açıklayan önem derecesinin belirtilmesi için kullanılmaktadır. Güvenilirlik bazlı bakım onarım, alt sistemlerin ve parçaların, sistemin bütününe etkilerini görmeyi sağlayan genel bir bakış yaratmaktadır. Sistemin değerlendirilmesi için açıklanması gereken konular; (i) çalışma koşullarında, parçanın işlevleri ve çalışma kriterleri, (ii) parçanın işlevselliğini kaybetmesine sebep olabilecek olası durumlar, (iii) her bir arızayı etkileyen faktörler, (iv) arıza sonrası oluşacak olaylar, (v) her bir arızanın önem derecesi, (vi) arızalar için alınacak önlemler ve (vii) uygun önlemler olmadığı takdirde uygulanacak düzeltici eylemlerdir.

Güvenilirlik bazlı bakım onarım, Şekil 19'de gösterildiği gibi düzeltici (reaktif), önleyici, durum bazlı ve tahmine dayalı (proaktif) faaliyetlere yardımcı olarak kullanılabilir (Afefy, 2010). Olası arıza türleri ve parça fonksiyonlarının tanımlanması için uygulanacak eksiksiz güvenilirlik bazlı programda takip edilmesi gereken adımlar;

- i. Sistemin belirlenmesi ve veri toplanması,
- ii. Sistem sınırlarının nitelendirilmesi,

- iii. Sistemin fonksiyonel sorunlarının tanımlanması,
- iv. Arıza türü ve etki analizi,
- v. Mantık ağacı şeması,
- vi. Görevin belirlenmesidir.



Şekil 19. Güvenilirlik bazlı bakım onarım çalışmalarının dâhil edilebileceği alanlar (Dhillon, 1999)

Bu başlık altında tanımlanmış olan bakım onarım türlerine ait olumlu ve olumsuz yönler Tablo 9’da verilmektedir. Bir sistem için uygun bakım-onarım politikasını seçilmesi için, sisteme uygulanabilirlik, sistem üzerinde yaratacağı verimlilik, getireceği maliyet ve sağlayacağı ekonomik faydalar bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Tablo 9. Bakım onarım çeşitlerinin başlıca olumlu ve olumsuz tarafları (U.S. DOE, 2010)

| | Olumlu Yönleri | Olumsuz Yönleri |
|------------------|---|---|
| Önleyici | <ul style="list-style-type: none"> • Yüksek bütçeli operasyonlarda maliyet kontrolü sağlanması • Esnekliği sayesinde bakım onarım periyotlarında değişiklik yapılabilmesi • Ekipmanların yaşam sürelerinin artması • Enerji tasarrufu • Arızaların azalması • Düzeltici bakıma göre %12-18 arası tasarruf | <ul style="list-style-type: none"> • Yıkıcı arızaların hala oluşabilmesi • Yoğun işgücü gerektirmesi • Bazı gereksiz bakım çalışmaları • Gereksiz bakım çalışmalarının parçalardaki kötü etkileri |
| Düzeltici | <ul style="list-style-type: none"> • Düşük başlangıç maliyeti • Daha az çalışan gereksinimi | <ul style="list-style-type: none"> • Planlanmamış arızalardan kaynaklı ek masraflar oluşması • Fazla çalışma saatleri sebebiyle işgücü maliyetlerinin artması • Parçaların tamir ve değiştirilme maliyetleri • İkincil sistemlerde ekstra |

| | | |
|---------------------------|---|--|
| | | arıza oluşması |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Personel yetenek ve gücünün elverişsiz kullanılması |
| Durum bazlı | <ul style="list-style-type: none"> • Ekipmanların yaşam sürelerinin artması • Birçok düzeltici programa fırsat sunması • Arıza sürelerinde azalma • Parça ve işgücü masraflarında azalma • Ürünlerde kalite artışı • İleri derece sağlık ve güvenlik şartları • Çalışan davranışlarında gelişme • Enerji tasarrufu • Düzeltici bakıma göre %12-18 arası tasarruf | <ul style="list-style-type: none"> • İzleme ve kontrol cihazları için ek masraflar • Çalışanların eğitimi için ek masraflar • Yapılan tasarrufun yönetim tarafından kolay fark edilmemesi |
| Güvenilirlik bazlı | <ul style="list-style-type: none"> • En verimli bakım onarım yöntemi olması • Gereksiz denetim ve bakımlardan kaynaklı masrafların ortadan kalkması • Bakım aralıklarının optimize edilmesi • Ani arıza ihtimallerinin azalması • En önemli parçalara odaklanmayı sağlaması • Güvenilirliğin geliştirilmesi • Temel neden analizini içermesi | <ul style="list-style-type: none"> • Eğitim ve ekipmanları kapsayan başlangıç maliyetinin yüksek olması • Yapılan tasarrufun yönetim tarafından kolay fark edilmemesi |

3. GEREÇ VE YÖNTEM

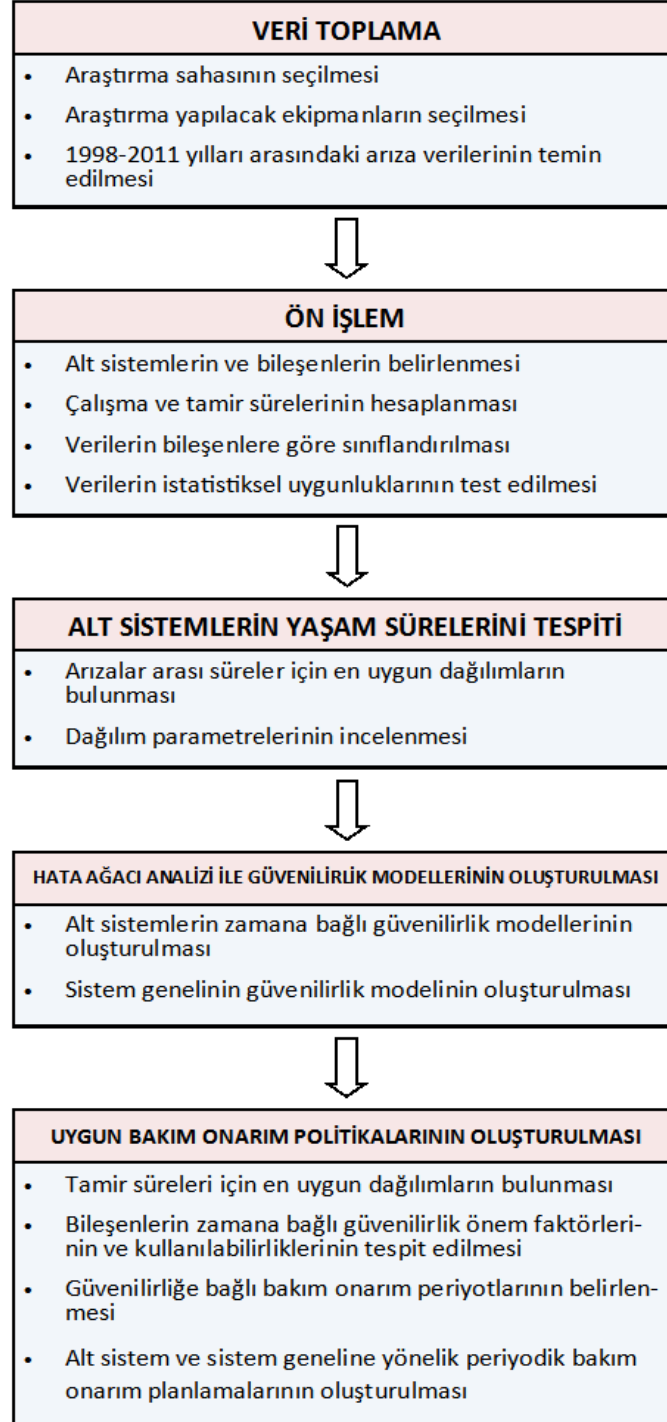
3.1 Giriş

Yürüyen çekme-kepçeli yerkazarların optimum verimliliği ve bakım-onarımı için sistem güvenilirliği modeli geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu proje başlıca beş aşamadan oluşmaktadır. Projenin ilk aşamasında çalışma sahası ve yerkazarların seçimi ve bunlara ait arıza verilerinin elde edilmesi; ikinci aşamada bu verilerin analizi ve yerkazarların sistem bileşenlerine ayrılması ve bu bileşenlerin birbiri ile olan ilişkilerinin saptanması; üçüncü aşamada arıza verilerinin dağılım davranışlarının test edilmesi ve alt sistemlere yönelik güvenilirlik analizleri; dördüncü aşamada alt sistemlerin ve sistemin bütünü hata ağacı analizleri ve yerkazarlarının alt sistemlerinin onarım süreleri dağılımlarının bulunması; ve beşinci ve son aşamada da güvenilirlik esasına dayalı bakım-onarım politikaları geliştirilmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Proje hedeflerine ulaşmak için izlenecek yöntem başlıca aşağıdaki aşamadan oluşmaktadır:

- (i) Sahadan makina arıza, tamir-bakım süresi, arıza çeşiti, gibi verilerin toplanması, (ii) Toplanan verilerin önışlem çalışması, (iii) Çekme-kepçeli yerkazarın sistem modelinin geliştirilmesi, (iv) Geliştirilen sistemin herbir bileşeni için güvenilirlik analizi yapılması, (v) Sistem güvenilirliğinin belirlenmesi, (vi) Hasar ağacı analizinin yapılması, ve (vii) Bakım onarım politikalarının geliştirilerek madencilik endüstrisinin hizmetine sunulması. Proje

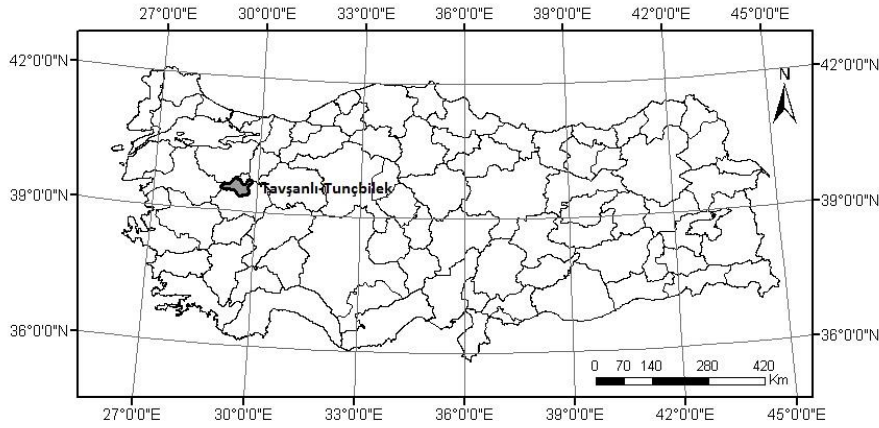
kapsamında, belirlenen çalışma alanında, aşağıda sıralanan aşamaların gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Her aşama projedeki iş paketlerinden bir ya da birkaçını tanımlamaktadır. İş paketlerinin genel olarak organizasyonu ve akım şeması Şekil 20’de verilmiştir. Projede izlenen yöntem ve gerçekleştirilen aşamaların detaylı içerikleri ve birbiri ile olan geçişleri dördüncü bölüm olan Bulgular ve Tartışma bölümünde etraflıca anlatılmıştır.



Şekil 20. Projede iş akım şeması

3.2 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak ülkemizde bulunan dokuz adet çekme-kepçeli yerkazardan ikisini bünyesinde barındıran Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'na bağlı Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Müessesesi Tunçbilek kömür ocağı seçilmiştir. GLİ Müessesesi Müdürlüğü'nde halen 4364 ruhsat no'lu Tunçbilek imtiyaz sahasında 1940 yılından beri üretim yapılmaktadır. Tunçbilek'teki 4364 no'lu imtiyaz sahası, Tavşanlı Domaniç karayolu üzerinde yer almakta olup, Tavşanlı'ya 13 km, Kütahya'ya 63 km uzaklıktadır. Sahaya ait yer bulduru haritası Şekil 21'de sunulmuştur. İmtiyaz sahası 13.477 hektar olup, işletilebilir rezerv açıkocak 70.419.000 ton, yer altı ise 264.304.000 ton toplam ise 334.723.000 ton'dur.



Şekil 21. Çalışma alanının yer bulduru haritası

3.2.1 Çalışma Alanının Jeolojisi

Tunçbilek kömür havzasında en yaşlı birim olarak Paleozoyik yaşlı Metamorfik şist ve kristalize kireçtaşları ile Paleozoyik üzerinde diskordant olarak kretase yaşlı ultrabazik kayalar bulunmaktadır. Paleosende granit intrüzyonu görülmektedir (Ayaydın, 1987). Tüm bu birimler Neojen yaşlı birimlerinin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerinde diskordan olarak bulunan Neojen, Miyosen (Tunçbilek serisi) ve Plitosen (Domaniç Serisi) ile temsil edilmektedir (Taksuk, 2010).

Miyosen; kumtaşı – konglomera, marn, kireçtaşı ve kumtaşı konglomera olmak üzere 4 birime ayrılmıştır. Pliyosen ise tüfit, kireçtaşı, bazalt ve kireçtaşı olmak üzere 4 birime ayrılmıştır. Miyosen ile Pliyosen arasında diskordansın varlığı şüphelidir. Havzada Miyosen yaşlı linyit oluşumları mevcuttur. Konglomera birimi içerisinde görülen mercekli linyit oluşumlarının devamlılıkları yoktur. Marn biriminin alt seviyelerinde görülen linyit oluşumu havzanın işletilebilir önemli yatağını meydana getirmektedir. Kumtaşı konglomera

birimlerinin içerisinde de yer yer ekonomik değeri olmayan merceksel linyit oluşumları mevcuttur (Taksuk, 2010).

Neojen havzasında yapısal olarak önemli olabilecek fay ve kıvrım eksenlerine rastlanılmamaktadır. Genelde havzanın belirli aralıklarla çökmesine bağlı olarak normal faylar gelişmiştir. Sahanın tektoniğine yönelik jeofizik-rezistivite ve kömürlü zonun tavan kotuna göre yapılan yapı-kontur haritalarında fayların genelde kuzey güney doğrultusunda geliştikleri gözlenmiştir. Tabaka eğimleri genelde 5-20° eğimle kuzey doğuya doğrudur. Başlangıç Neojen havzasında sakin olan tektonik faaliyet marn biriminin çökmesinden sonra Miyosen sonlarına doğru biraz hareketlenmiştir. Miyosen sonlarındaki hareketler ise, Tunçbilek serisi tabakalarının eğim açılarını yükseltmiş, yeni faylanmalar meydana getirmiştir. Miyosen sonlarıda başlayan volkanik faaliyet nedeniyle genişleyen havzada Domaniç serisi birimleri çökmüştür (Taksuk, 2010).

3.2.2 Çalışma Alanındaki Üretim ve Dekapaj Yöntemi

Türkiye linyit rezervinin yaklaşık olarak % 4,6'sını sınırları içerisinde bulunduran Tunçbilek'de yıllık yaklaşık 4.250.000 ton tüvenan linyit üretilmektedir. Bu üretimin %80'si açık ocaklardan sağlanmaktadır. GLİ Müessesesi Müdürlüğü açıkocak işletmelerinde kömür üretimi üst örtünün ekskavatör-kamyon ve çekme-kepçeli yer kazarlarla alınması ve kömürün hidrolik ve elektrikli ekskavatörlerle kazılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Dilimleri oluşturmak için çekme-kepçeli yerkazarların çalışması için panolar önceden ekskavatör-kamyon yöntemiyle örtü kazısı yapılmaktadır. Yıllık 25-26 milyon m³'ü işletme imkânlarıyla olmak üzere 60-65 milyon m³ dekapaj yapılmaktadır. Yıllık işletme 35-40 milyon m³ dekapaj ihalesi yapmaktadır.

Kömür ocağında çalıştırılan çekme-kepçeli iki yerkazarın model ve kepçe kapasiteleri sırasıyla Page 736 20 yd³ (15.30 m³) ve Marion 7820 40 yd³ (30.60 m³)'tür (Şekil 22). Bu iki makinaya ait teknik özellikler Tablo 10'da verilmiştir.



Şekil 22. GLİ'deki çekme-kepçeli yer kazarlar (a) Page 736 (b) Marion 7820

Tablo 10. Elektrikli yürüyen çekme-kepçeli yer kazarların teknik özellikleri

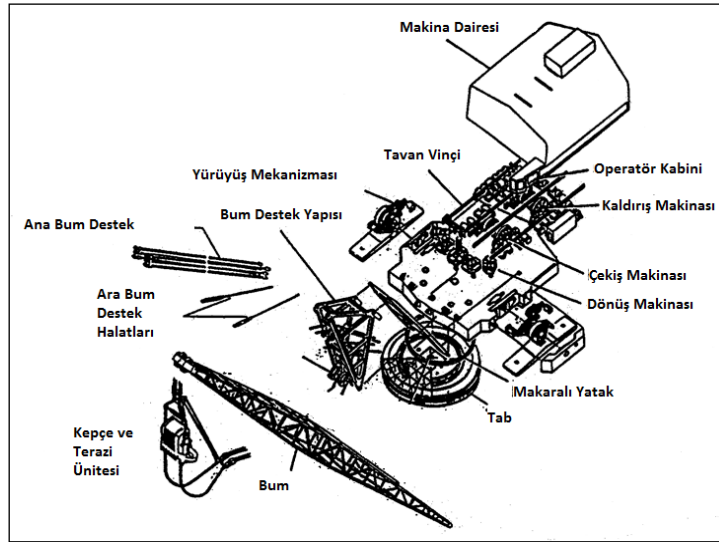
| | Page 736 | Marion 7820 |
|--|-----------|-------------|
| Yapımcı Ülke | ABD | ABD |
| Kepçe Hacmi (m ³ /yd ³) | 15.30/20 | 30.60/40 |
| Kepçe Ağız Eni (m) | 2.85 | 3.56 |
| Kepçe Diş Sayısı | 5 | 5 |
| Boş Kepçe Ağırlığı (kN) | 182.80 | 365.70 |
| Özgül Kepçe Koparış Enerjisi (kWh/m) | 2.30±0.75 | 3.95±0.86 |
| Kepçe Doluş Süresi (sn) | 12.48 | 16.95 |
| Bum Uzunluğu (m) | 62.5 | 72 |
| Bum Açısı (°) | 33 | 33 |
| Döküm Mesafesi (m) | 59 | 70 |
| Döküm Yüksekliği (m) | 29 | 32 |
| Kazı Derinliği (m) | 20 | 35 |
| Çalışma Ağırlığı (ton) | 795 | 1500 |
| Kazı Döngüsü (tur) (sn) | 55 | 57 |

3.2.3 Analizlerde Kullanılan Veri

Bu iki çekme-kepçeli yer kazara ait 1998-2011 tarihleri arasındaki günlük arıza ve bakım onarım verisi çalışma sahasından temin edilmiştir. Page 736 için toplam olan 1181 arıza verisi, Marion 7820 için toplam 1346 arıza verisi mevcuttur. Her iki veri seti de arızaların türü, arızaların açıklaması, arıza giriş-çıkış tarihleri ve bu tarihler arasındaki geçen arıza süresini içermektedir. Tablolardaki arıza sürelerine ait hesaplamalarda, çekme kepçelerin günlük 21 saat çalıştığı hesaba katılmış, aktif çalışmanın olmadığı zamanlar arıza sürelerine dâhil edilmemiştir. Arıza verilerine ek olarak makinelerin çözümlenmesinde kullanılmak üzere her iki makineye ait üretici firma tarafından geliştirilen makina parça katalogları da temin edilmiştir.

3.3 Çekme-Kepçeli Yerkazarın Çözülmesi

Çekme-kepçeli yerkazar açık ocak kömür madenciliğinde genellikle üst örtünün dekapajı için yaygınla kullanılan yüksek yatırım maliyetleri ve üretkenlikleri nedeni ile projenin ekonomik olurluğu açısından büyük önem arzeden yer kazar birimdir. Çekme-kepçeli yerkazarlar birbirleri ile bağlantılı çok sayıda mekanik ve elektrik aksamdan oluşan karmaşık sistemlerdir (Şekil 23). Şekil 23'de bir yerkazarı oluşturan ana bölümler gösterilmiştir. Modelden modele göre bu bölümlerde ufak tasarım değişiklikleri olabilir. Üst kısmı oluşturan bum, kepçe ve halat kombinasyonu, alt kısmı oluşturan göbek dişlisi, taşıyıcı bandaj ve yürüyüş mekanizması üstünde dönme hareketi yaparak dekapaj işlemini gerçekleştirirler.



Şekil 23. Marion 8200 çekme-kepçeli yerkazarın ayrıştırılmış halde bölümleri (Humphrey, 1990)

Bütün bir sistemin güvenilirliği bu sistemi oluşturan parçaların bileşenlerin güvenilirliklerine bağlı olduğundan, sistemi oluşturan bileşenlerin sistemin bütünü ile nasıl bağlantılı olduğunun ve arıza yapması durumunda sistemin performansını nasıl etkilediğinin bilinmesi gerekir. Herhangi bir sistem güvenilirliği çalışmasında sistemin çözülmesi ya da bileşenlerinin belirlenmesi çalışmanın en önemli ve ilk aşamasıdır.

Bu çalışmada çekme-kepçeli yerkazar birimlerinin çalışma prensipleri ve makina parça katalogları incelenmiş ve makina başlıca altı bölüme ayrılmıştır. Bunlar:

1. Çekiş ünitesi

2. Kaldırış ünitesi
3. Terazi ünitesi
4. Kepçe ünitesi
5. Bum ünitesi, ve
6. Yürüyüş ünitesi ve makina dairesi

olarak belirlenmiştir.

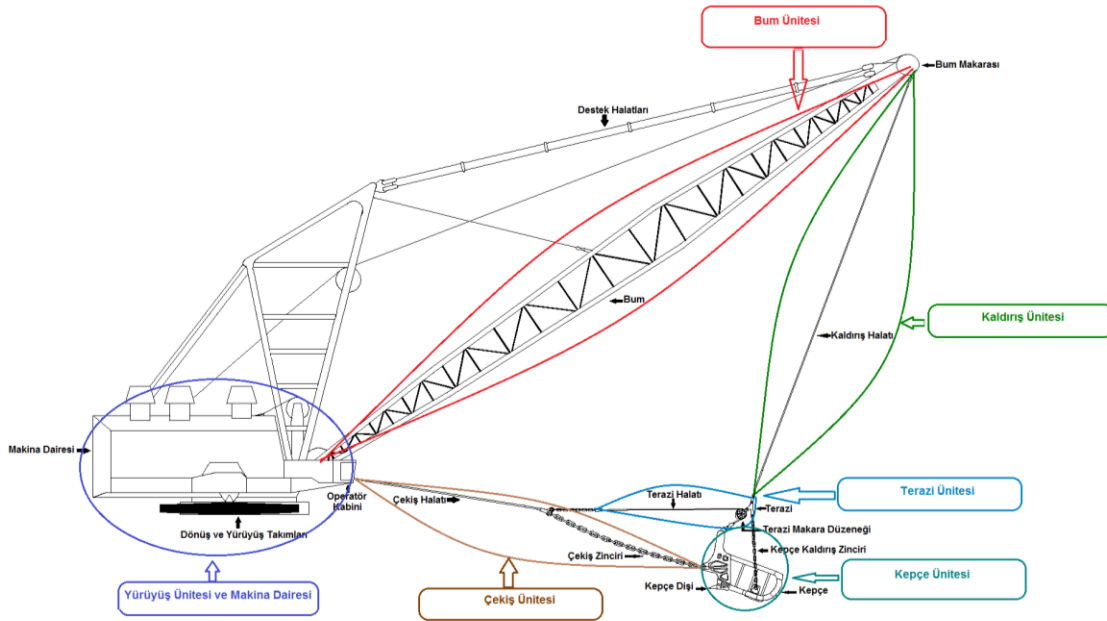
Çekiş ünitesi, yerkazarının kepçeyi kendisine doğru çekerek dolumunu sağladığı aşamayı gerçekleştiren makina elemanlarını içerir. Bu üniteye, çekiş zinciri, çekiş halatı, çekiş jeneratörü, çekiş motoru ve bunun gibi parçalar dahil edilebilir. Kaldırış ünitesi, dolu kepçeyi havaya kaldırmak için yararlanılan mekanik parçaları içerir. Kaldırış halatı, kaldırış freni, ve kaldırış motoru gibi elemanlar bu üniteye aittir. Terazi ünitesi, kepçenin denge merkezine destek konumunda olan, çekiş ve kaldırış üniteleri arasında bağlantı teşkil eden kısmı oluşturur. Kepçenin hemen üst tarafında konumlanan makara düzeneği ve terazi halatı bu ünite içerisinde yer alır. Kepçe ünitesi, yerkazarın zeminle temasını sağlayan ön uç elemanları içerir. Kepçenin ana gövdesi, ön kazıcı dişler, kepçeyi terazi ünitesine bağlayan zincirler ve bunların yardımcı elemanları, kepçe ünitesine dahildir. Bum ünitesi, askıda bekleyen dolu kepçenin, dönüş hareketiyle uzak bir mesafeye dökülmesini sağlayan birim elemanları içerir. Ana bum gövdesi ve kaldırış halatının geçtiği bum makara düzeneği bu ünite içerisinde yer almaktadır. Yürüyüş ünitesi ve makine dairesi bileşimi, yerkazarın kontrol merkezini barındıran ana platformu ve onun alt kısmında yer alan yürüyüş ve dönüş parçalarını kapsamaktadır. Dönüş ve yürüyüş takımları, bunlara ait ikaz mekanizması, yağlama sistemi, ana motor-jeneratör setleri, operatör kabini elemanları bu ünitenin içerisine girmektedir. Her ünitenin alt birimleri mekanik ve elektriksel olmak üzere iki çeşit arıza türünü barındırmaktadır.

Bu birimlerden herhangi biri arıza yaptığı durumda makinanın tamamı servis dışı kalmakta ve arıza onarılanaya kadar yerkazar çalıştırılmamaktadır. Bir diğer deyişle, sistem güvenilirliği açısından bütün bu ana bileşenlerin birbiri ile seri bağlı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 24). Makinayı oluşturan altı ana ünitenin alt bileşenleri de belirlenmiştir. Ana üniteler ve bunlara bağlı alt elemanlar aşağıdaki gibidir:

- Çekiş Ünitesi: çekiş zinciri ve mapası, çekiş halatı, çekiş jeneratörü, çekiş motoru, çekiş hortumu, mapa pimi, çekiş makarası, çekiş pistonu, şaft, limit anahtarı, çekiş freni ve valfi, çekiş balatası, kaplin, emniyet pimi, soket ve perno.

- Kaldırış Ünitesi: kaldırış halatı, kaldırış freni, kaldırış jeneratörü, kaldırış motoru, zincir pimi, kaplin civatası, kaldırış balatası ve kaldırış valfi.
- Terazi Ünitesi: terazi halatı, terazi halat soketi, terazi makara düzeneği, halat mapası, pim, civata, kama.
- Kepçe Ünitesi: kepçe dişi, kepçe pimi, kepçe zinciri ve mapası, kepçe aşık ve pimi, kepçe boyunduruğu, kepçe damağı, emniyet pimi, kepçe dili, soket ve civata.
- Yürüyüş Ünitesi ve Makina Dairesi: dönüş pistonu, dönüş freni, sağa-sola dönüş, fan motoru, motor muhafazası, dönüş şanzımanı, şaft, pinyon, yürüyüş freni, yürüyüş valfi, yürüyüş şanzımanı, ayak civataları, yağ tedarigi, ikaz jeneratörü, ikaz motoru, kaplin ayarı, ikaz trafosu, yağlama sistemi valfi, iskolit hortumu, iskolit pompası, gres pompası, gres hortumu, kompresör, jeneratör kömür ayarı, vinç bağlantı halatı ve kabin camı.

Bum ünitesi tek başına bir ünite olarak alt bileşenlerine ayrılmaksızın incelenmiştir.



Şekil 24. Çekme-Kepçeli yerkazarı oluşturan ana bileşenleri (Gurgenci ve Guan (2001)'dan sonra Türkçeleştirildi ve Düzenlendi)

Makinanın alt bileşenlerine ayrılması ve çözümlenmesi işlemi sırasında mevcut arıza verilerinden de faydalanılmış ve bu bileşenlerin birbiri ile seri bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bir başka deyişle, yukarıda sayılan üniteler ve bunlara bağlı olan alt birimlerin arıza yapması

durumunda makinanın tamamı servis dışı kalmaktadır. Bu çalışma ile birlikte güvenilirliği tahmin edilecek olan sistem çözümlenmiş ve güvenilirliğine etki eden birimler tanımlanmıştır.

3.4 Arızaların Makina Bileşenlerine Göre Sınıflandırılması

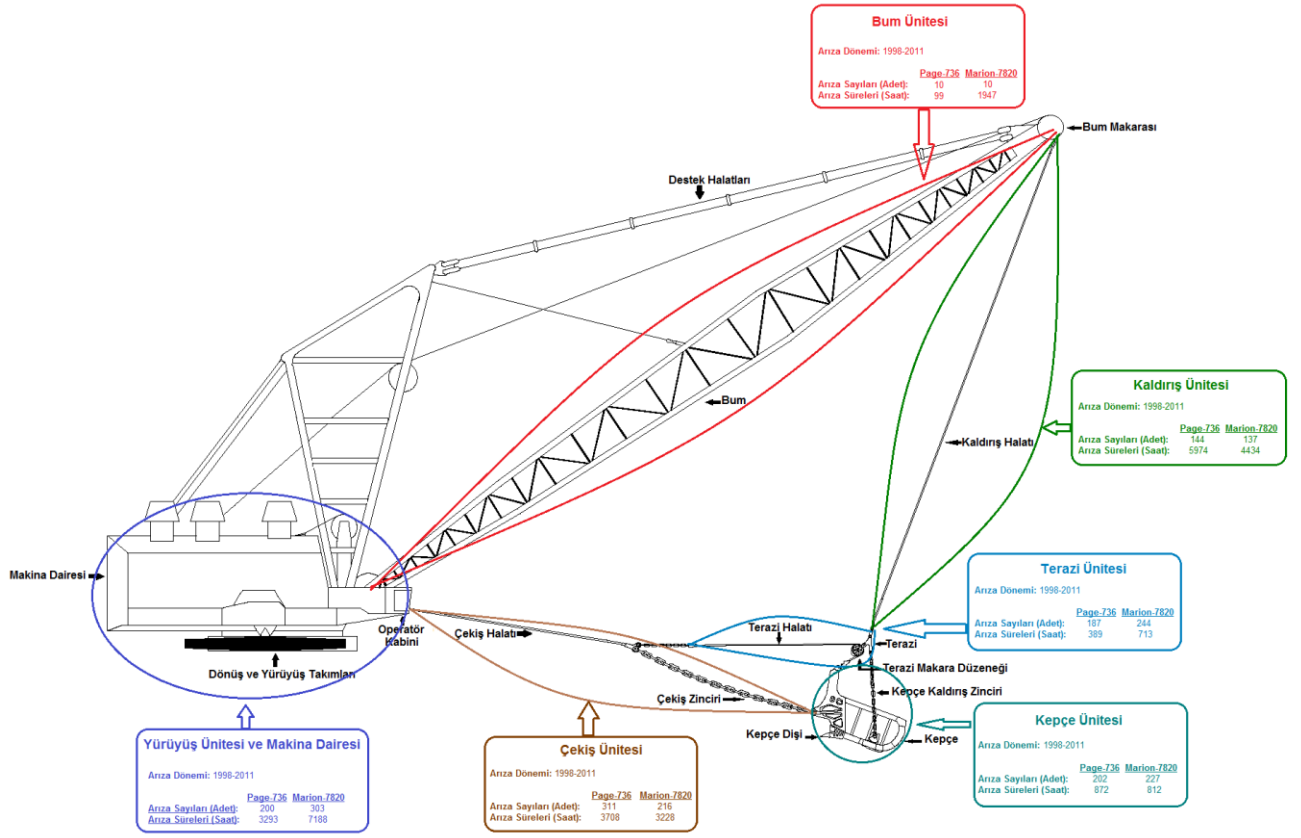
Makina bileşenleri tanımlandıktan ve makina çözümlenmesi tamamlandıktan sonra, 1998-2011 tarihleri arasında arıza ve bakım onarım kayıtlarından elde edilen veriler ile her iki makinanın arızaları sayısı ve süre bakımından kıyaslanmış, ayrıca her bir makina için, bu veriler makinanın bileşenlerine göre sınıflandırılmıştır. Tablo 11’de her iki makina için birimlerde meydana gelen arızalar sayısı ve süre olarak karşılaştırılmıştır. Tablo 12 ve 13’de sırasıyla Page 736 ve Marion 7820 için 1998-2011 tarihleri arasında kaydedilen arıza verilerinin sınıflandırmaları gösterilmiştir.

Buna göre en fazla arızaya neden olan birimin Page 736 için çekiş (30%), Marion 7820 için yürüyüş (27%) ünitesi olduğu, en uzun süre makina için servis dışı bırakan ünitelerin de Page 736 için kaldırış (42%), Marion 7820 için de yine yürüyüş (39%) ünitesi olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 11. Yerkazarlara ait arıza verilerinin birimlere göre karşılaştırılması

| Ünite | Page 736 | | Marion 7820 | |
|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | Sayı | Süre (sa) | Sayı | Süre (sa) |
| Çekiş | 311 | 3.708 | 216 | 3.228 |
| Kaldırış | 144 | 5.974 | 137 | 4.434 |
| Terazi | 187 | 389 | 244 | 713 |
| Kepçe | 202 | 872 | 227 | 812 |
| Bum | 10 | 99 | 10 | 1.947 |
| Yürüyüş | 200 | 3.293 | 303 | 7.187 |
| TOPLAM | 1054 | 14.335 | 1137 | 18.321 |

Arızaların süre ve sayısı olarak makina bileşenlerine göre sınıflandırılması Şekil 25’de gösterilmiştir.



Şekil 25. Arıza sayı ve sürelerinin çekme-kepçeli yerkazar ünitelerine göre sınıflandırılması

Tablo 12. Page 736 Çekme-kepçeli yerkarar arıza sınıflandırması

| Arıza Kodu | Arıza Türü | Açıklama | Arıza Adeti | Toplam Arıza Süresi (Saat) |
|--|------------|---------------------------|-------------|----------------------------|
| 1. ÇEKİŞ ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ ZİNCİRİ ve MAPASI | 101,0 | 457,7 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ HALAT | 143,0 | 713,9 |
| 3 | Elektrik | ÇEKİŞ JENERATÖR | 8,0 | 1079,5 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ JENERATÖR | 1,0 | 176,0 |
| 3 | Elektrik | ÇEKİŞ MOTOR | 17,0 | 905,8 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ MOTOR | 4,0 | 57,5 |
| 3 | Elektrik | ÇEKİŞ DİĞER* | 4,0 | 25,6 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ DİĞER* | 33,0 | 292,3 |
| | | | 311 | 3708,20 |
| *Çekiş Hortumu, Mapa ve Mapa Pimi, Çekiş Makarası, Çekiş Pistonu, Şaft, Limit Switch, Çekiş freni ve Valfi, Çekiş Balatası, Kaplin, Emniyet Pimi, Soket, Perno | | | | |
| 2. KALDIRIŞ ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ HALAT | 70,0 | 675,0 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ FREN | 20,0 | 60,4 |
| 3 | Elektrik | KALDIRIŞ JENERATÖR | 16,0 | 2763,7 |
| 3 | Elektrik | KALDIRIŞ MOTOR | 20,0 | 1863,6 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ MOTOR | 2,0 | 42,3 |
| 3 | Elektrik | KALDIRIŞ DİĞER* | 11,0 | 553,9 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ DİĞER* | 5,0 | 15,0 |
| | | | 144 | 5973,89 |
| * Zincir Pimi, Kaplin Civatası, Kaldırış Balatası, Kaldırış Valfi | | | | |
| 3. TERAZİ ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | TERAZİ HALAT | 106,0 | 230,7 |
| 7 | Mekanik | TERAZİ HALAT SOKETİ | 29,0 | 60,4 |
| 7 | Mekanik | TERAZİ MAKARA DÜZENLEĞİ | 30,0 | 59,7 |
| 7 | Mekanik | TERAZİ DİĞER * | 22,0 | 37,8 |
| | | | 187 | 388,73 |
| * Halat Mapası, Pim, Civata, Kama | | | | |
| 4. KEPÇE ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | KEPÇE DİŞ | 45,0 | 253,0 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE PİM | 19,0 | 26,2 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE ZİNCİR ve MAPA | 33,0 | 70,9 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE AŞIK VE PİMİ | 33,0 | 69,0 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE DİĞER* | 72,0 | 452,6 |
| | | | 202 | 871,67 |
| * Kepçe Değişimi, Kepçe Boyunduruğu, Kepçe Damağı, Eminet Pimi, Kepçe Dili, Soket, Civata, Kaynak İşleri | | | | |
| 5. BUM ÜNİTESİ | | | | |
| 3 | Elektrik | BUM | 0,0 | 0,0 |
| 7 | Mekanik | BUM | 10,0 | 99,0 |
| | | | 10 | 99,00 |
| 6. YÜRÜYÜŞ ÜNİTESİ VE MAKİNA DAİRESİ | | | | |
| 3 | Elektrik | DÖNÜŞ* | 26,0 | 433,5 |
| 7 | Mekanik | DÖNÜŞ* | 23,0 | 377,2 |
| 3 | Elektrik | YÜRÜYÜŞ TAKIMLARI** | 16,0 | 213,9 |
| 7 | Mekanik | YÜRÜYÜŞ TAKIMLARI** | 22,0 | 877,2 |
| 3 | Elektrik | İKAZ*** | 24,0 | 649,9 |
| 7 | Mekanik | İKAZ*** | 10,0 | 224,6 |
| 3 | Elektrik | YAĞLAMA SİSTEMİ**** | 4,0 | 2,6 |
| 7 | Mekanik | YAĞLAMA SİSTEMİ**** | 54,0 | 107,6 |
| 3 | Elektrik | M-G SET (Motor-Jeneratör) | 8,0 | 342,4 |
| 7 | Mekanik | M-G SET (Motor-Jeneratör) | 1,0 | 4,3 |
| 3 | Elektrik | DİĞER***** | 2,0 | 23,5 |
| 7 | Mekanik | DİĞER***** | 10,0 | 36,5 |
| | | | 200 | 3293,10 |
| * Dönüş Pistonu, Dönüş Freni, Sağa-Sola Dönüş, Fan Motoru, Motor Muhafaza, Şanzıman, Şaft, Pinyon | | | | |
| ** Yürüyüş Freni, Yürüyüş Valfi, Şanzıman, Ayak Civataları, Yağ Tedariği | | | | |
| *** İkaz jeneratörü, İkaz Motoru, Kaplin Ayarı, İkaz Trafosu | | | | |
| **** Valf, İskolit Hortumu, İskolit Pompası, Gres Pompası, Gres Hortumu, Kompresör | | | | |
| ***** Jeneratör Kömür Ayarı, Vinç Bağlantı Halatı, Kabin Camı | | | | |

Tablo 13. Marion 7820 Çekme-kepçeli yerkazar arıza sınıflandırması

| Arıza Kodu | Arıza Türü | Açıklama | Arıza Adeti | Toplam Arıza Süresi (Saat) |
|-------------------------|------------|-----------------------|-------------|----------------------------|
| 1. ÇEKİŞ ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ ZİNCİRİ ve PİMİ | 71,0 | 253,3 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ HALAT | 51,0 | 275,4 |
| 3 | Elektrik | ÇEKİŞ JENERATÖR | 9,0 | 1342,7 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ JENERATÖR | 3,0 | 345,0 |
| 3 | Elektrik | ÇEKİŞ MOTOR | 5,0 | 308,3 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ MOTOR | 7,0 | 172,8 |
| 3 | Elektrik | ÇEKİŞ DİĞER* | 27,0 | 182,3 |
| 7 | Mekanik | ÇEKİŞ DİĞER* | 43,0 | 347,6 |
| | | | 216 | 3227,50 |

*Çekiş Fren Valfi, Fren Balatası, Limit Switch, Soket Üçgeni, Şanzuman, Tambur Dişliği, Çekiş Kavrama, Çekiş Tamburu

| | | | | |
|----------------------------|----------|--------------------|------------|----------------|
| 2. KALDIRIŞ ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ HALAT | 32,0 | 396,2 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ FREN | 26,0 | 116,0 |
| 3 | Elektrik | KALDIRIŞ JENERATÖR | 11,0 | 2022,5 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ JENERATÖR | 10,0 | 568,0 |
| 3 | Elektrik | KALDIRIŞ MOTOR | 6,0 | 321,3 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ MOTOR | 5,0 | 419,3 |
| 3 | Elektrik | KALDIRIŞ DİĞER* | 33,0 | 219,3 |
| 7 | Mekanik | KALDIRIŞ DİĞER* | 14,0 | 371,5 |
| | | | 137 | 4434,09 |

*Kaldırış Tamburu, Şansuman, Kaldırış Rulmanı, Motor Kaplini, Genel Arızalar

| | | | | |
|--|---------|------------------------|------------|---------------|
| 3. TERAZİ ÜNİTESİ (KALDIRIŞ Ünitesine Dahil Edilebilir) | | | | |
| 7 | Mekanik | TERAZİ HALAT | 186,0 | 582,2 |
| 7 | Mekanik | TERAZİ HALAT SOKETİ | 10,0 | 13,2 |
| 7 | Mekanik | TERAZİ MAKARA DÜZENEGİ | 48,0 | 117,9 |
| | | | 244 | 713,25 |

| | | | | |
|-------------------------|---------|----------------------|------------|---------------|
| 4. KEPÇE ÜNİTESİ | | | | |
| 7 | Mekanik | KEPÇE DİŞ | 64,0 | 103,6 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE PİM | 27,0 | 41,1 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE ZİNCİR ve MAPA | 32,0 | 101,5 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE AŞIK VE PİMİ | 21,0 | 66,7 |
| 7 | Mekanik | KEPÇE DİĞER* | 83,0 | 499,2 |
| | | | 227 | 812,08 |

*Kepçe Pernosu, Kaynak İşleri, Boyunduruk Pimi, Üçgen Pim, Kepçe Kulağı, Kepçe Değişimi

| | | | | |
|-----------------------|----------|-----|-----------|----------------|
| 5. BUM ÜNİTESİ | | | | |
| 3 | Elektrik | BUM | 1,0 | 1,0 |
| 7 | Mekanik | BUM | 9,0 | 1945,6 |
| | | | 10 | 1946,58 |

| | | | | |
|---|----------|---------------------------|---------------|----------------|
| 6. YÜRÜYÜŞ ÜNİTESİ VE MAKİNA DAİRESİ | | | | |
| 3 | Elektrik | DÖNÜŞ* | 27,0 | 945,0 |
| 7 | Mekanik | DÖNÜŞ* | 24,0 | 289,2 |
| 3 | Elektrik | YÜRÜYÜŞ TAKIMLARI** | 2,0 | 5,0 |
| 7 | Mekanik | YÜRÜYÜŞ TAKIMLARI** | 68,0 | 3869,3 |
| 3 | Elektrik | İKAZ | 15,0 | 149,7 |
| 7 | Mekanik | İKAZ | 4,0 | 20,3 |
| 3 | Elektrik | YAĞLAMA SİSTEMİ*** | 18,0 | 106,1 |
| 7 | Mekanik | YAĞLAMA SİSTEMİ*** | 88,0 | 480,9 |
| 3 | Elektrik | M-G SET (Motor-Jeneratör) | 18,0 | 730,6 |
| 7 | Mekanik | M-G SET (Motor-Jeneratör) | 23,0 | 198,4 |
| 3 | Elektrik | DİĞER**** | 4,0 | 10,8 |
| 7 | Mekanik | DİĞER**** | 12,0 | 382,2 |
| | | | 303,00 | 7187,42 |

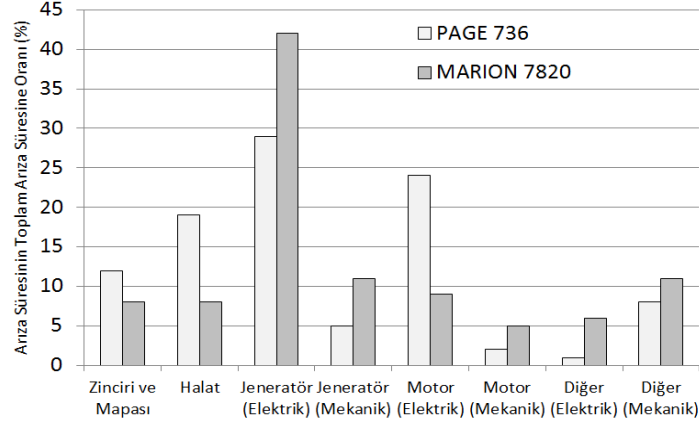
* Dönüş Fan Motoru, Dönüş Anahtarı, Dönüş Freni, Sağ-Sol Dönüş Motorları, Yağlama İşlemleri

** Yürüyüş Kavraması, Şanzuman, Kalpin, Civata, Rulman, Yürüyüş Freni, Krank Montajı

*** Yağ Pompası, Gres Yağlama, Kompresör, Yağlama Hortumu, Valf, Hava Kaçağı

**** Rulmanı, Krank Burç, Şase Lambası, Kumanda Tesisatı

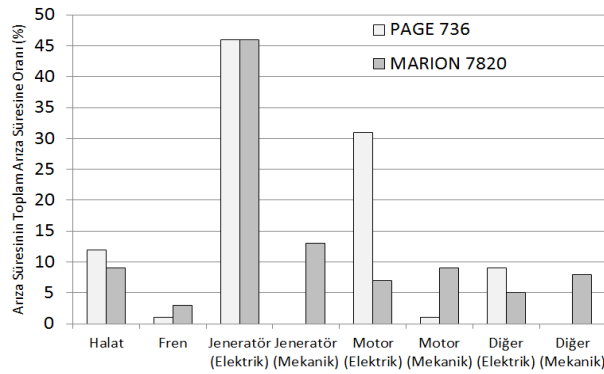
Ayrıca ünitelerdeki her bir alt bileşene ait arıza verisi süre olarak incelenmiştir ve sınıflandırılmıştır. Şekil 26'da görüldüğü gibi çekiş ünitesinde her iki makina için de çekiş jeneratörünün elektrik arızalarının yoğunluktadır. Bu arızalar Marion 7820'de Page 736'ya göre %13 daha fazladır.



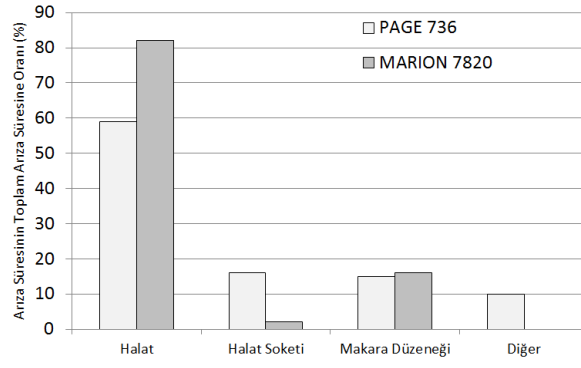
Şekil 26. Çekiş ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı

Şekil 27'de kaldırış ünitesindeki arızaların her iki makina için de yaklaşık yarısına yakınının (% 46) jeneratördeki elektrik arızalarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu arıza her iki makinada da aynı oranda kaldırış ünitesinin servis dışı kalmasına neden olmaktadır. Bir diğer önemli nokta da, Marion 7820'de jeneratördeki mekanik arızalar toplam arıza süresinin %13'ünü oluştururken, Page 736'da böyle bir arıza gözlenmemiştir.

Terazi ünitesindeki arızadan dolayı geçen kayıp sürenin her iki makina için de yoğun olarak halatlardan dolayı olduğu Şekil 28'de görülmektedir. Marion 7820'de halatlardan dolayı gerçekleşen kayıp zaman Page 736'ya göre % 23 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

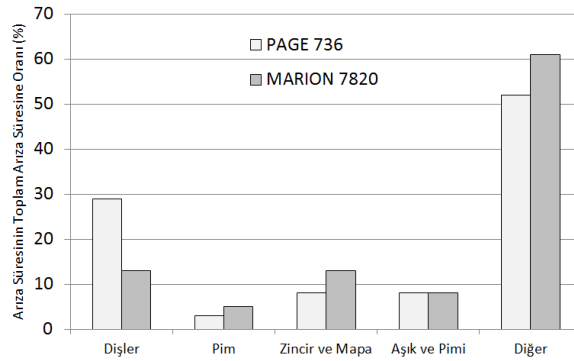


Şekil 27. Kaldırış ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı



Şekil 28. Terazi ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı

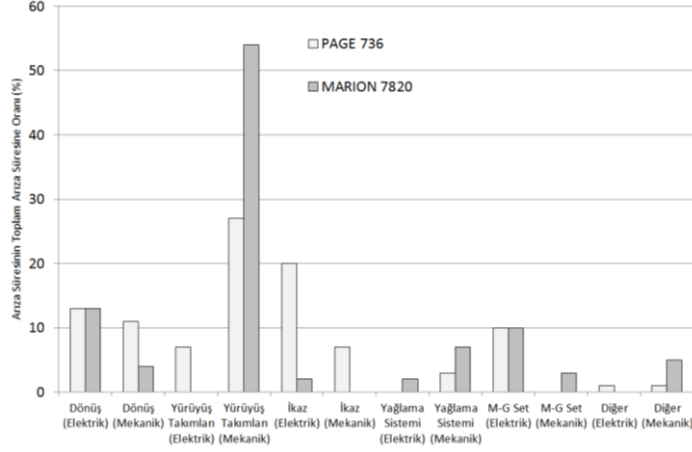
Kepçe ünitesindeki arızalar genel olarak dişler, pim, zincir ve mapa, aşık ve aşık pimi olarak sınıflandırılmıştır. Ancak bazı arızalar sayı olarak az olmasına rağmen süre olarak kayıp zamanın büyük bir kısmından sorumlu olduğu görülmüştür. Diğer diye sınıflandırılan bu arızalar kepçe değişimi, kepçe boyunduruğu, kepçe damağı, kepçe aşığı, kepçe dili, soket, civata ve kaynak işlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Şekil 29 kepçe ünitesinde meydana gelen kayıp zamanların kepçe elemanlarına göre yüzde olarak dağılımını göstermektedir. Bunda da yalnızca dişlerle ilgili meydana gelen kayıp zamanın Page 736'da diğer makinaya göre daha fazla olduğu, diğer arıza gruplarında Marion 7820'dan daha az kayıplar olduğu görülmüştür.



Şekil 29. Kepçe ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı

Yürüyüş ünitesinde ve makina dairesinde meydana gelen arızalar ve bunlara bağlı kayıplar dönüş mekanizması, yürüyüş takımları, ikaz sistemi, yağlama sistemi, motor-jeneratör (M-G) seti ve diğer diye sınıflandırılmıştır. Bunlar da kendi içlerinde mekanik ve elektrik bazlı arızalar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yürüyüş ünitesi ve makina dairesinde meydana gelen kayıpların her iki makina için de daha çok yürüyüş takımlarında meydana gelen mekanik

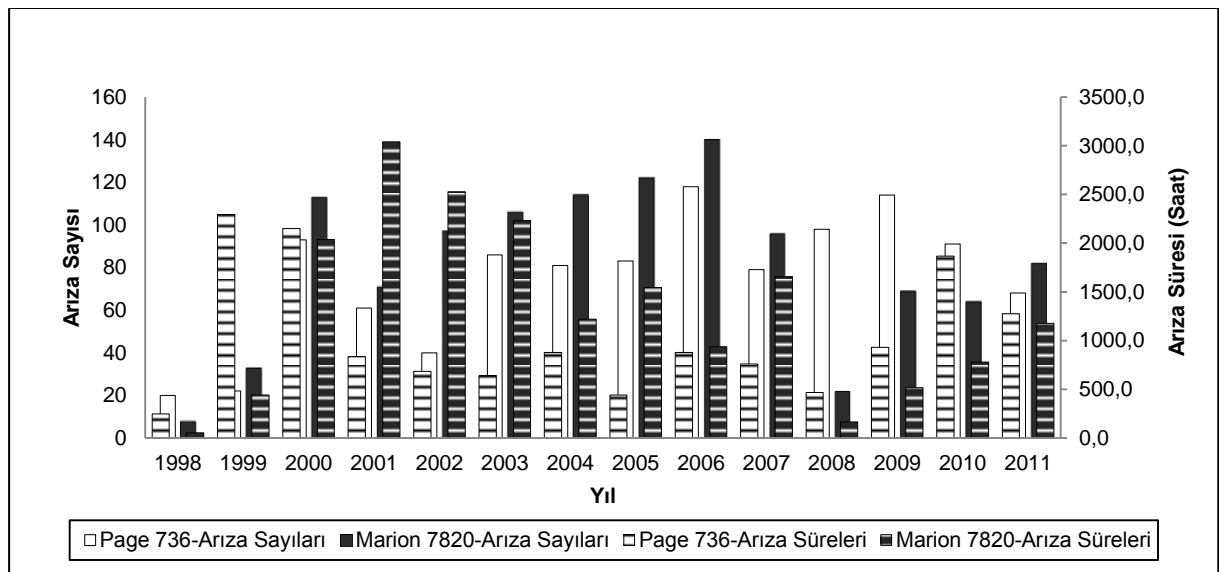
arızalardan dolayı olduğu Şekil 30'da görülmektedir. Bu arıza grubunda da Page 736, Marion 7820'ye göre % 27 daha az kayıpa neden olmaktadır. Bunun nedeni olarak da arazide Marion 7820'nin çalıştığı dilimin jeolojik açıdan ve zemin özellikleri bakımından daha farklı bir yapıya sahip olması olarak açıklanabilir.



Şekil 30. Yürüyüş ünitesindeki arızaların toplam arıza süresine oranı

3.5 Arızaların Yıllara Göre Dağılımları

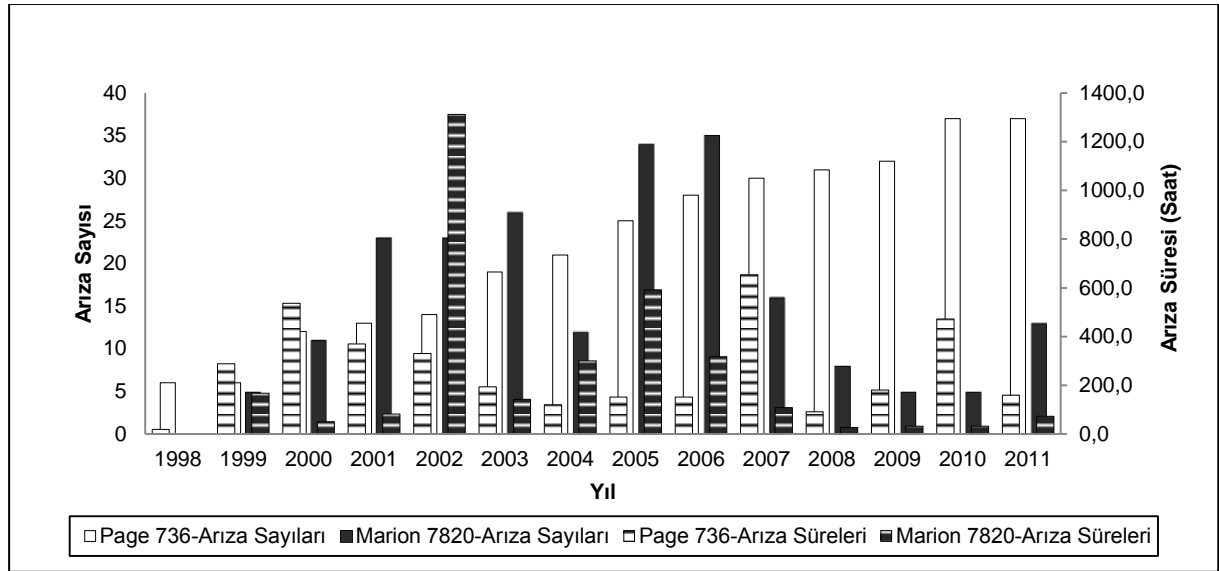
Yıllara göre arıza sayılarının ve süre dağılımının belirlenmesi, çekme kepçelerin yıllık bakım ve gider tahminlerinin yapılması açısından önem teşkil etmektedir. Şekil 31'de, her iki çekme kepçeli yer kazar için, 1998-2011 yılları arasındaki arıza süre ve sayılarının dağılımlarını gösterilmektedir.



Şekil 31. Page 736 ve Marion 7820 için yıllara göre arıza sayı ve sürelerinin dağılımı

Page 736 ve Marion 7820, 13 yıllık aktif çalışma süreleri içerisinde, sırasıyla 1181 ve 1346 adet arıza yaşamışlardır. Bu arızalar, Page 736'nın 14335 saat, Marion 7820'nin ise toplam 18321 saat duraksamasına ve dolayısıyla örtü kazı faaliyetinin durmasına yol açmıştır. Bu zaman zarfında, Page 736'de sekiz adet, Marion 7820'de ise 21 adet revizyon ve bakım çalışması gerçekleştirilmiştir. Page için 2002 ve 2011, Marion için ise 1998, 2000, 2004, 2008, 2009 ve 2010 tarihlerinde yapılan bu geniş çaplı yenileme çalışmalarıyla, arızalarının bu seneler içerisinde azalmasını sağlamıştır (Şekil 31). Arıza dağılımlarının ünite bazlı incelenebilmesi için Şekil 12–17 arasındaki grafiklerden yararlanılabilir.

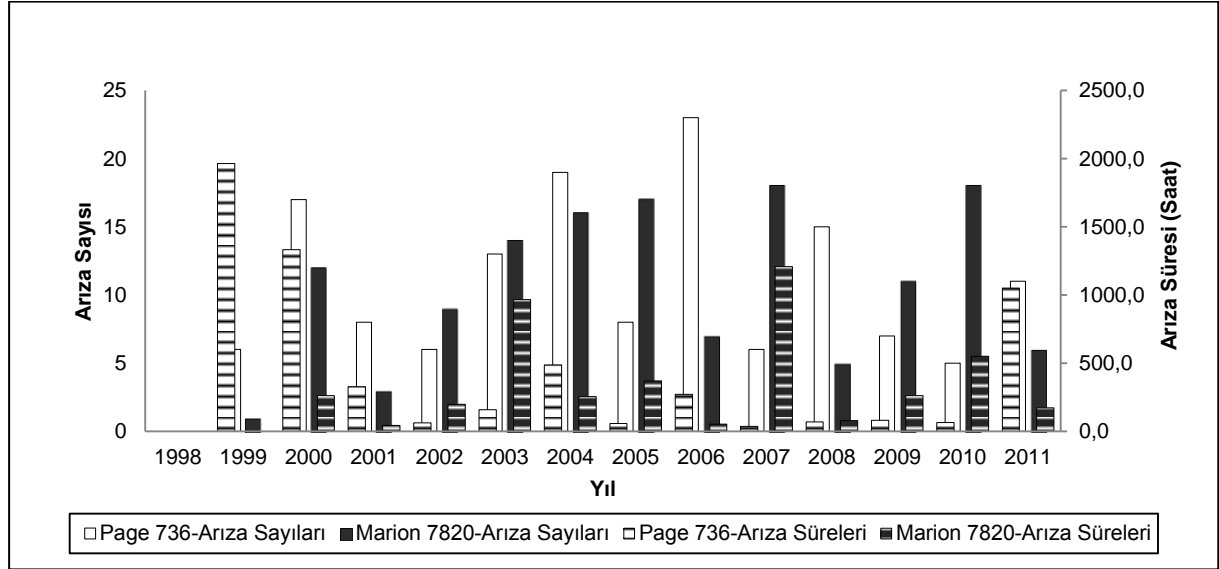
Kepçenin ana gövdeye doğru çekilerek dolma işleminin gerçekleşmesini sağlayan çekiş ünitesine ait arıza dağılım grafiği Şekil 12'de verilmektedir. Bu grafik, Page 736 için 311, Marion 7820 için 216 adet arızayı barındırmaktadır. Bu ünitenin elemanlarından kaynaklı arızalar, Page 736 için 3708 saat, Marion 7820 için 3228 saatlik duraksamaya sebep olmuştur. Şekil 32'den anlaşılacağı gibi, Page 736 çekiş ünitesi, arıza adeti olarak düzenli bir artış göstermektedir. Marion 7820 ise yıllar içerisinde artan fakat son yıllara doğru azalan bir arıza adeti grafiği izlemektedir. Arıza süreleri her iki makine için değişkenlik göstermektedir. Page 736 en büyük duraksamayı 2007, Marion 7820 ise 2002'de yaşamıştır.



Şekil 32. Çekiş ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları

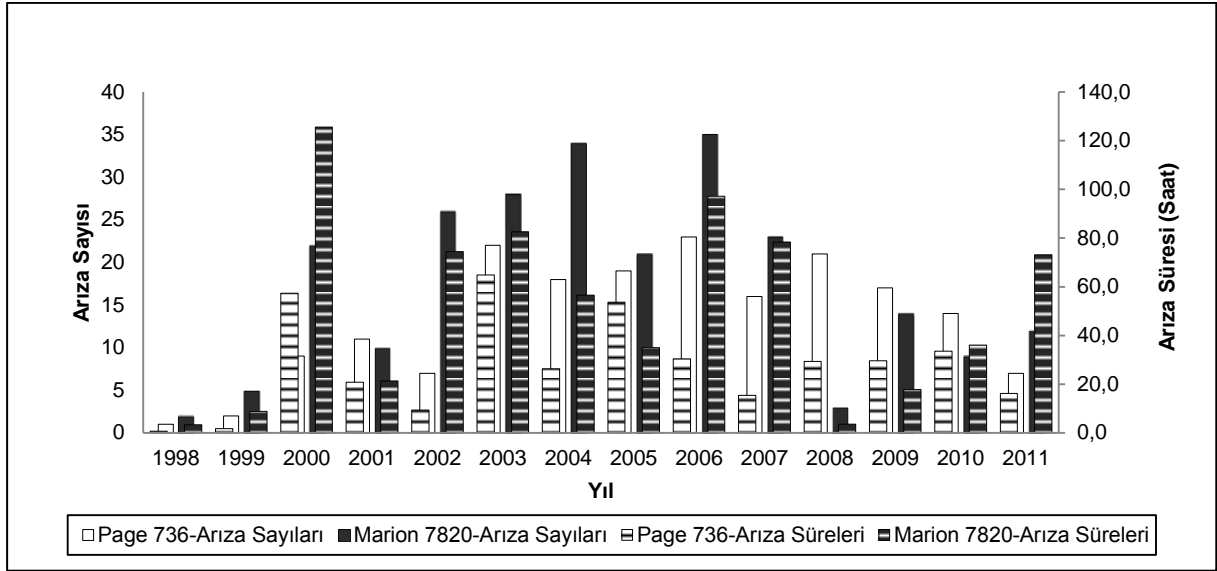
Çekiş ünitesinin işlevini yerine getirmesiyle dolumunu tamamlamış olan kepçenin, yükünü başka bir alana dökebilmesini sağlayan kaldırış ünitesi, gerek kepçe ve yükünün ağırlığı, gerekse devinimsizlik hareketinin verdiği fazladan yüklenmeyle çeşitli arızalara maruz

kalabilmektedir. Bu gibi nedenlerden ötürü, Page 736'da 144 defa, Marion 7820'de ise 137 defa kaldırış ünitesi elemanlarında arızalar yaşanmış, sırasıyla 5974 ve 4434 saat örtü kazı operasyonuna ara verilmiştir. Bu üniteye ait arıza verileri yıllara göre doğrusal olmayan bir dağılım sergilemekle birlikte, kaldırış ünitesinden kaynaklı arızalarda Page en uzun duraksamayı 1999, Marion ise 2010 yılında göstermektedir (Şekil 33).



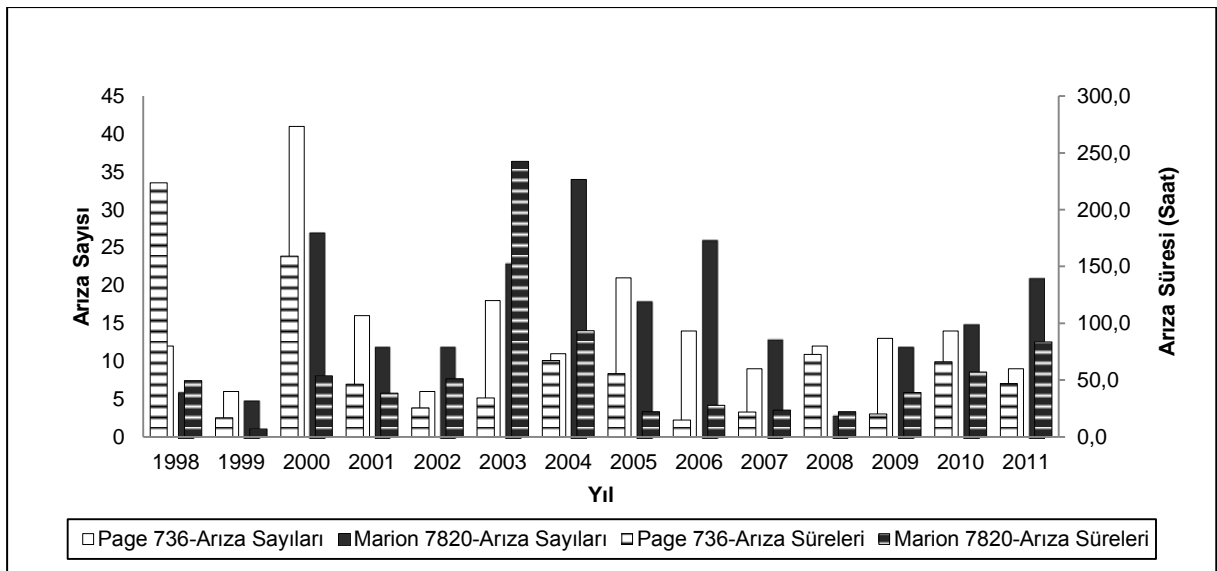
Şekil 33. Kaldırış ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları

Dolu kepçenin dökümünün yapılabilmesi için kepçenin dengeli şekilde havada asılı kalması gerekmektedir. Bu tarz bir dengeyi sağlanabilmesini sağlayan, çekiş ve kaldırış halatları arasında bağlantı kurarak kepçe ağızının yukarı-aşağı hareketini ve dolayısıyla yükü boşaltmasını sağlayan terazi ünitesinde, Page 736 yerkazarı 187, Marion 7820 ise 244 adet arıza yaşamıştır. Bu arızalar sırasıyla 339 ve 713'er saat örtü kazı faaliyetini sekteye uğratmıştır. Marion terazi ünitesi için arıza süresi 2000 yılında azami seviyeye çıkmış, revizyondan dolayı 2008'de minimum seviyeye inmiş ama sonraki yıllarda yükselişini sürdürmüştür (Şekil 34). Page 736 terazi ünitesi arıza sayıları, yıllara göre dağınık bir grafik izlemekle birlikte, 2011'e doğru azalan bir eğilim göstermektedir.



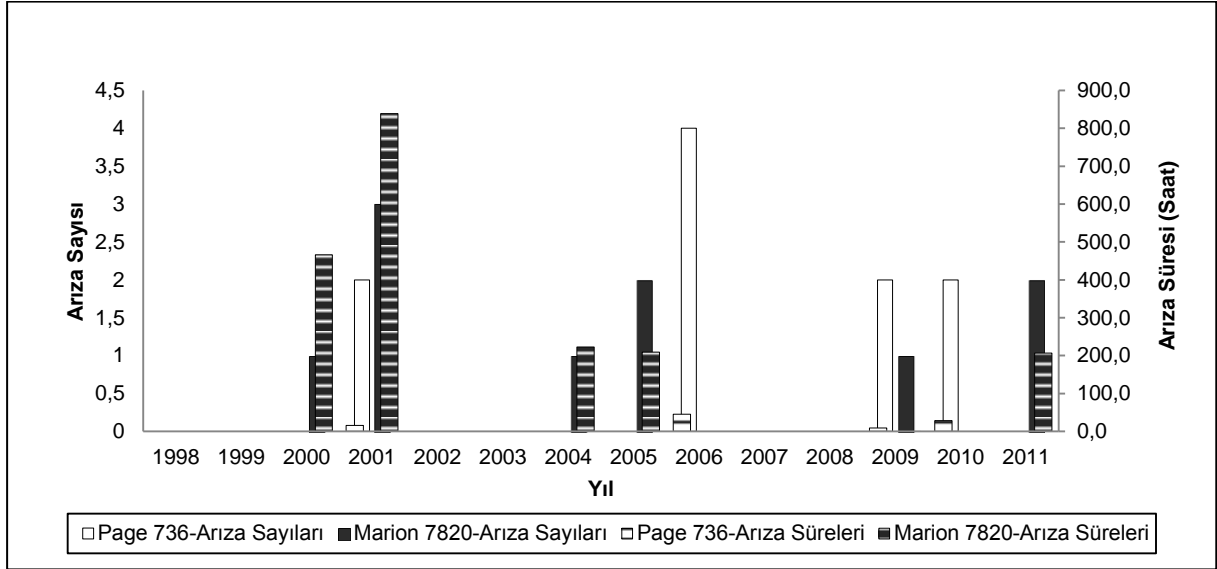
Şekil 34. Terazi ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları

Örtü kazı faaliyetinin gerçekleştiği, zeminle temasın kurulduğu bölge olan kepçe ünitesi, makinada oluşan gerilimlerin en yoğun olduğu yerdir. Çoğunlukla ön kazıcı dişlerin kırılmasının yaşandığı bu ünite, Page 736 için 202 arıza, Marion 7820 için 227 arıza tespit edilmiştir. Şekil 35'de görüldüğü gibi, Page kepçe ünitesinde en çok zaman kaybı 224 saatle 1998 yılında yaşanmış, Marion için ise 2003 yılında 243 saat kepçe ünite elemanlarından kaynaklı zaman kayıpları tespit edilmiştir.



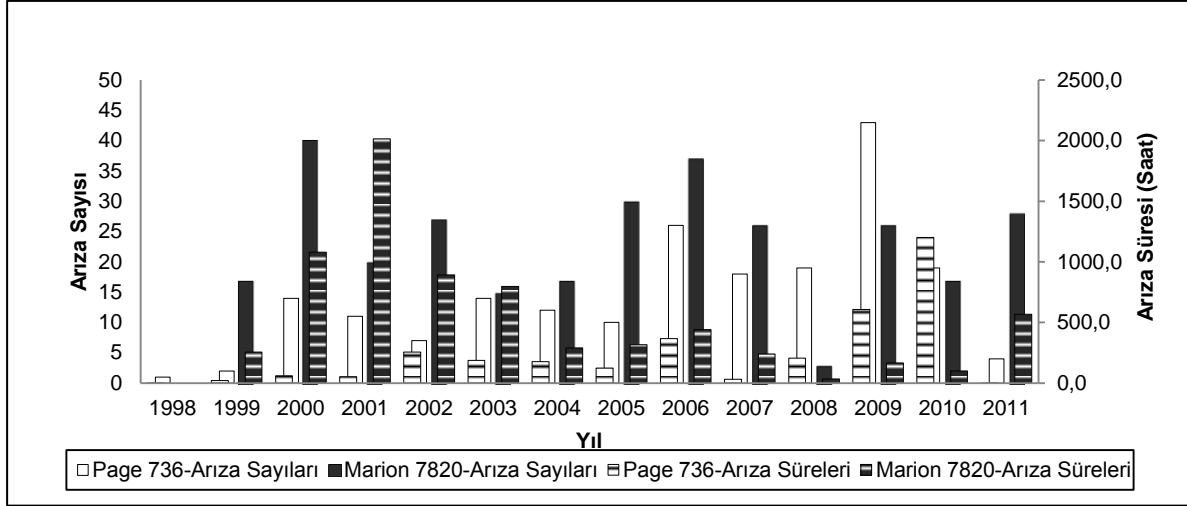
Şekil 35. Kepçe ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları

Kaldırış halatının geçtiği bum makarası, bum ünitesinin en çok sorun yaratan parçası olup, özellikle Marion 7820 için geniş zamanlı duraksamalara neden olmuştur. 13 senelik periyod içerisinde her iki çekme kepçe için 10'ar adet arıza saptanmış, Page 736 için 99, Marion 7820 için 1947 saat bum ünitesinden kaynaklı duraksamalar yaşanmıştır. Şekil 36'da belirtildiği gibi, Marion en uzun süreli duraksamayı 840 saatle 2001 yılında göstermiştir.



Şekil 36. Bum ünitesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları

Çekme kepçelerin yürüyüş ve dönüşünü sağlayan parçalar, makinanın aşırı ağırlığı karşısında sıkıntılar yaratabilmektedir. Aynı zamanda, çekiş ve kaldırış gibi ana işlevlerin gerçekleştirilmesini sağlayan motor ve jeneratörlerin bağlı olduğu ana motor de geniş duraksamalı arızalara neden olmaktadır. Şekil 37'de gösterildiği gibi, Marion 7820 bu üniteden kaynaklı duraksama süreleri 2000-2003 arası yoğunlaşmaktadır. Page 736 için ise son yollara doğru, 2009-2010 arası, arıza süresi yoğunluğu yaşanmaktadır.



Şekil 37. Yürüyüş ünitesi ve makina dairesine ait arıza sürelerinin ve sayılarının yıllık dağılımları

3.6 Saha Çalışması

Elde edilen verilerin ve yapılan ön işlemlerin doğruluğunu teyid etmek için Kütahya Tunçbilek'deki GLİ açık ocak işletmesine bir teknik gezi düzenlenmiştir. Gezi kapsamında Açık Ocak İstihsal Şube Müdürü Mehmet Taksuk ile görüşülmüş ve projedeki gelişmeler aktarılmıştır. Yapılan makina çözümlemesinin ve verinin sınıflandırılmasının işletmedeki uygulamalarla tutarlı olduğu doğrulanmıştır. Gezi kapsamında ayrıca yerkarar üretiminde önde gelen üretici firma olan P&H'in Türkiye temsilcileri ile de görüşülerek projedeki gelişmeler aktarılmış, karşılıklı görüş alışverişinde bulunulmuştur. Saha çalışması önümüzdeki dönemlerde arızalar arası süre histogramlarının doğrulanması, güvenilirlik analizi sonuçlarının doğrulanması ve geliştirilen optimum bakım-onarım planlarının uygulanması için önümüzdeki dönemlerde daha yoğun bir şekilde devam edecektir. Arazi gezisine ait bir fotoğraf Şekil 38'de sunulmaktadır.



Şekil 38. Proje ekibinin arazi gezisinden bir görüntü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Bulgular ve tartışma bölümünde projeleri çalışmaları sırasında gerçekleştirilen veri ön işleme ve veri analizleri çalışmaları, güvenilirlik analizleri, çekme-kepçeli yerkazar sistemlerinin alt bileşenlerinin arıza davranışlarının incelenmesi, hata ağacı analizleri ve bakım-onarım politikalarının geliştirilmesi çalışmaları sunulmuştur.

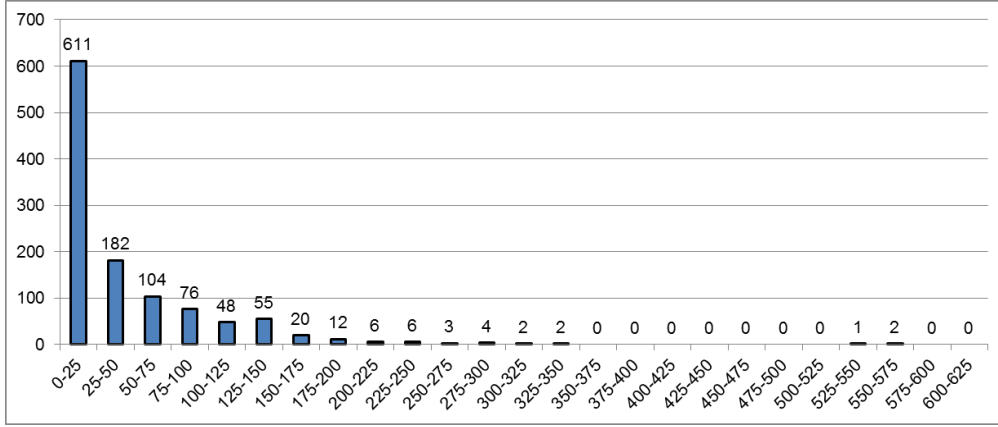
4.2 Arızalar Arası Sürenin Hesaplanması

Bir sistemin güvenilirliği, birbirini takip eden Arızalar Arası Süre (AAS)'nin analizine dayanmaktadır. AAS'nin ya da seçilen sistemin yaşam süresinin deterministik olarak tanımlanamaması nedeniyle bu süreler rassal birer değişkendir. Dolayısıyla sistem güvenilirliği, AAS rassal değişkenine bir olasılık fonksiyonu atanarak ölçülebilir (Rothbart, 1986).

Proje kapsamında ele alınan Marion 7820 ve Page 736 model iki çekme kepçeli yerkazar için AAS süreleri tarihe göre sıralandırılarak arıza giriş ve çıkış sürelerinin ardışık olarak farkı alınmıştır. Elde edilen AAS değerleri ay, gün, saat ve dakika cinsinden ayrıştırıldıktan sonra günlük 21 saat ve aylık 26 gün çalışma süresi olacak şekilde saat biriminde hesaplanmıştır. AAS süreleri Marion 7820 ve Page 736 çekme kepçeli yerkazar sistemleri ve her bir sistemi oluşturan alt üniteler için hesaplanmıştır.

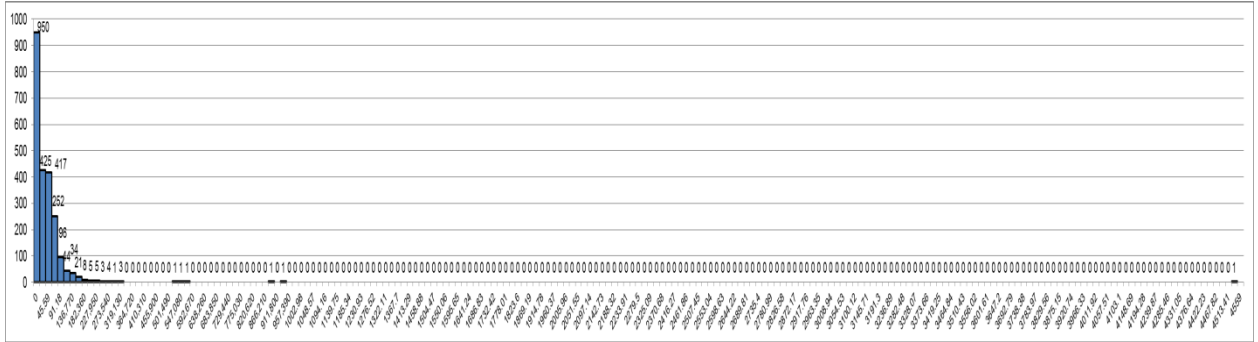
4.3 Arızalar Arası Süre Histogramları

Hesaplanan AAS verisi için histogramlar çizilmesine karar verilmiştir. Farklı eşit aralıklar, MS Excel veri çözümüleme eklentisinden yararlanılmasına rağmen hesaplanan AAS verisi histogramları için en uygun veri genişliği ve grup sayısı da tayin edilmiştir. Shimazaki ve Shinomoto (2007) tarafından geliştirilen uygun grup sayısı ve veri genişliği bulma yönteminden yararlanılarak farklı histogramlar hazırlanmıştır. Şekil 39'da Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar için sistem verileri ile MS Excel veri çözümüleme eklentisi ile hazırlanan histogram verilmiştir.



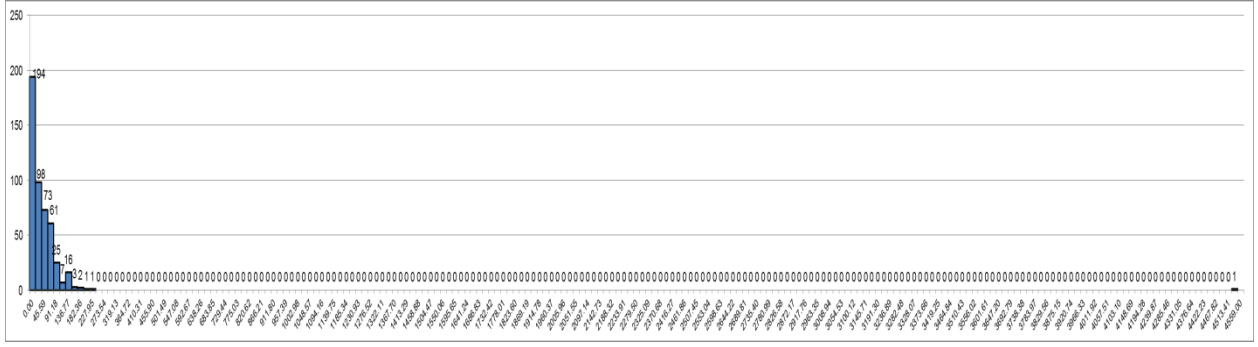
Şekil 39. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar sistem verileri histogramı

Marion model çekme kepçeli yerkazar sistemi için hazırlanan histogramda görüldüğü gibi AAS değerleri alt aralıklarda yoğunluk göstermektedir. Ekler kısmında farklı grup sayıları ile sistem ve üniteler için hazırlanan histogramlar verilmiştir. Eşit aralık ya da MS Excel çözümlene eklentisi ile çizilen histogramların verileri anlaşılır düzeyde ifade edememesi üzerine en uygun veri genişliği ve grup sayıları bulunarak histogramlarda kullanılmıştır. Şekil 40'de görüldüğü gibi Shimazaki ve Shinomoto (2007) tarafından geliştirilen yöntem ile en uygun veri genişliği 45.6 olarak hesaplanmıştır.



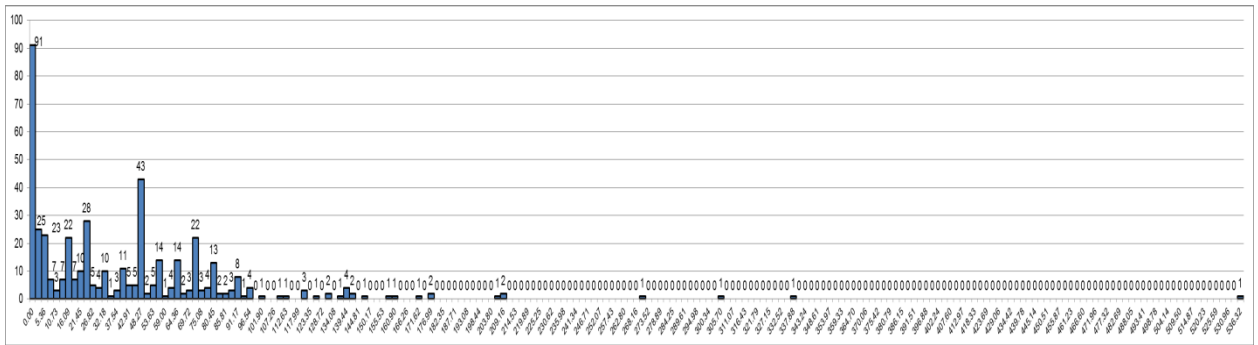
Şekil 40. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar sistem verileri için en uygun aralık histogramı

Çekiş zinciri, mapası, çelik halatlar ve çekiş motorunu kapsayan çekiş ünitesi çekme kepçeli yerkazarlar için kritik öneme sahip bir ünedir. Şekil 41'de Marion 7820 çekme kepçeli yerkazar çekiş ünitesi için en uygun aralık histogramı verilmiştir. Sistem için hazırlanan histogramlarda da belirtildiği gibi eşit aralıklar kullanmak yerine en uygun veri aralığının hesaplanması ve kullanılması uygun bulunmuştur.



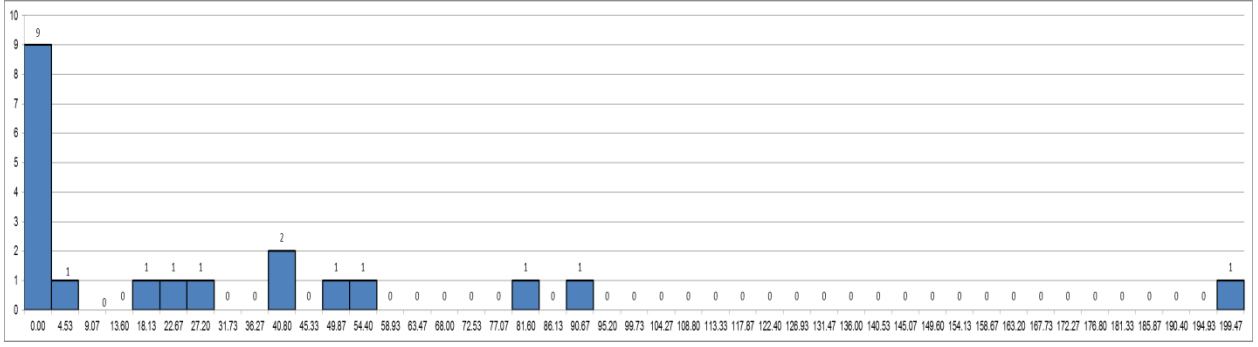
Şekil 43. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar terazi ünitesi en uygun aralık histogramı

Toplam 249 adet AAS verisinin 194 adedi 0-22,79 aralığındaki gruba dahil olmuştur. Çekiş ve kaldırış üniteleri ile karşılaştırıldığında terazi ünitesi için kaydedilmiş arızalardan hesaplanan AAS verilerinin daha uzun olduğu sonucuna varılmıştır. Kepçe ünitesinde arızalar yoğunlukla kepçe dişlerinde ve farklı kaynak işlerinde bulunmaktadır. Kepçe ünitesi için hesaplanan en uygun veri aralığı 2,68 olarak hesaplanmış ve histogram Şekil 44'de verilmiştir.



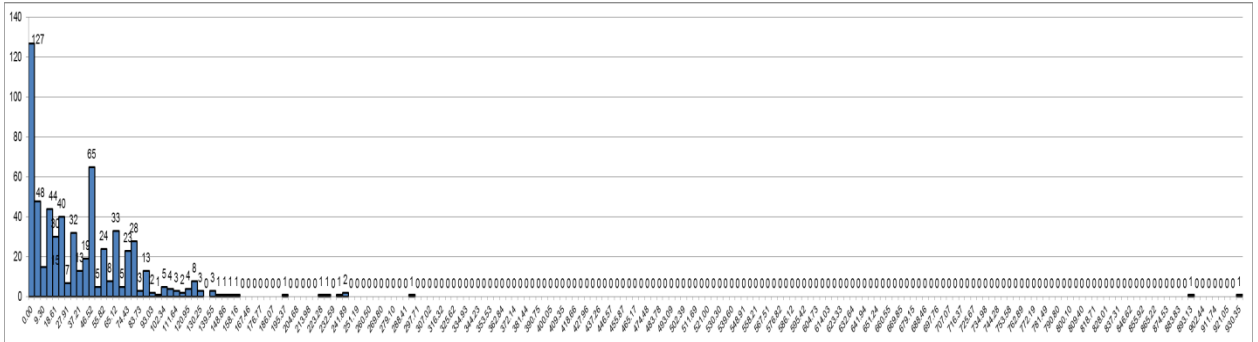
Şekil 44. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar kepçe ünitesi en uygun aralık histogramı

Toplam 231 adet AAS verisinin 91 adedinin ilk veri grubunda yer alması kepçe ünitesinin de çekme ve kaldırış ünitelerine benzer şekilde arızaları arasında geçen sürenin kısa olduğu sonucuna varılmıştır. Bum ünitesi için en uygun veri aralığı 4,53 olarak hesaplanmış ve histogram Şekil 45'de verilmiştir.



Şekil 45. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar bum ünitesi en uygun aralık histogramı

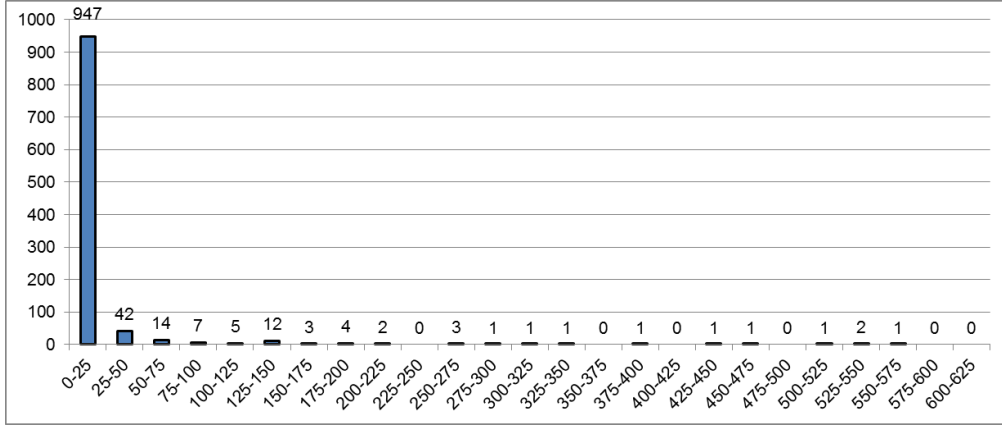
Bum ünitesinde yer alan arıza sayısının diğer ünitelere göre daha az sayıda olması nedeniyle eşit aralıklar ve en uygun veri aralığı için hazırlanan histogramlar diğer ünitelere göre daha fazla benzerlik göstermektedir. 326 adet arızanın yer aldığı yürüyüş ünitesi Marion model çekme kepçeli yerkazar için kritik önem taşıyan diğer bir alt sistemdir. Dönüş frenleri ve yağlama ile ilgili arızaların yoğunlukla görüldüğü yürüyüş sistemi için en uygun veri aralığı 4,65 olarak hesaplanmış ve histogram Şekil 46'da verilmiştir.



Şekil 46. Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar yürüyüş ünitesi en uygun aralık histogramı

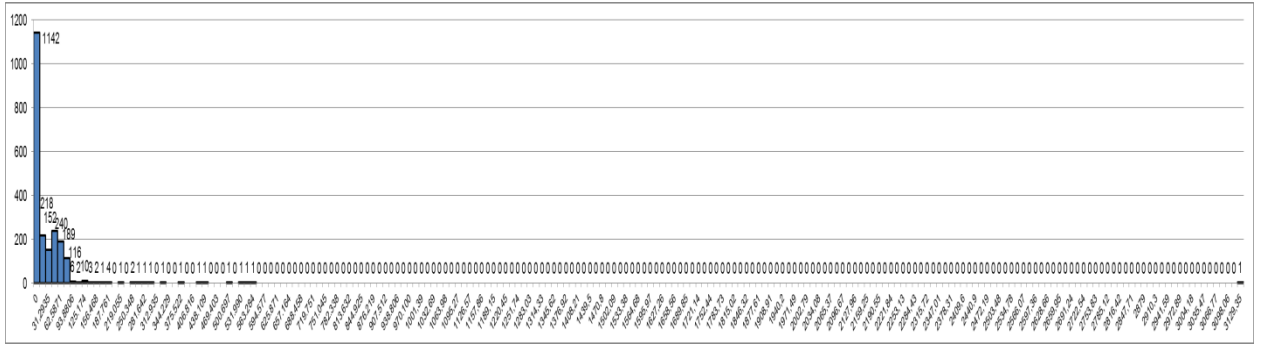
Çekme, kaldırış ve kepçe ünitelerine benzer şekilde yürüyüş ünitesinde AAS verisi dar bir veri aralığında yoğunluk göstermektedir. Arızalar arası geçen süreler için hazırlanan histogramdan görüldüğü üzere 127 adet AAS verisi 0-4,65 veri grubunda yer almıştır.

Page 736 model çekme kepçeli yerkazar için sistem verileri ile MS Excel veri çözümüleme eklentisi ile hazırlanan histogram Şekil 47'de verilmiştir. MS Excel çözümüleme eklentisi ile çizilen histogramda görüldüğü gibi veri dağılımı grup sayısının düşük olması nedeniyle yeterince açık şekilde ifade edilememiştir. Bu nedenle daha dar veri aralıkları kullanılarak histogramların hazırlanmasına karar verilmiştir.



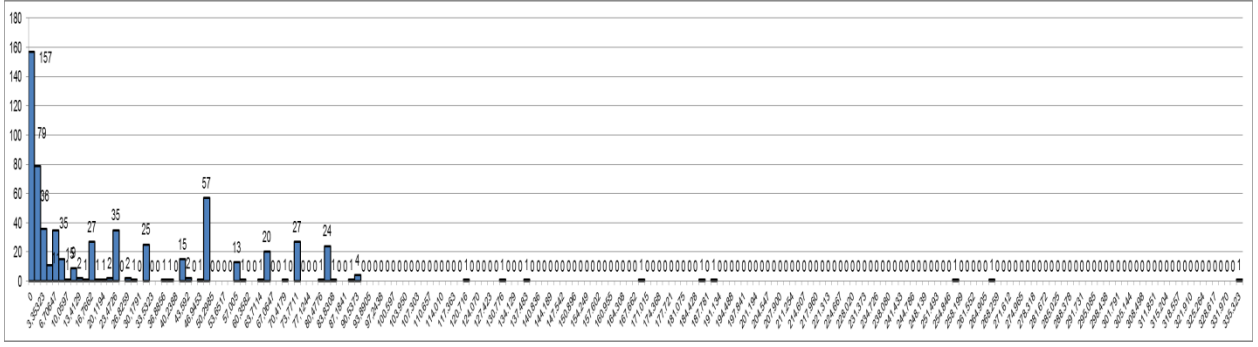
Şekil 47. Page 736 model çekme kepçeli yerkarar sistem verileri histogramı

Page 736 model çekme kepçeli yerkarar sistemi için hazırlanan Şekil 48’de yer alan histogramda görüldüğü gibi AAS değerleri alt aralıklarda yoğunluk göstermektedir.



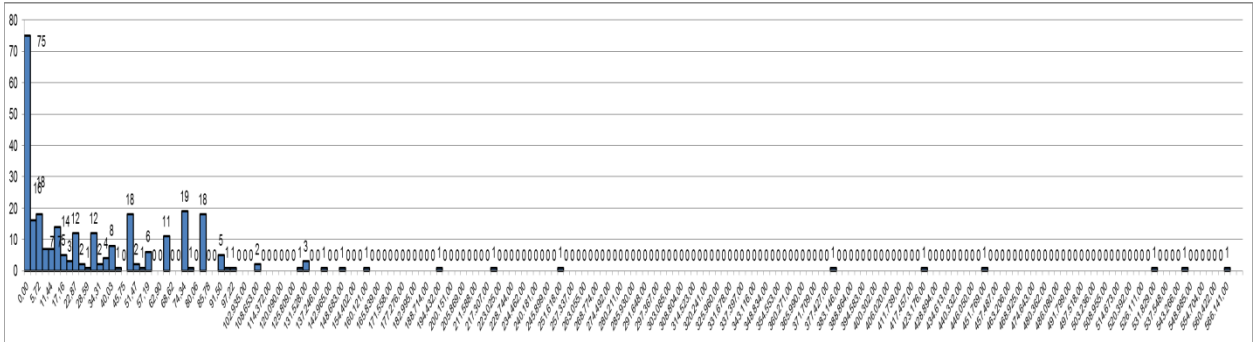
Şekil 48. Page 736 model çekme kepçeli yerkarar sistem verileri için en uygun aralık histogramı

Benzer şekilde Page 736 model çekme kepçeli yerkarar için de sistem ve arıza sınıflandırmasında belirlenen alt üniteler için ayrı ayrı histogramlar hazırlanmıştır. Kurumdan alınan veriler incelendiğinde çekiş ünitesi için kayıt altına alınmış olan arızaların çoğunluğu çekiş halatı ve çekiş zincirinden kaynaklandığı görülmüştür. En uygun veri aralığı 1,67 olarak hesaplanmıştır ve histogram Şekil 49’da verilmiştir.



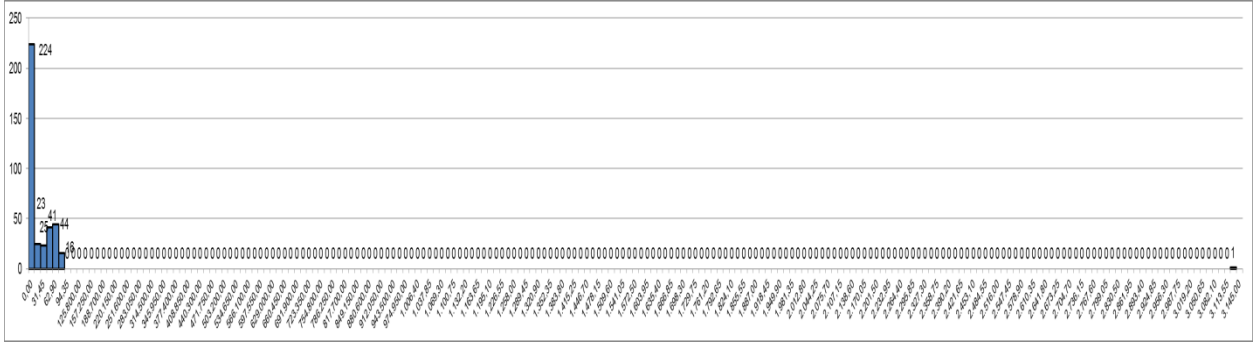
Şekil 49. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar çekiş ünitesi en uygun aralık histogramı

310 adet arızanın bulunduğu çekiş ünitesi için hesaplanan AAS verilerinin 157 adedi 0-1,67 veri grubunda yer almıştır. Buna göre çekiş ünitesinde görülen arızalar sayısı fazla olmasına rağmen aralarında geçen süre genellikle kısa olmuştur. Kaldırış ünitesinde en fazla arıza görülen birim kaldırış halatı olmuştur ve bu ünite için hesaplanan en uygun veri aralığı 2,86 olarak bulunmuştur. Kaldırış ünitesi için hazırlanan histogram Şekil 50'da verilmiştir.



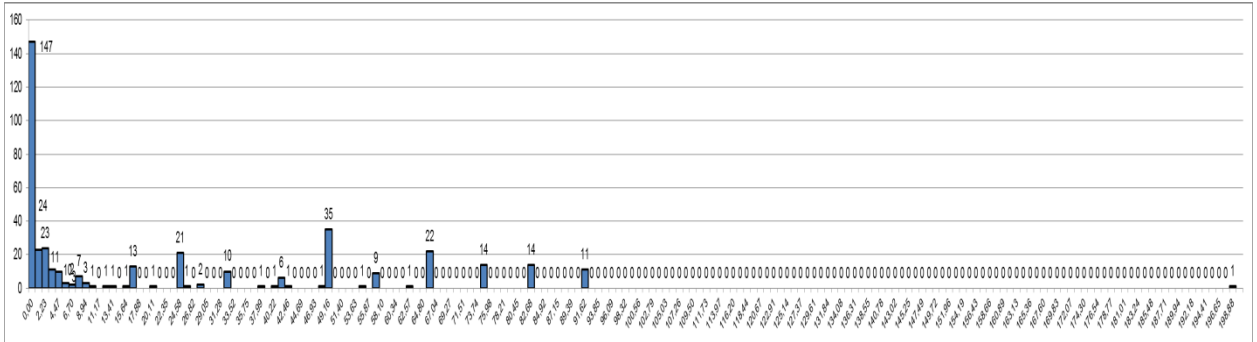
Şekil 50. Page model çekme kepçeli yerkazar kaldırış ünitesi en uygun aralık histogramı

144 adet AAS verisinin bulunduğu kaldırış ünitesinde 75 adet veri ilk aralıkta yer almaktadır. Arızalar arası geçen sürenin kısa olması nedeniyle hazırlanan histogramın ilk veri gruplarında yoğunluk görülmektedir. Terazi ünitesinde en sık görülen arıza terazi halatı ile bağlantılı olmuştur. En uygun aralık 15,7 olarak hesaplanmış ve histogram Şekil 51'de verilmiştir.



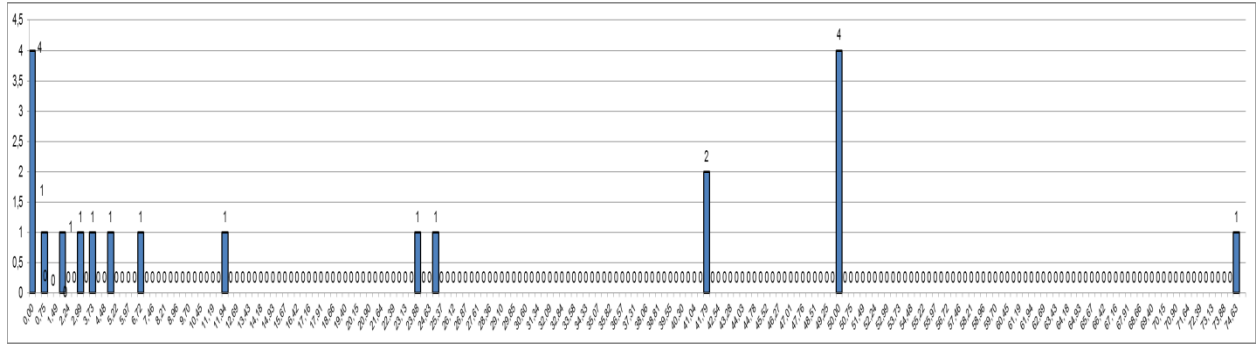
Şekil 51. Page model çekme kepçeli yerkazar terazi ünitesi en uygun aralık histogramı

187 adet verinin yer aldığı AAS veri kümesi terazi ünitesinde 0-15,7 aralığında yoğunluk göstermektedir. Arıza sayısı diğer ünitelerle karşılaştırıldığında az olmamasına rağmen AAS verisine bakıldığında en uygun aralığın diğer ünitelere göre daha uzun olduğu dikkat çekmektedir. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar için kepçe ünitesinde arızalar sıklıkla kepçenin halat bağlantı noktalarında ve pimlerinde görülmüştür. Bu ünite için hazırlanan en uygun aralık histogramı Şekil 52’de verilmiştir.



Şekil 52. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar kepçe ünitesi en uygun aralık histogramı

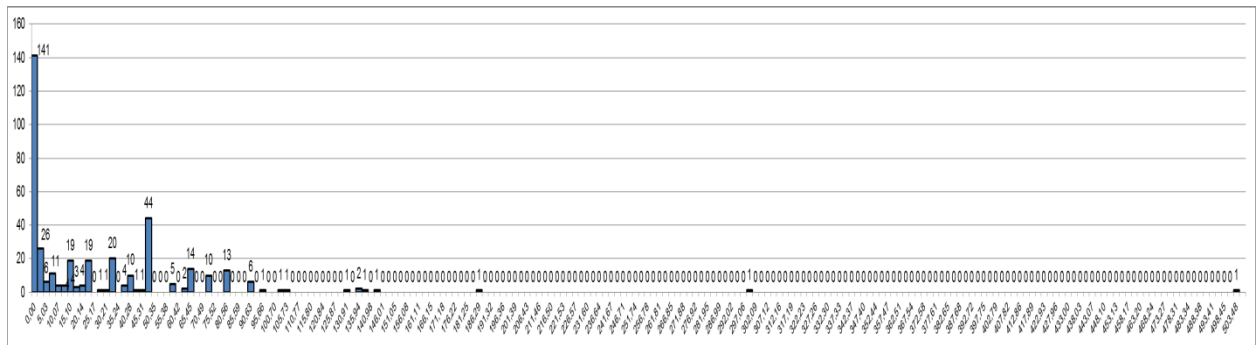
200 adet AAS kaydı bulunan kepçe ünitesi için en uygun aralık 1,12 olarak hesaplanmıştır. 147 adet AAS verisi 0-1,12 aralığında yer almaktadır ve kepçe ünitesi için incelenen arızalar arası geçen sürenin diğer ünitelere göre daha kısa olduğu görülmüştür. Bum ünitesinde yer alan arıza sayısı az olduğundan farklı yöntemler ile çizilen histogramlar diğer ünitelere göre daha fazla uygunluk göstermektedir. En uygun veri aralığı ile hazırlanan histogram Şekil 33’de verilmiştir.



Şekil 53. Page 736 model çekme kepçeli yerkazar bum ünitesi en uygun aralık histogramı

Yürüyüş ünitesinde jeneratör ve motorların yer alması nedeniyle arıza sayısı diğer ünitelere göre fazla olmaktadır. En uygun aralık 2,51 olarak hesaplanmıştır ve histogram Şekil 54’de verilmiştir.

190 adet AAS verisi bulunan yürüyüş ünitesinde 141 adet veri 0-2,51 veri grubunda yer almıştır. Arızalar arası geçen sürenin yürüyüş ünitesi için kısa olduğu sonucuna varılmıştır. Makinanın alt üniteleri için çizilen histogramların zaman ekseninin sonlarında beliren frekans değerlerinin doğrulanması gerekmektedir. Projenin ikinci altı aylık döneminde bu değerler incelenecek, doğrulandıktan sonra alt ünitelerin güvenilirlikleri hesaplanacaktır.



Şekil 54. Page model çekme kepçeli yerkazar yürüyüş ünitesi için en uygun aralık histogramı

4.4 Arızalar Arası Süre İçin Uygun Dağılım Belirlenmesi

Hesaplanan AAS verisi için uygun dağılımın belirlenmesi için uyumluluk testi (goodness of fit test) sınavasından yararlanılmıştır. Buna göre Marion 7820 model çekme kepçeli yerkazar için en uygun dağılım iki parametrelili Weibull (Weibull 2), Page 736 için de Lognormal dağılım olarak belirlenmiştir. Diğer uygun olabilecek dağılımlar ve bunların sıralaması Tablo 14’de sıralanmıştır.

Tablo 14. Sistemin bütünü için arıza dağılım fonksiyonları

| | Marion 7820 | Page 736 |
|---|---------------------|-----------------|
| 1 | Weibull 2 | Lognormal |
| 2 | Gamma | Loglogistic |
| 3 | Loglogistic | Weibull 2 |
| 4 | Logistic | Gamma |
| 5 | Exponential, Normal | Logistic |
| 6 | Gumbel | Exponential 1 |
| 7 | | Normal |
| 8 | | Gumbel |

Weibull dağılımı için beta değeri 0,7247 eta değeri de 36,4271 olarak hesaplanmıştır. Lognormal dağılımın parametreleri olan ortalama ve standart sapma ise sırasıyla 1,1765 ve 1,4116 olarak bulunmuştur. Bu dağılımlar ve ilgili parametreler sistemin bütünü için hesaplanmıştır. Buna ek olarak, çözümlenen sistemde her iki makina için makinanın ana üniteleri için de ayrı ayrı dağılımlar ve ilgili parametreler hesaplanmıştır. Bu Tablo 15 ve 16'de sırasıyla Page 736 ve Marion 7820 makinalarının ana üniteleri için arızalar arası zaman dağılımları sıralanmıştır.

Tablo 15. Page 736'nin ana ünitelerinin arızalar arası zamanının dağılımları

| | Çekiş | Kaldırış | Terazi | Kepçe | Bum | Yürüyüş |
|----|---------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | Lognormal | Lognormal | G-Gamma | G-Gamma | Lognormal | G-Gamma |
| 2 | Loglogistic | Loglogistic | Weibull 3 | Lognormal | Loglogistic | Lognormal |
| 3 | Weibull 2, Gamma | Weibull 2, Gamma | Lognormal | Loglogistic | G-Gamma | Loglogistic |
| 4 | Exponential 1 | Exponential 1 | Weibull 2 | Weibull 3 | Weibull 3 | Weibull 3 |
| 5 | Logistic | Logistic | Gamma | Gamma | Weibull 2 | Weibull 2 |
| 6 | Normal | Normal | Logistic | Weibull 2 | Exponential 2 | Gamma |
| 7 | Gumbel | Gumbel | Exponential 2 | Exponential 2 | Exponential 1 | Exponential 2 |
| 8 | | | Exponential 1 | Exponential 1 | Gamma | Exponential 1 |
| 9 | | | Normal | Logistic | Normal | Logistic |
| 10 | | | Gumbel | Normal | Logistic | Normal |
| 11 | | | | Gumbel | Gumbel | Gumbel |

Tablo 16. Marion 7820'nin ana ünitelerinin arızalar arası zamanının dağılımları

| | Çekiş | Kaldırış | Terazi | Kepçe | Bum | Yürüyüş |
|---|--------------|-----------------|---------------|--------------|------------|----------------|
| 1 | Weibull 2 | Weibull 2 | Weibull 3 | Weibull 3 | G-Gamma | Weibull 2 |

| | | | | | | |
|----|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|
| 2 | Lognormal | Lognormal | G-Gamma | G-Gamma | Lognormal | Lognormal |
| 3 | Loglogistic | Loglogistic | Weibull 2 | Weibull 2 | Weibull 3 | Loglogistic |
| 4 | Exponential 1 | Gamma | Lognormal | Lognormal | Loglogistic | Gamma |
| 5 | Gamma | Normal | Loglogistic | Loglogistic | Weibull 2 | Normal |
| 6 | Logistic | Logistic | Gamma | Gamma | Normal, Exponential 2, Logistic | Logistic |
| 7 | Normal | Exponential 1 | Normal | Normal | Gamma | Exponential 1 |
| 8 | Gumbel | Gumbel | Logistic | Logistic | Exponential 1 | Gumbel |
| 9 | | | Exponential 2 | Exponential 1 | Gumbel | |
| 10 | | | Exponential 1 | Exponential 2 | | |
| 11 | | | Gumble | Gumble | | |

Marion 7820 nin ana üniteleri için birinci sırada bulunan dağılımlar ile Page 736'nın ana üniteleri için bulunan dağılımlar arasında farklılıklar bulunduğu gözlemlenmiştir. Birinci sırada her bir ana ünite için tahmin edilen dağılıma ilişkin hesaplanan parametreler Tablo 17 ve 18'de göstermiştir. Parametrelerin hesaplanması için x eksenini yani zaman eksenini üzerinde rank regresyonu analiz yöntemi kullanılmıştır. Güven sınır metodu olarak Fisher matrisi kullanılmış olup parametreler Rank Median metodu ile hesaplanmıştır.

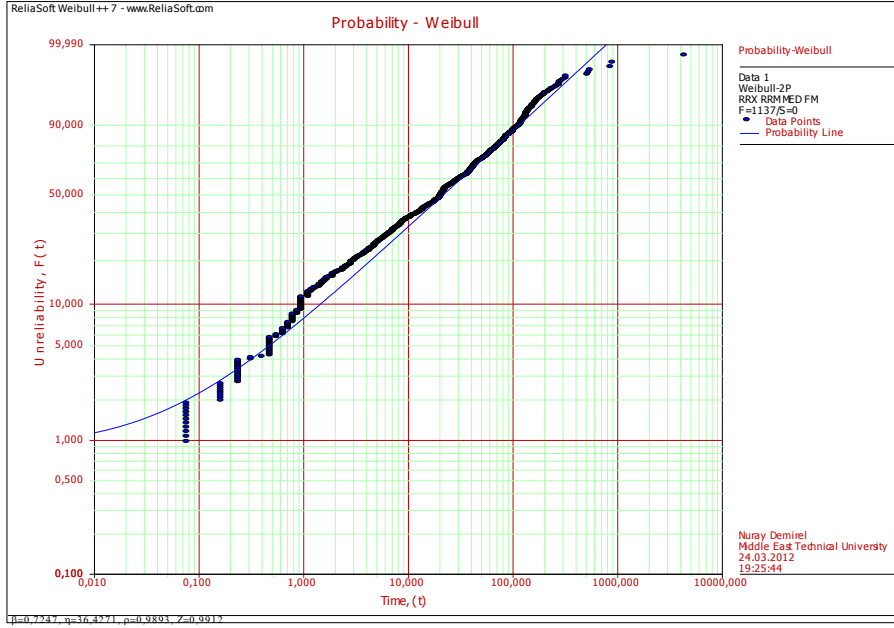
Tablo 17. Page 736'nin dağılım parametreleri

| | Çekiş | Kaldırış | Terazi | Kepçe | Bum | Yürüyüş |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------|--|
| Dağılım | Lognormal | Lognormal | G-Gamma | G-Gamma | Lognormal | G-Gamma |
| Parametreler | Mean: 1,3722 Std: 1,2646 | Mean: 2,1490 Std: 1,8319 | Mu: 0,0289 Sigma: 0,5779 Lambda: 1,3771 | - Mu: 0,1863 Sigma: 0,9135 Lambda: 1,0809 | Mean: 1,5956 Std: 1,4682 | Mu: 0,0803 Sigma: 0,9293 Lambda: 1,8653 |

Tablo 18. Marion 7820'nin dağılım parametreleri

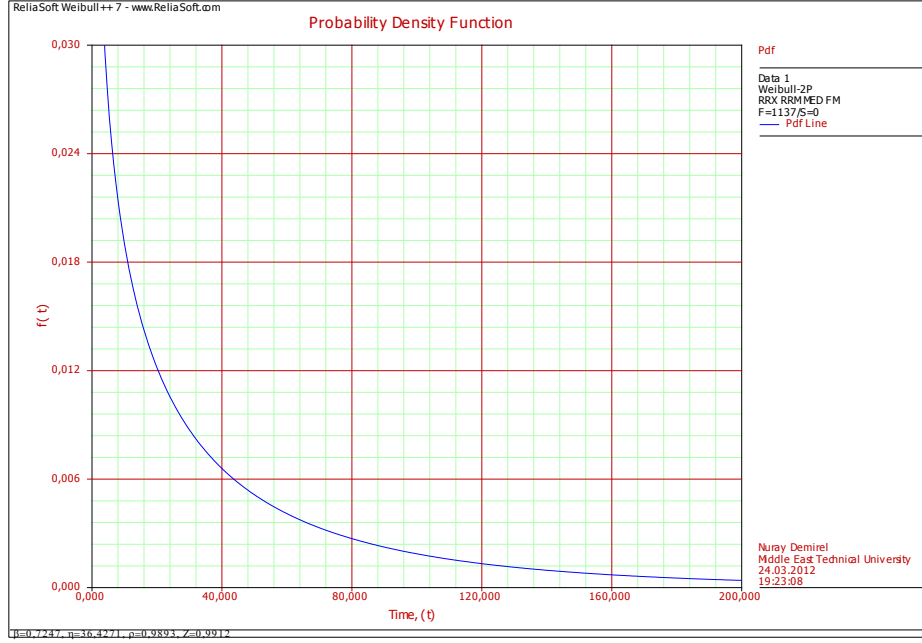
| | Çekiş | Kaldırış | Terazi | Kepçe | Bum | Yürüyüş |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|------------------------------------|
| Dağılım | Weibull 2 | Weibull 2 | Weibull 3 | Weibull 3 | G-Gamma | Weibull 2 |
| Parametreler | Beta: 0,7425 Eta: 40,2708 | Beta: 0,6636 Eta: 34,9705 | Beta: 0,7358 Eta: 42,8359 Gamma: 0,0649 | Beta: 0,6488 Eta: 35,7508 Gamma: 0,0793 | Mu: 1,9436 Sigma: 2,5960 Lambda: 0,3237 | Beta: 0,6969 Eta: 33,6207 |

Arızalar arası sürenin dağılımı ve dağılıma ilişkin parametreler hesaplandıktan sonra Marion 7820 ve Page 736 makinalarının bütünü için arıza olasılık, eğrisi, olasılık yoğunluk eğrisi, arıza oranının zamana bağlı değişimi, güvenilirlik ve güvenilmezlik eğrileri çizilmiştir. Şekil 55 ve Şekil 56 Marion 7820 için sırasıyla olasılık eğrisini ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisini göstermektedir.



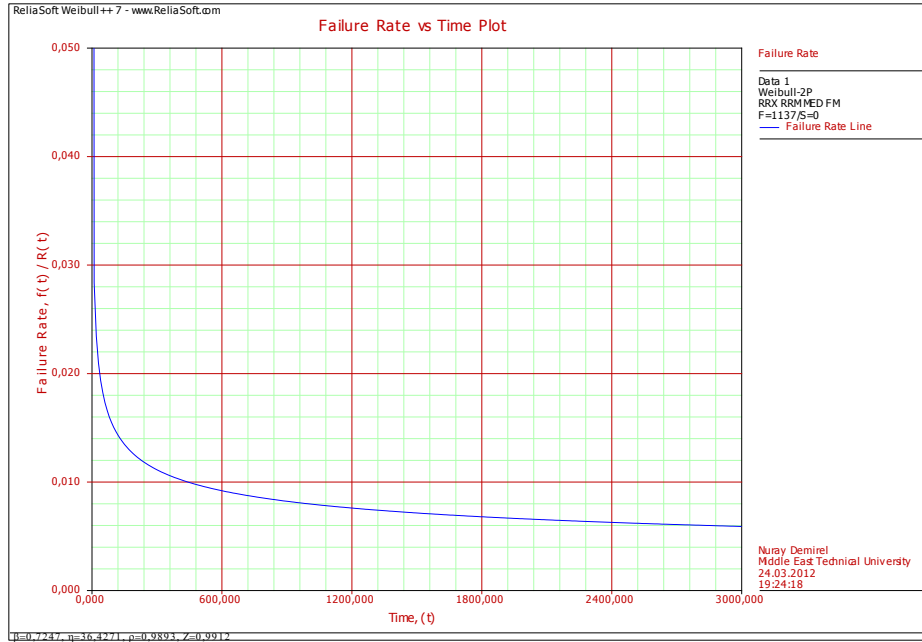
Şekil 55. Marion 7820 için olasılık eğrisi

Şekillerden gözleneceği üzere, Marion 7820'ye ait arıza süreleri Weibul dağılımının dağılımsal özelliklerini sağlamaktadır.



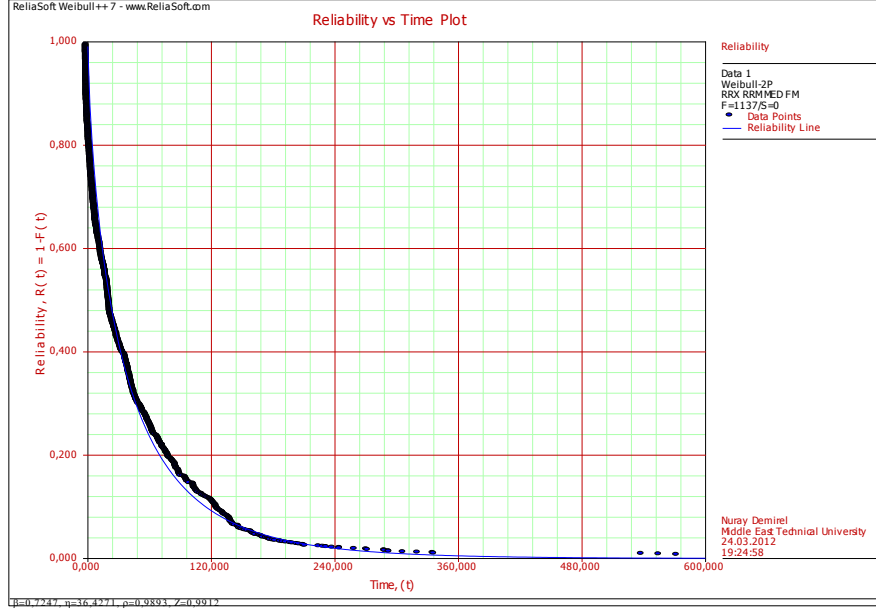
Şekil 56. Marion 7820 için olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

Zamana bağlı olarak hasar oranındaki değişiklik eğrisi Marion 7820 için Şekil 57'de verilmiştir. Hasar oranı hasarlar arasındaki süreye oranla azalmaktadır.



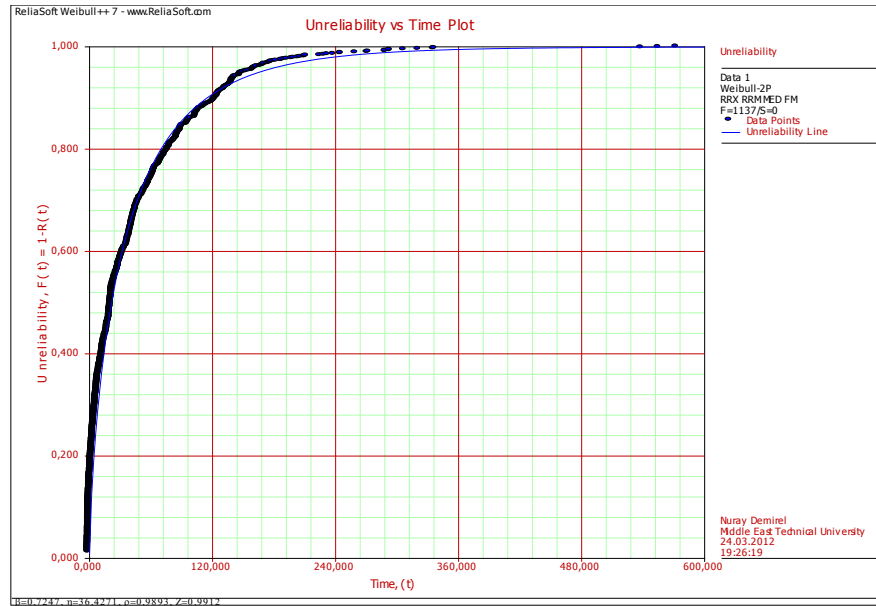
Şekil 57. Marion 7820 için hasar oranının zamana bağlı değişimi

Marion 7820 için makinadaki ünitelerine ayırmaksızın tüm arıza verilerinden ve arızalar arası süre dağılımından elde edilen sistem güvenilirliği ve güvenilmezliği eğrileri sırasıyla Şekil 58 ve Şekil 59'da gösterilmiştir.



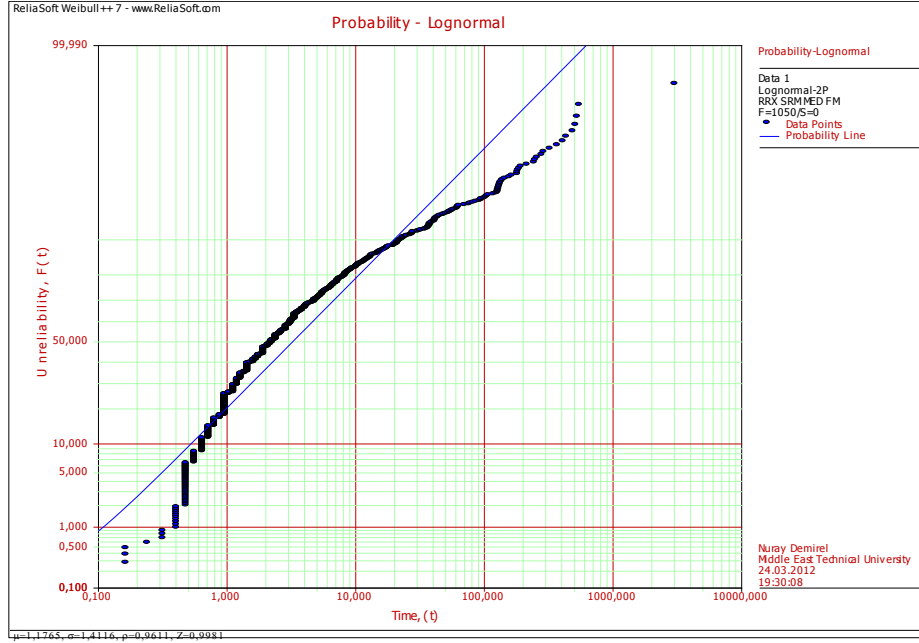
Şekil 58. Marion 7820 için zamana bağlı güvenilirlik eğrisi

Şekil 58'de de görüldüğü gibi güvenilirlik %100'den %20'ye hızla düşmekte, 80. saatten sonra da güvenilirlik %20'nin altına inmektedir. Benzer şekilde güvenilmezlik de aynı aralıklarda hızla artmaktadır.



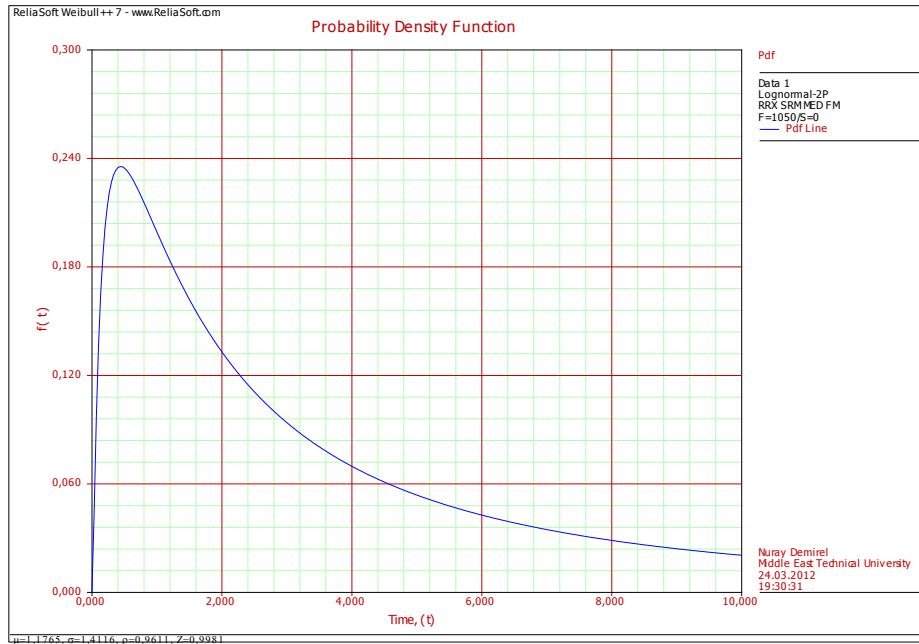
Şekil 59. Marion 7820 için zamana bağlı güvenilmezlik eğrisi

Marion 7820 için yapılan analizler Page 736 için de yapılmıştır. Bunda da sistem bir bütün olarak ele alınmış ve güvenilirlik ve güvenilmezlik eğrileri makinanın bütünü için hesaplanmıştır. Şekil 60 Page 736 için olasılık eğrisini göstermektedir.



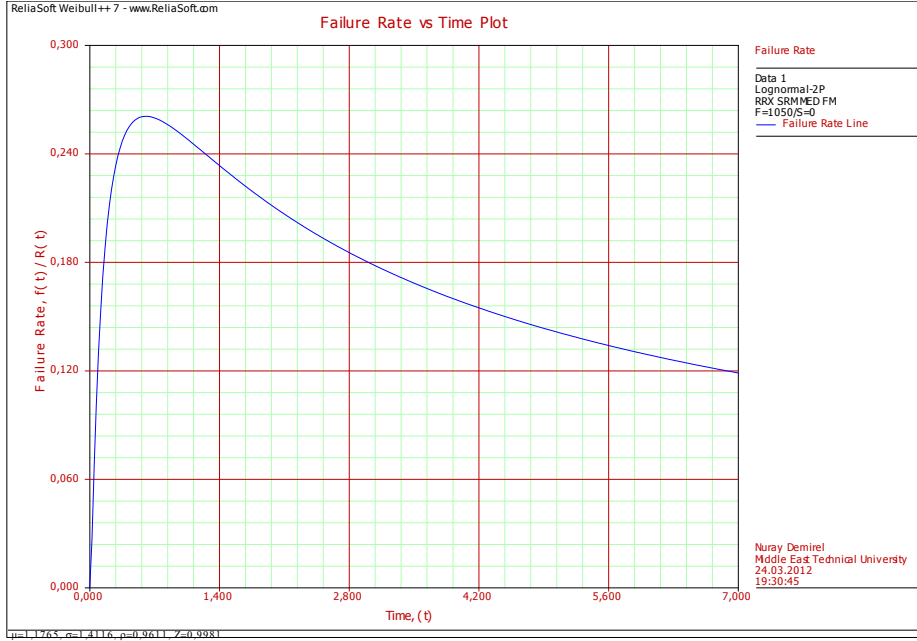
Şekil 60. Page 736 için olasılık eğrisi

Page 736 için olasılık yoğunluk fonksiyonunun eğrisi Şekil 61'de gösterilmektedir.



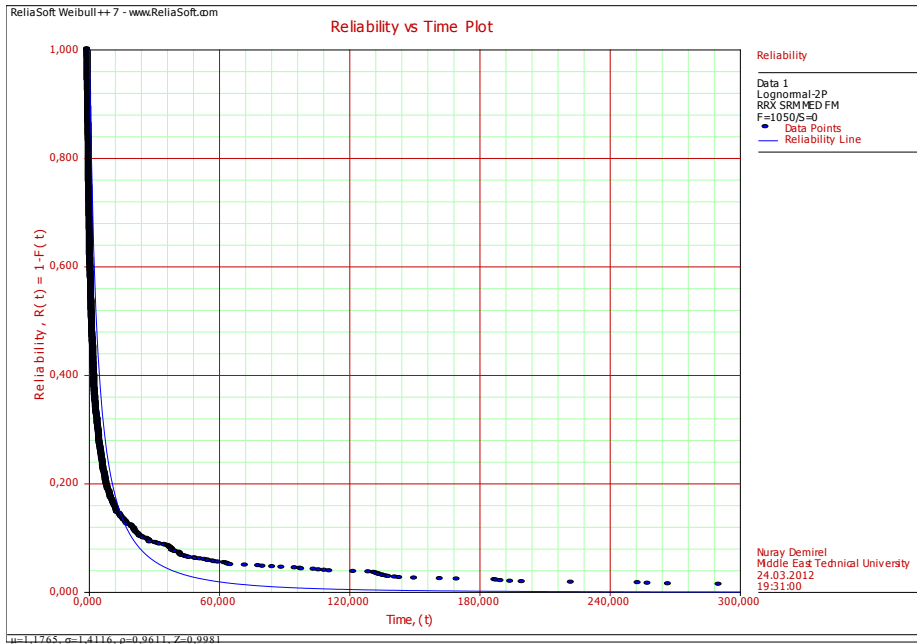
Şekil 61. Page 736 için olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği

Zamana bağılı olarak hasar oranındaki değişliklik eğrisi Page 736 için Şekil 62’de verilmiştir.



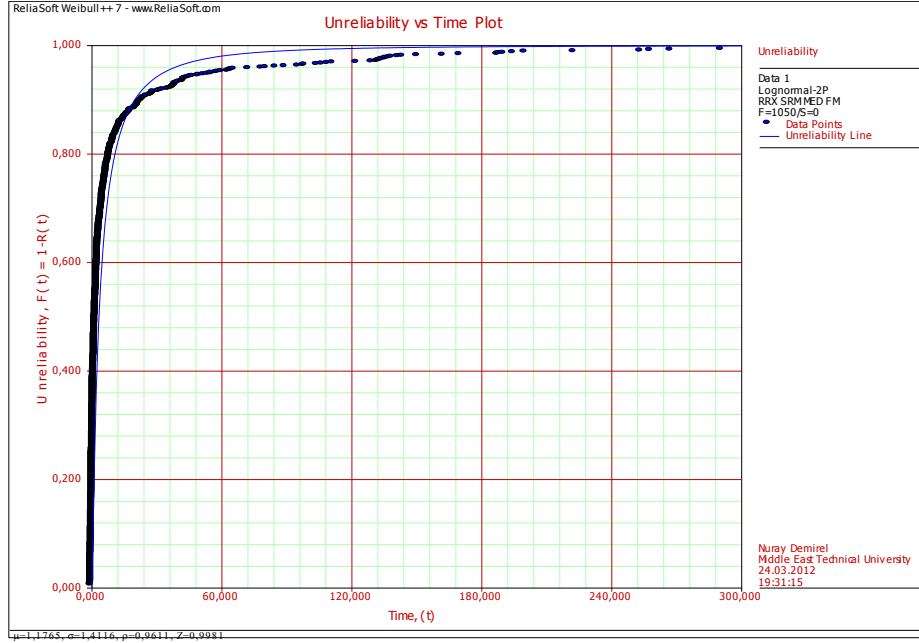
Şekil 62. Page 736 için hasar oranının zamana bağılı değişimi

Page 736 için makinadaki ünitelerine ayırmaksızın tüm arıza verilerinden ve arızalar arası süre dağılımından elde edilen sistem güvenilirliği ve güvenilmezliği eğrileri sırasıyla Şekil 63 ve Şekil 64’de gösterilmiştir.



Şekil 63. Page 736 için zamana bağılı güvenilirlik eğrisi

Şekil 63'den de görüldüğü gibi burada makinanın güvenilirliği diğer makinaya oranla daha hızlı düşmekte ve %20 güvenilirlik değerine 10. saatten sonra inmektedir. Benzer şekilde güvenilmezlik oranı da güvenilirlik değeriyle uygun bir şekilde hızla yükselmektedir (Şekil 64).



Şekil 64. Page 736 için zamana bağlı güvenilmezlik eğrisi

Şekil 55-64'de sunulan grafikler her iki makina için yapılan istatistik dağılımı varsayımına, bu varsayımların uyumluluk testleri ile desteklendikten sonra ortaya çıkarılan değerlendirmelerdir. Grafikler, olasılık dağılım fonksiyonu, olasılık yoğunluk fonksiyonu, hasar oranı, güvenilirlik grafiklerinden oluşan bu analizler, hasar sürelerinin büyüklüğüne göre güvenilirliklerinin azaldığını göstermektedir. Yapılan güvenilirlik hesaplamaları sistemin belirlenen 6 ana ünitesinin güvenilirlikleri hesaplanmadan gerçekleştirilmiştir.

4.5 Arıza Verilerinin Dağılım Davranışlarının Tespit Edilmesi

Güvenilirlik analizlerinin birinci aşaması, verinin birbiri ile olan ilişkisinin incelenmesi ve birbirinden bağımsız olup olmadıklarının istatistiksel testlerle tespit edilmesidir. Bu çalışmada çekme-kepçeli yerkazarların arıza verisinin birbiri ile ilgili ya da birbirinden bağımsız olup olmadıkları parametrik olmayan tekrarlar sınaması (*run test*) ile test edilmiştir. Parametrik olmayan tekrarlar sınaması (*run test*) verinin rastgele veya bağımsız dağılımı irdelemeye yarayan istatistiksel bir testtir. Testin içindeki sıfır hipotezi (null hypothesis) " H_0 :Veri Dağılımı rastgeledir (ya da bağımsızdır)" olarak tanımlanır. Karşıt hipotez (*alternative hypothesis*) ise

verinin rastgele (ya da bağımsız) olmadığını savunur. Bu testin yanı sıra, veri kümelenmesi (*clustering*), dağılım karışımı (*mixture*), eğilim (*trend*) ve veri salınımlarının (*oscillation*) da incelenmesi, veri bağımsızlığını etkileyen sebeplerin anlaşılmasında yardımcı olacaktır. Test sonucunda bulunacak düşük “p” değerleri, veri dağılımını tanımlayacak olan eğrilerin veriyi doğru şekilde temsil edemeyeceğini işaret eder. Bu da verilerin artık değerlerinin (*residual*) bağımsız olmadığını gösterir. Bu veri davranış çeşitlerinin içerisinde istatistiki olarak önemli olanlar varsa, mevcut veriler üzerinde düzeltici işlem yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan testlerde sınır p değeri 0.01 olarak alınmıştır. Bu bölümün alt başlıklarında yer kazaran, projenin birinci bölümünde makinanın çözümlenmesiyle elde edilen her bir alt birimi için veri dağılımlarının test edilmesi ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

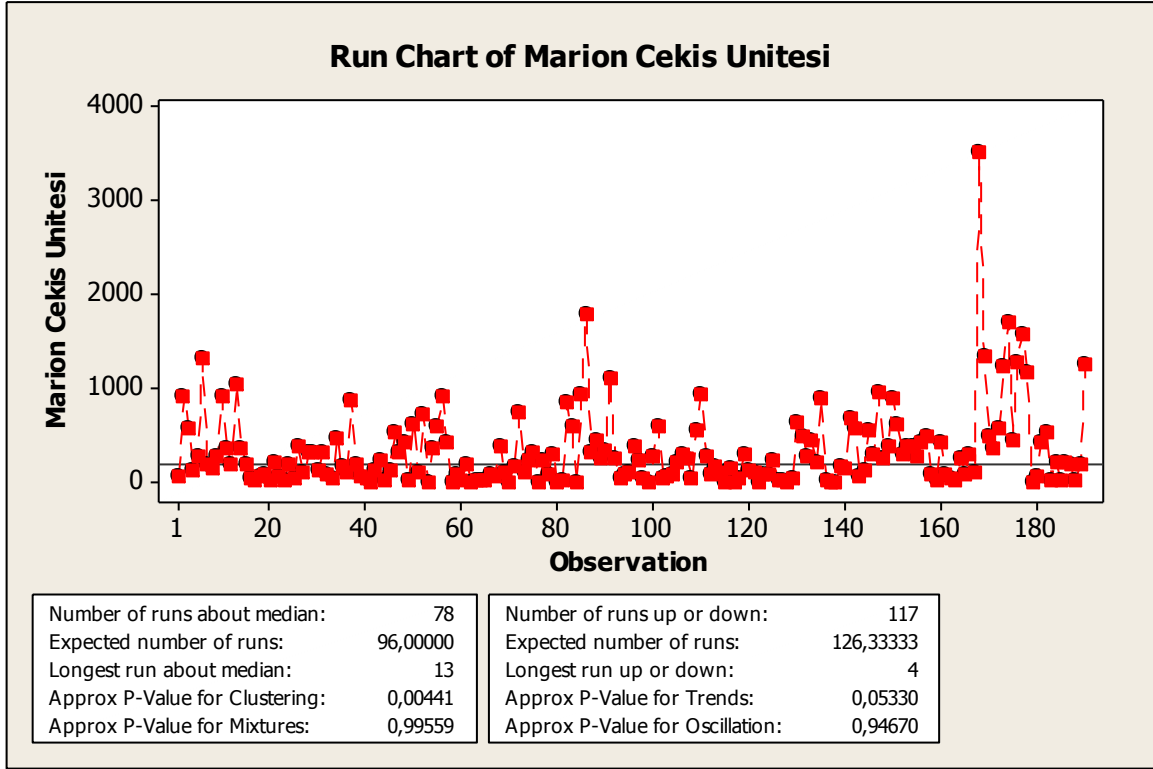
4.5.1 Çekiş Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Tekrarlar sınavında adı geçen “tekrar”, regresyon eğrisi üstünde ve altında kalan ardışık veri noktalarının sayısına denilmektedir. Diğer bir tanımla, artı ve eksi olan sıralı artık değerlere (*residual*) ait tekrarların gerçek ve beklenen sayıları karşılaştırılarak p değerine ulaşılmaktadır. Her iki çekme kepçeye ait çekiş ünitelerinin veri dağılımlarının rastgelelik (*randomness*) değerleri, Marion için 0,008; Page için 0,275’dir (Tablo 19). Marion verilerinin rastgelelik değeri $p=0,01$ ’den küçük olduğu için, verilerin bağımlı olduğu söylenebilir. Page çekiş ünitesi verileri ise bağımsız olarak dağılmaktadır.

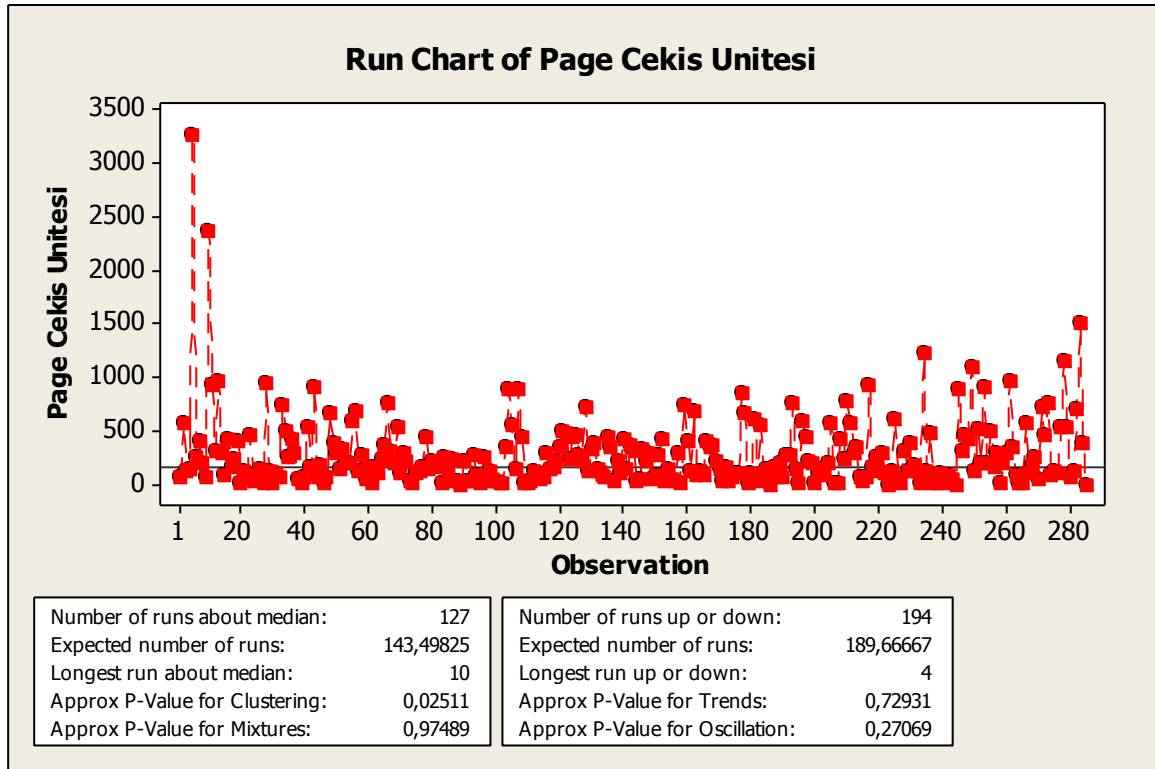
Tablo 19. Çekiş ünitelerinin tekrarlar sınavına (run test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Çekiş Ünitesi | Run test sonuçları: Page Çekiş Ünitesi |
|--|--|
| Runs above and below K = 329,887 | Runs above and below K = 278,245 |
| The observed number of runs = 68 | The observed number of runs = 123 |
| The expected number of runs = 83,8316 | The expected number of runs = 131,414 |
| 61 observations above K; 129 below | 101 observations above K; 184 below |
| P-value = 0,008 | P-value = 0,275 |

Şekil 65 ve Şekil 66 incelendiği zaman, her iki çekiş ünitesinin verilerinin kümelenme (*clustering*) değerleri düşük seviyededir. Özellikle Marion’daki veri bağımsızlığının kaybolmasına en çok veri kümelenmesinin neden olduğu görülmektedir.



Şekil 65. Marion çekiş ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri



Şekil 66. Page çekiş ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

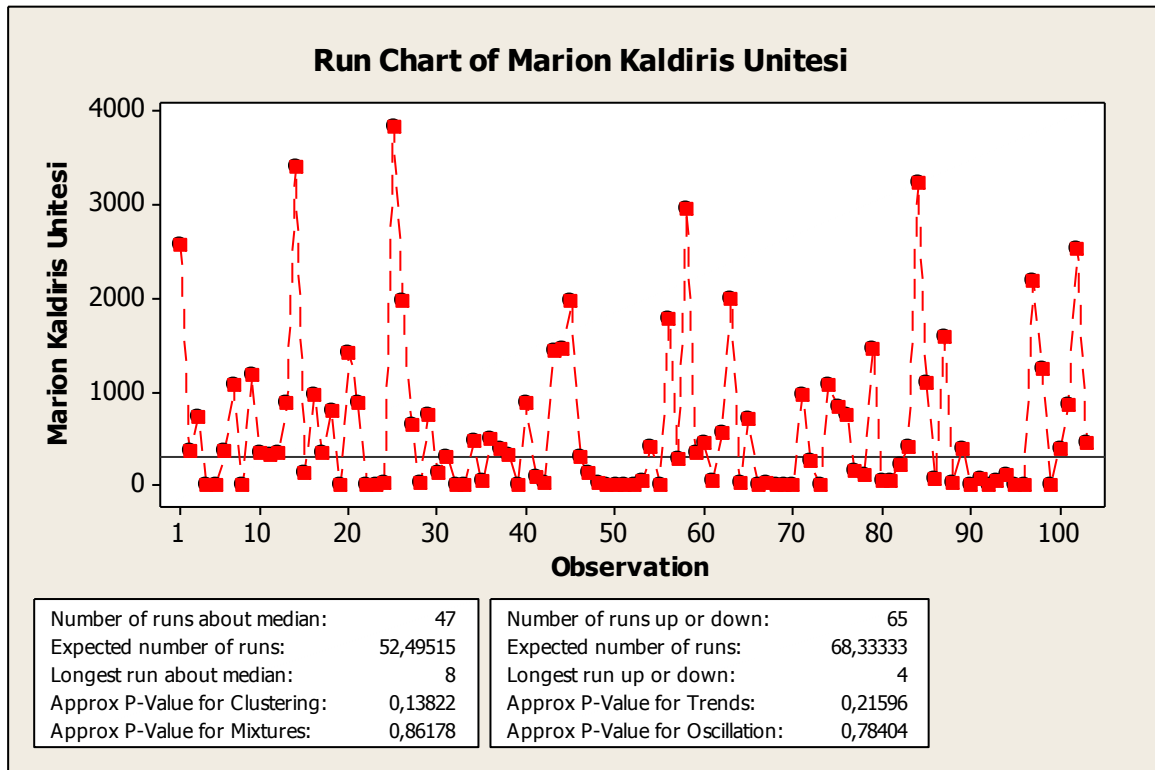
4.5.2 Kaldırış Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Kaldırış ünitesinin verileri için tekrarlar sınaması uygulandığında, Marion için 0,901 Page için 0,017 değerleri bulunmuştur (Tablo 20). Bu değerler, kaldırış ünitesi verilerinin kritik p-değerine göre bağımsız bir dağılım sergilediğini işaret etmektedir.

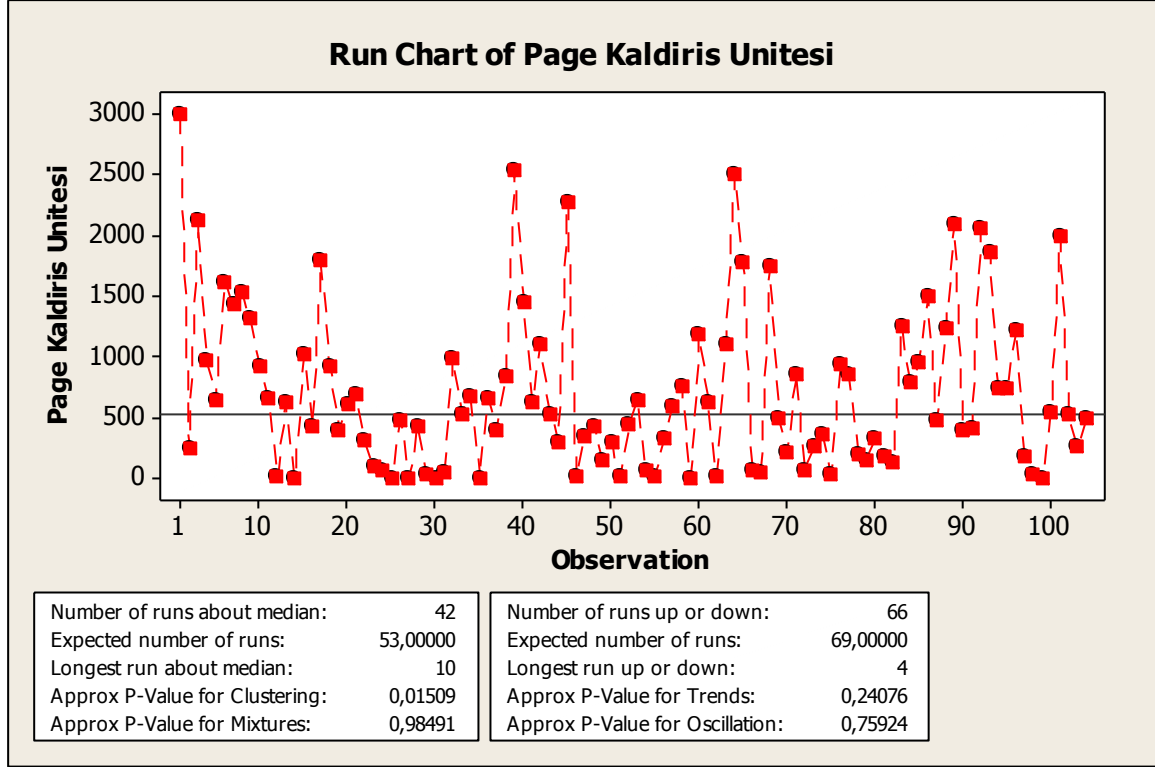
Tablo 20. Kaldırış ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Kaldırış Ünitesi | Run test sonuçları: Page Kaldırış Ünitesi |
|---|---|
| Runs above and below K = 606,517 | Runs above and below K = 704,765 |
| The observed number of runs = 46 | The observed number of runs = 38 |
| The expected number of runs = 46,5534 | The expected number of runs = 49,2308 |
| 34 observations above K; 69 below | 38 observations above K; 66 below |
| P-value = 0,901 | P-value = 0,017 |

Şekil 67’da Marion kaldırış ünitesi verilerinin kümelenme, karışım, eğilim ve salınım özellikleri incelendiği zaman, bunların herhangi bir istatistiki önem göstermediği (tüm değerler > 0.01), böylelikle verilerin bağımsız dağıldığı gözlenmiştir. Şekil 68’de ise Page sınır değerlerde de olsa bağımsız bir dağılım gösterdiği, veri kümelenmesinin veri bağımsızlığını en etkileyen faktör olduğu saptanmıştır.



Şekil 67. Marion kaldırış ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri



Şekil 68. Page kaldırış ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

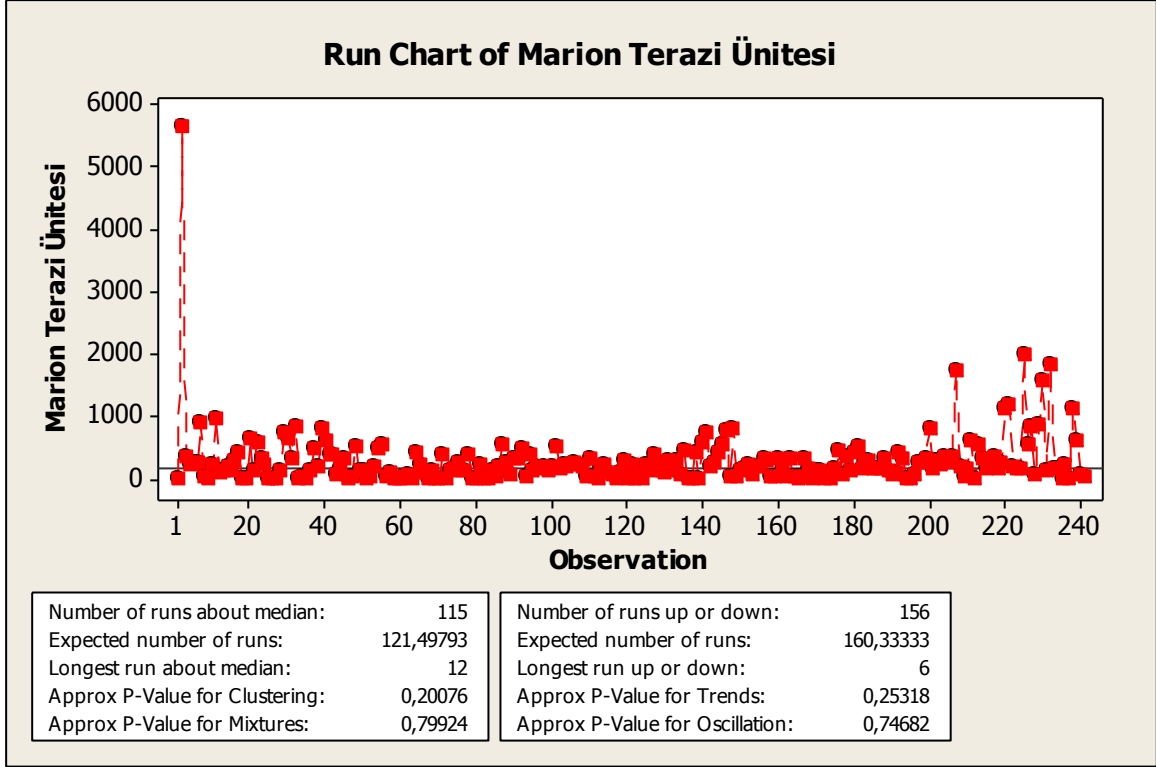
4.5.3 Terazi Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Tablo 21 incelendiği zaman, Marion ve Page terazi ünitelerinin her ikisi için de beklenen tekrar sayısı gözlenen tekrar sayısından fazladır. Böylelikle yüksek p değerlerine ulaşılmıştır. Bu durum, iki terazi ünitesi verisinin de rastgele dağıldığını göstermektedir.

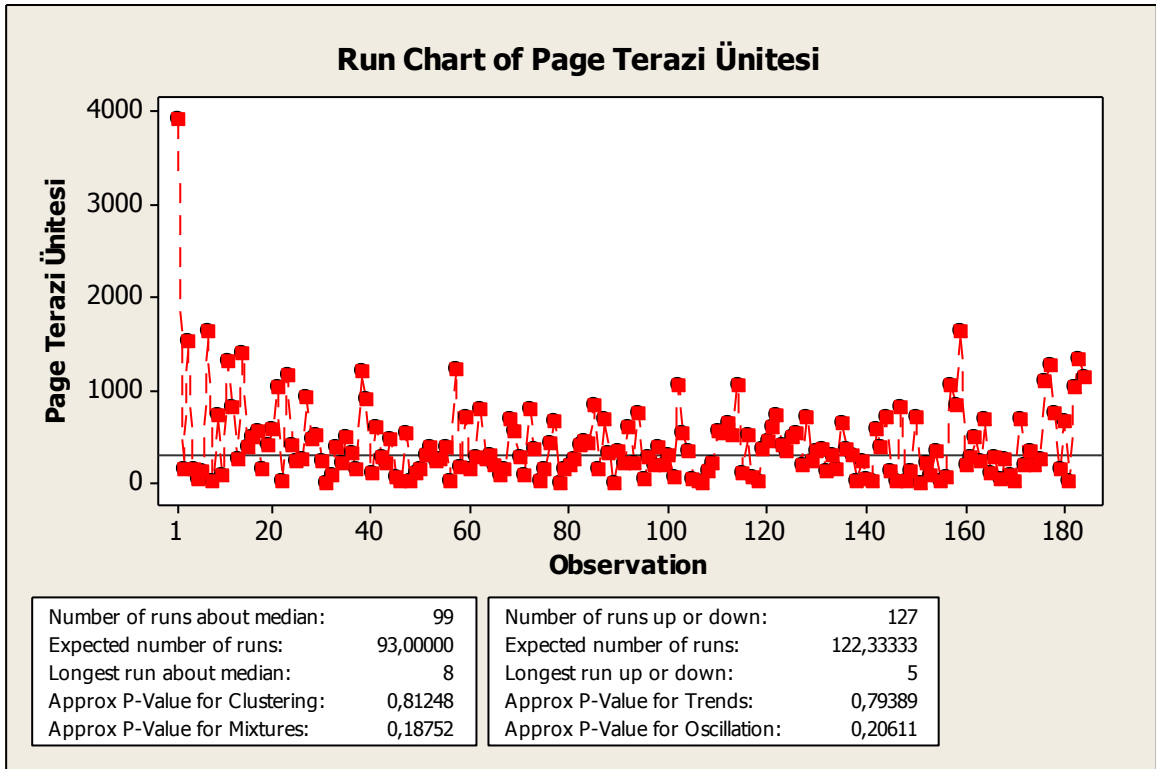
Tablo 21. Terazi ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Terazi Ünitesi | Run test sonuçları: Page Terazi Ünitesi |
|---|---|
| Runs above and below K = 289,849 | Runs above and below K = 423,872 |
| The observed number of runs = 101 | The observed number of runs = 85 |
| The expected number of runs = 105,797 | The expected number of runs = 86,2065 |
| 77 observations above K; 164 below | 67 observations above K; 117 below |
| P-value = 0,476 | P-value = 0,847 |

Şekil 69'de Marion verileri sadece kümelenme ve veri eğiliminde diğerlerinde daha fazla sıkıntı yaşadığı ama veri dağılımının yine de bağımsız olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 70'de ise page verilerine ait p değerlerine bakılırsa, en fazla sorunun veri karışımı ve veri salınımından kaynaklı olduğu fakat veri bağımsızlığını değiştirecek düzeyde olmadığı görülür.



Şekil 69. Marion terazi ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri



Şekil 70. Page terazi ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

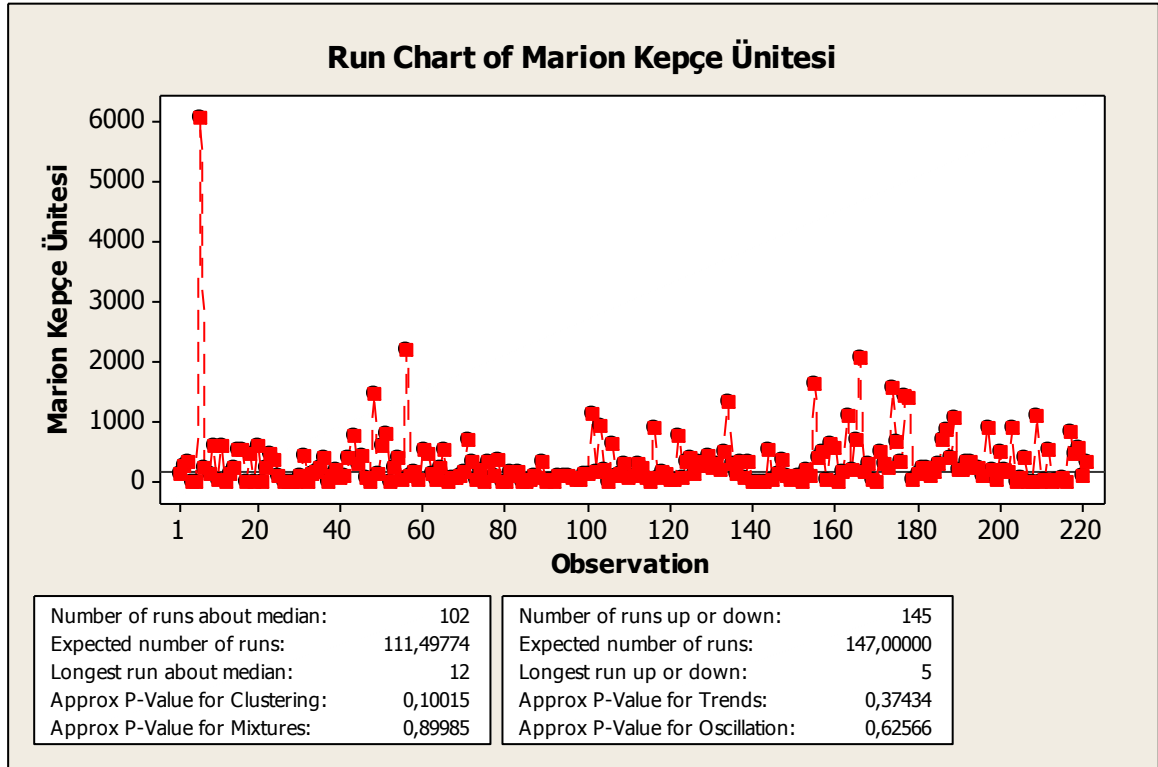
4.5.4 Kepçe Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Çekme kepçelerine ait veri dağılıma ait test, hem Page hem de Marion için verilerin rastgele dağıldığını göstermektedir (Tablo 22).

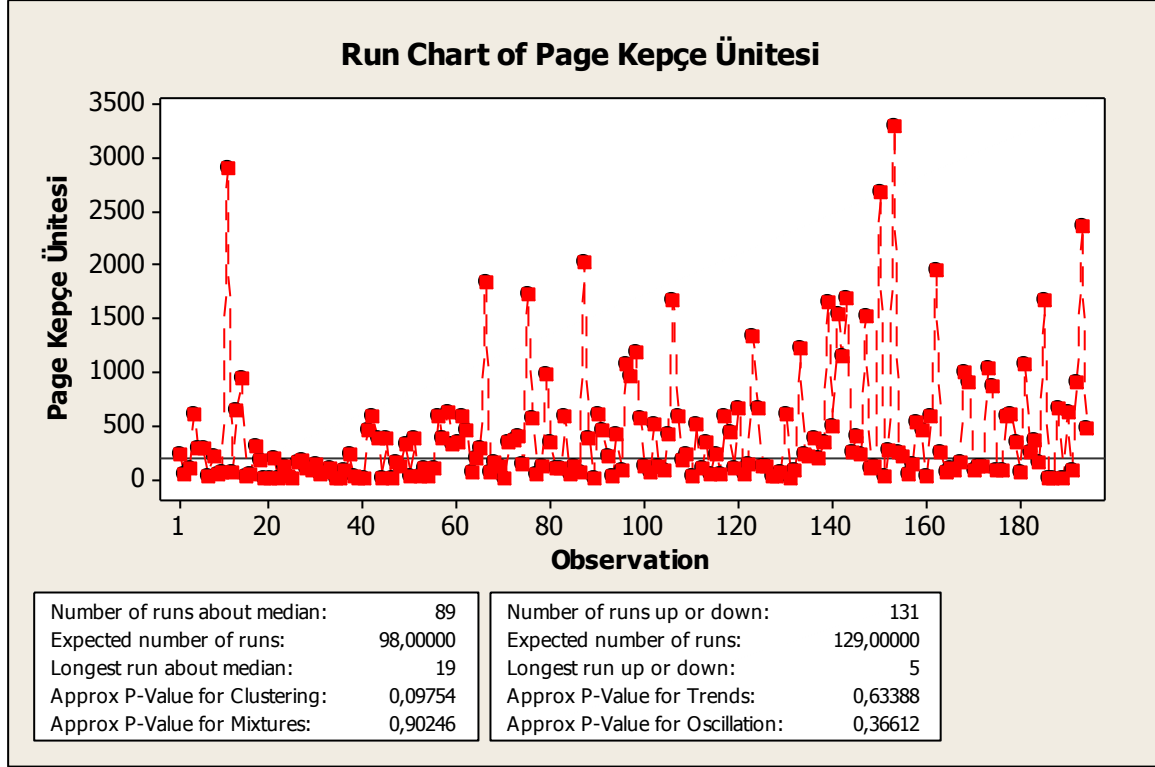
Tablo 22. Kepçe ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Kepçe Ünitesi | Run test sonuçları: Page Kepçe Ünitesi |
|--|--|
| Runs above and below K = 321,168 | Runs above and below K = 411,116 |
| The observed number of runs = 102 | The observed number of runs = 74 |
| The expected number of runs = 98,0860 | The expected number of runs = 83,8866 |
| 72 observations above K; 149 below | 60 observations above K; 134 below |
| P-value = 0,548 | P-value = 0,095 |

Şekil 71'de ortalama değerin aşağısında ve yukarısında toplanmış olan verilerin kümelenmesi dair p değeri veri karışımı, salınımı ve eğilimine göre daha azdır fakat bu dağılım değerlerinin hiçbirisi istatistiki olarak önemli derecede değildir. Yani Marion için veri rastgele dağılmıştır. Şekil 72'de Page kepçe ünitesi verileri de Marion'a benzer şekilde bağımsız bir dağılım sergilemektedir.



Şekil 71. Marion kepçe ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri



Şekil 72. Page kepçe ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

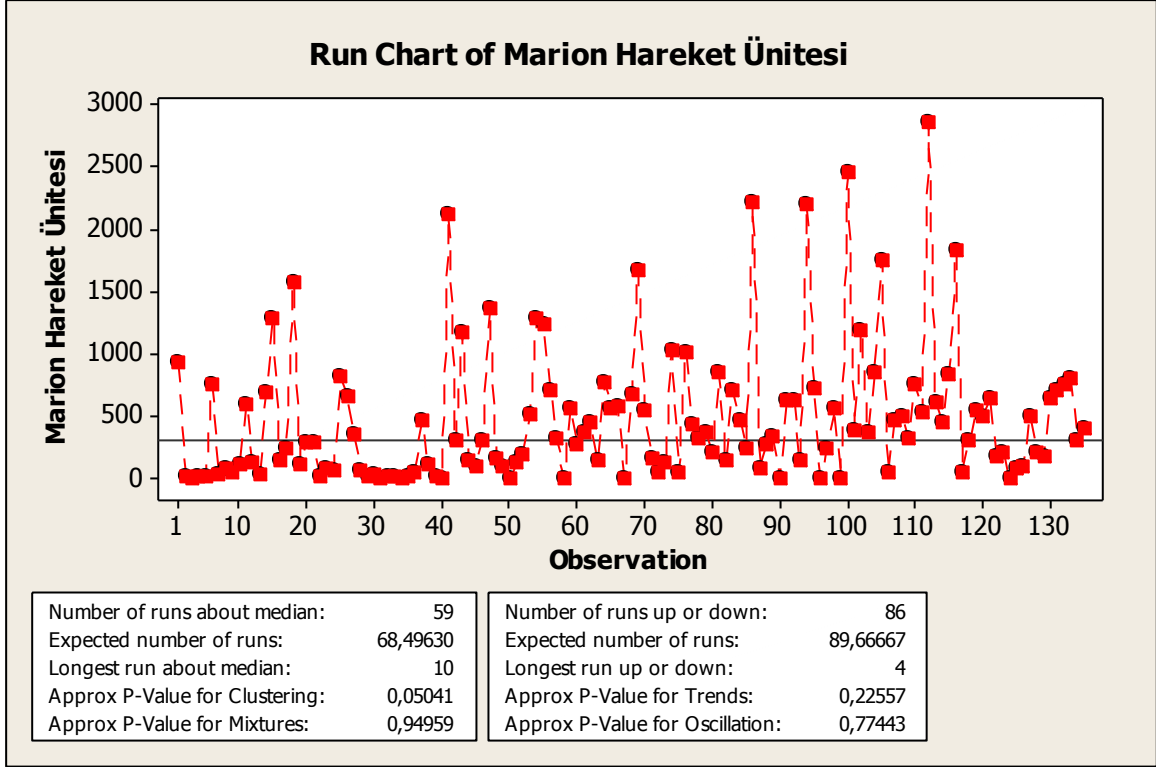
4.5.5 Hareket Ünitesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Marion hareket ünitesi için p değeri 0,412; Page için ise 0,042 olarak bulunmuştur (Tablo 23). Özellikle Page'e ait veriler sınır değerlere yakın olup daha sık bir dağılım sergilemektedir.

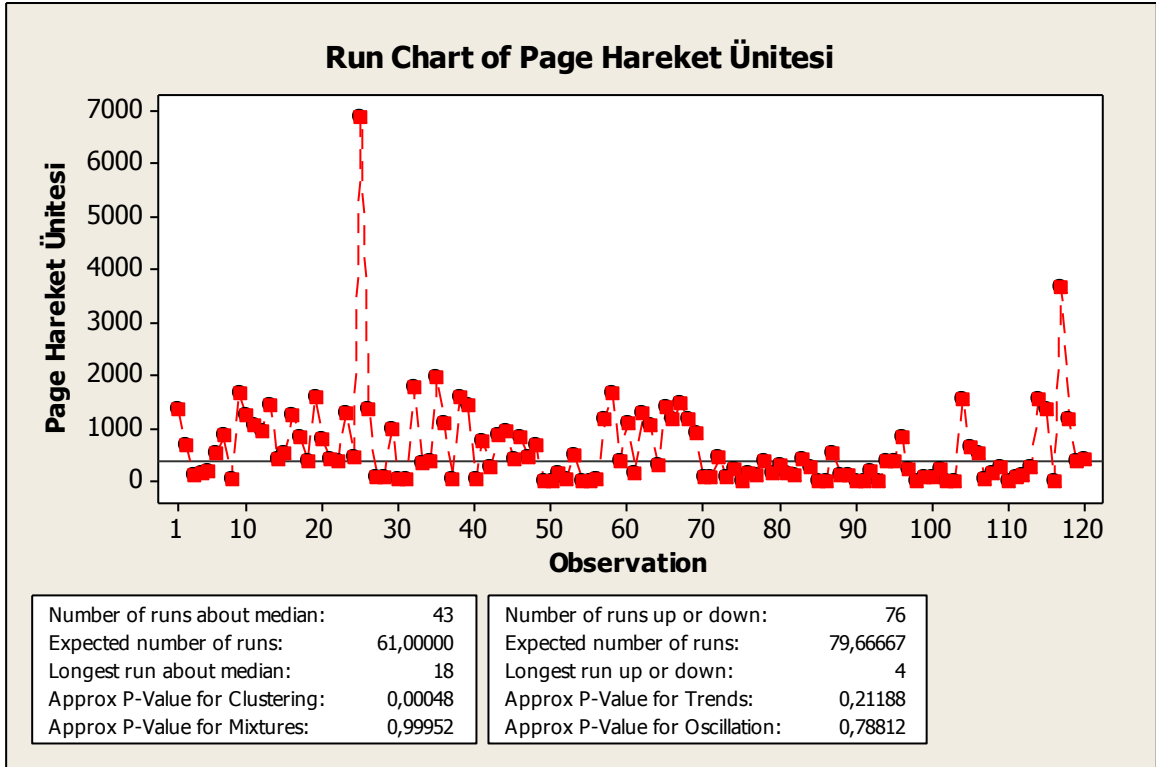
Tablo 23. Hareket ünitelerinin tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Hareket Ünitesi | Run test sonuçları: Page Hareket Ünitesi |
|--|--|
| Runs above and below K = 482,110 | Runs above and below K = 619,364 |
| The observed number of runs = 60 | The observed number of runs = 46 |
| The expected number of runs = 64,4667 | The expected number of runs = 56,1833 |
| 51 observations above K; 84 below | 43 observations above K; 77 below |
| P-value = 0,412 | P-value = 0,042 |

Şekil 73'deki ve Şekil 74'deki her iki dağılımda, özellikle kümelenme, daha sonrasında ise veri eğilimi konusunda bir hassasiyet olduğu görülmektedir. Marion için bu değerler 0,01'in yukarısında olmasına rağmen Page'in verilerindeki kümelenme davranışı istatistiki olarak önemlidir. Veriler yine de rastgele bir dağılım içindedirler.



Şekil 73. Marion hareket ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri



Şekil 74. Page hareket ünitesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

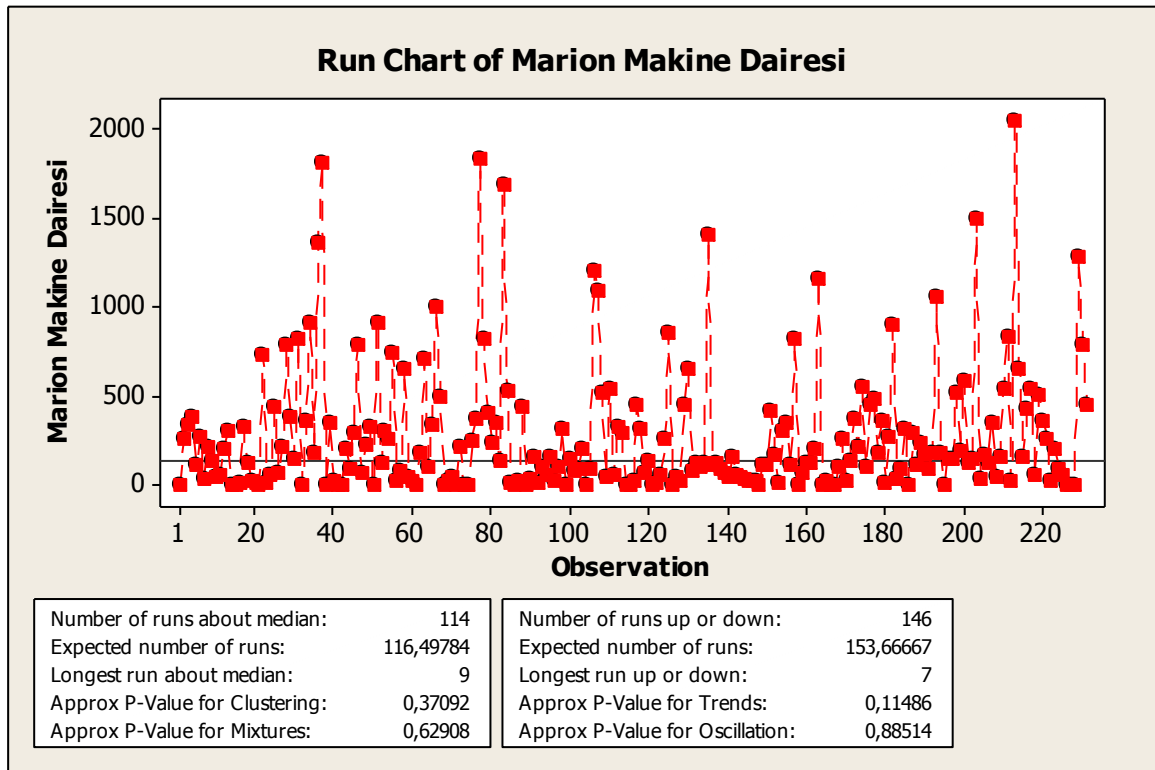
4.5.6 Makine Dairesi Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Tekrarlar sınavına göre elde edilen p değerleri, her iki çekme kepçenin makine dairesine ait olan verilerinin rastgele dağıldığını göstermiştir (Tablo 24).

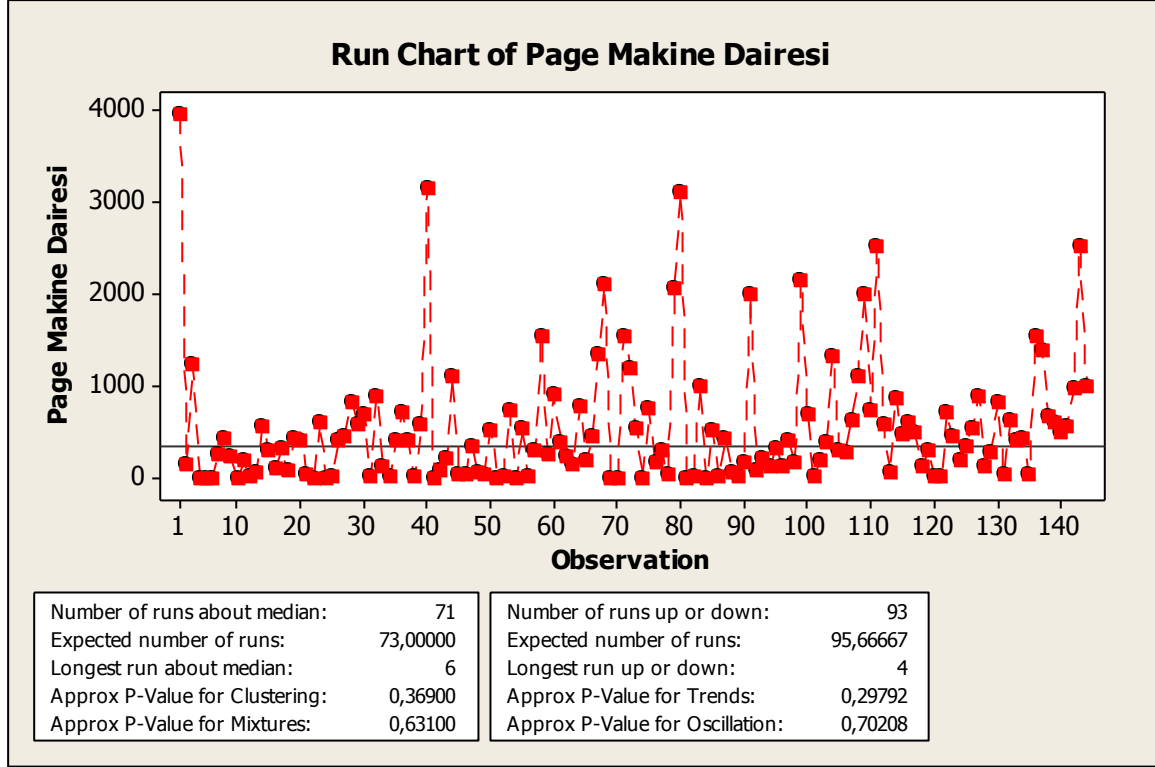
Tablo 24. Makine dairelerinin tekrarlar sınavına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Makine Dairesi | Run test sonuçları: Page Makine Dairesi |
|---|---|
| Runs above and below K = 274,957 | Runs above and below K = 546,345 |
| The observed number of runs = 102 | The observed number of runs = 61 |
| The expected number of runs = 102,299 | The expected number of runs = 66,2778 |
| 75 observations above K; 156 below | 50 observations above K; 94 below |
| P-value = 0,964 | P-value = 0,330 |

Şekil 75 ve Şekil 76 incelendiği zaman görülebilecek en büyük sorun veri eğilimidir. Fakat bu değer istatistiki olarak önemli değildir. Çekme kepçelerin makine dairelerinin verileri bağımsızdır.



Şekil 75. Marion makine dairesi verilerinin tekrarlar sınavına göre davranış değerleri



Şekil 76. Page makine dairesi verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

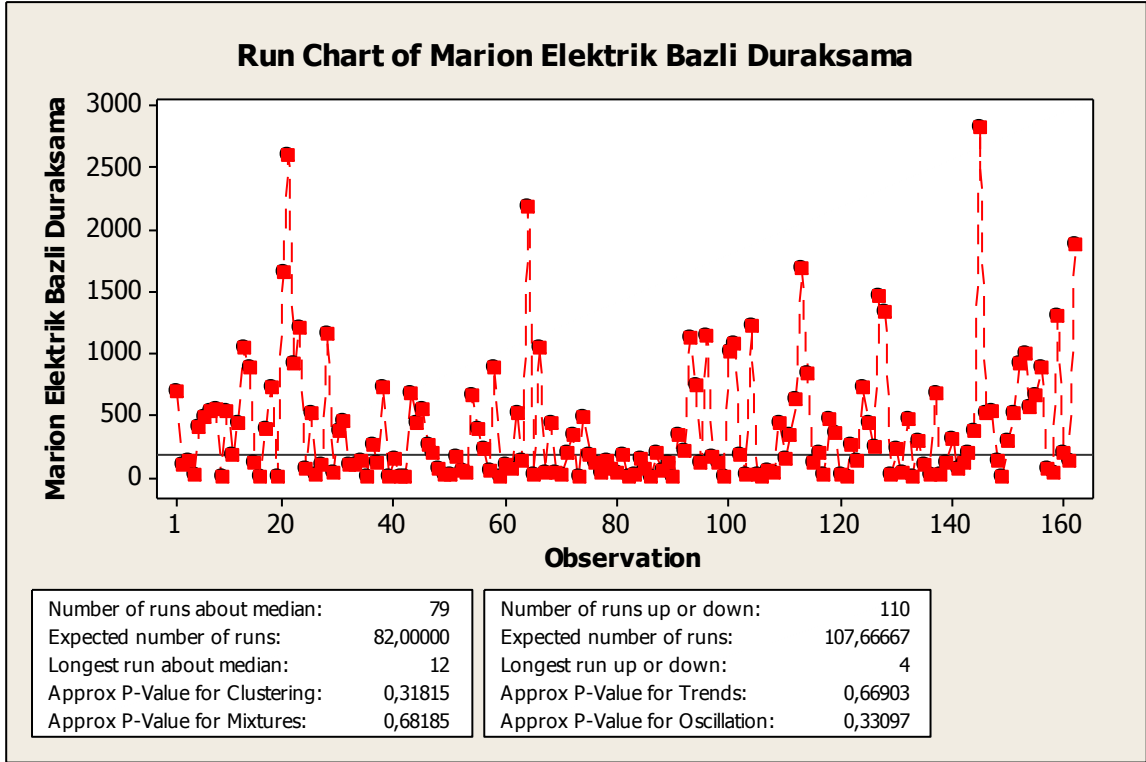
4.5.7 Elektrik Bazlı Duraksama Verilerinin Dağılımlarının Test Edilmesi

Çekme kepçeyi besleyen elektrik ünitelerine ait arızaların arasındaki süreler incelendiği zaman, Marion'un veri bağımsızlığı Page'den fazla olsa da, her iki veri grubu da rastgele (ve ya bağımsız) dağılmıştır (Tablo 25).

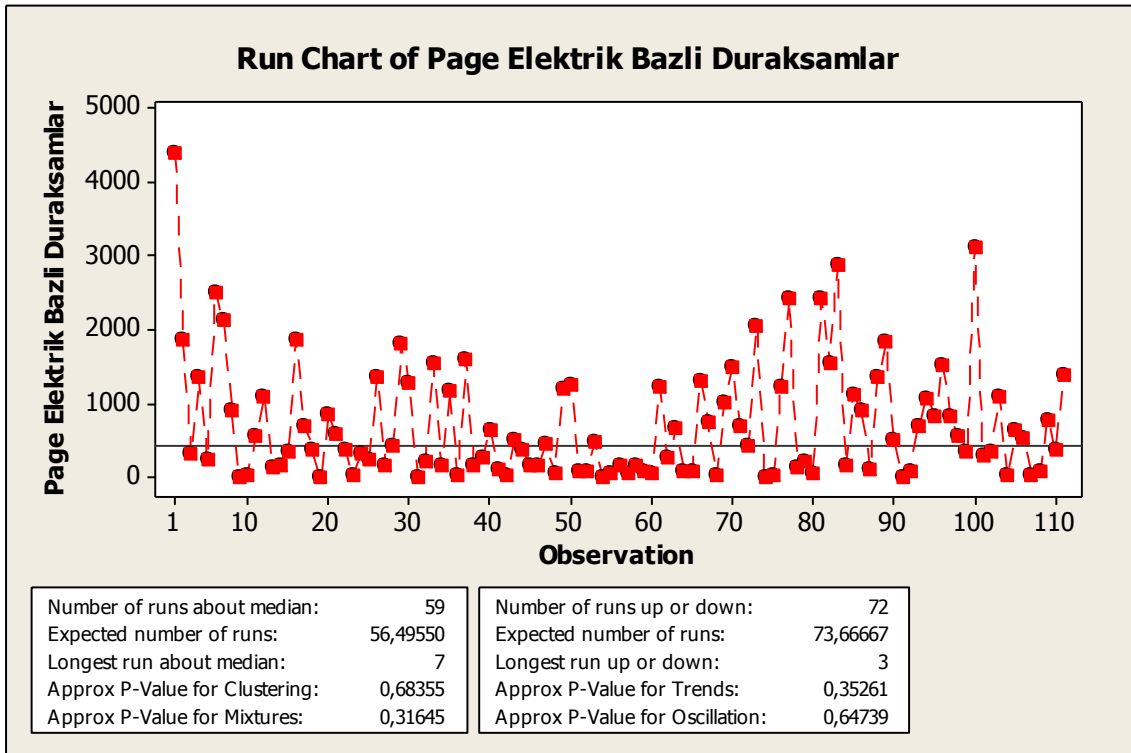
Tablo 25. Elektrik bazlı duraksamaların tekrarlar sınamasına (Run Test) göre rastgelelik dereceleri

| Run test sonuçları: Marion Elektrik Bazlı Duraksamalar | Run test sonuçları: Page Elektrik Bazlı Duraksamalar |
|---|---|
| Runs above and below K = 388,944 | Runs above and below K = 715,765 |
| The observed number of runs = 65 | The observed number of runs = 49 |
| The expected number of runs = 75,4691 | The expected number of runs = 52,1712 |
| 58 observations above K; 104 below | 40 observations above K; 71 below |
| P-value = 0,073 | P-value = 0,512 |

Şekil 77 ve Şekil 78 incelendiğinde, Marion verileri için en hassas durum veri kümelenmesi ve veri salınımı, Page için ise veri eğilimi ve veri karışımıdır. Fakat tüm değerler istatistiksel olarak öneme sahip değildir ve veri dağılımları bağımsızdır.



Şekil 77. Marion elektrik bazlı duraksama verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri



Şekil 78. Page elektrik bazlı duraksama verilerinin tekrarlar sınamasına göre davranış değerleri

4.6 Çekme-Kepçeli Yerkazarların Güvenilirlik Analizleri

Marion 7820 ve Page 736 marka çekme kepçeli yerkazarların, projenin birinci döneminde tespit edilen, alt ünitelerine ve bütün sisteme ait güvenilirlik modelleri ve güvenilirlik değerleri arıza verilerinin birbiri ile bağımsız oldukları ispat edildikten sonra hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular bu bölümde her bir üniteye ait güvenilirlik sonuçları ve bütün sistem güvenilirliği sonuçları olmak üzere alt başlıklar altında sunulmuştur. Bu bölümlerdeki mevcut grafik ve Tablolarda 0-100 saat arasındaki güvenilirlik değeri değişimleri gösterilmiştir. Geliştirilen modelde farklı zaman dilimleri için sistem güvenilirliğinin tespit edilmesi de mümkündür. Daha detaylı inceleme için Ek A1-A14'deki grafikler incelenebilir. Ek B1-B14'deki grafiklerde de farklı "q" değerleri ile her alt birim için güvenilirlik analiz sonuçları verilmiştir.

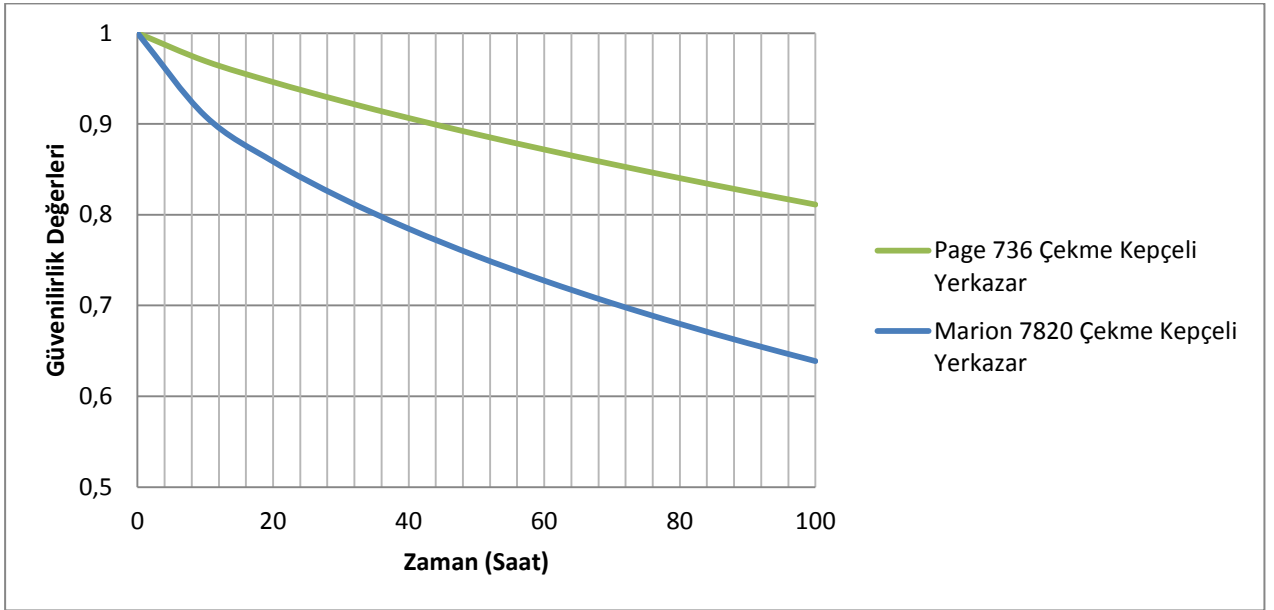
4.6.1 Çekme Kepçelerin Çekiş Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri

Çekme kepçeli yerkazarların kepçeleri zeminle ilk temasa geçtikleri anda yüksek gerilimlere maruz kalırlar. Bu gerilim yüklemesi kepçe doldurma işlemini bitirene kadar artarak devam eder. Bu periyot içerisinde yerkazarın özellikle çekiş ünitesine ait alt elemanları diğer ünitelere göre fiziki olarak daha fazla zorlanır. Bu üniteye plansız arızaların meydana gelme ihtimali zamana göre artış gösterir. Bu durum, ünitenin güvenilirliğinin hızlı düşüşüne neden olur. Bu üniteye arızaların çekme kepçenin sanal yaşındaki yerleri tespit edilerek RGA analizi yapılmış ve Tablo 26'deki parametreler elde edilmiştir. q onarım etki parametresi 0 olarak elde edilmiştir. Bu durum, arızalar karşısında yapılan onarımın çekiş ünitesinin sanal yaşının büyümesini kısıtladığını göstermiştir.

Tablo 26. Çekme kepçeli yerkazarların çekiş ünitelerinin GRP analiz parametreleri

| | Marion 7820 | Page 736 |
|-----------------|--------------|--------------|
| FI | Power Law | Power Law |
| Function | Type I | Type I |
| Beta | 0,737857917 | 0,880527595 |
| Lambda | 1,48E-02 | 7,34E-03 |
| q | 0 | 0 |
| LK Value | -1288,097154 | -1889,603561 |
| Beta(W) | 0,737857917 | 0,880527595 |
| Eta(W) | 303,2045008 | 265,4067854 |
| RF | 1 | 1 |

Şekil 79 ve Tablo 27’de bu durumu destekleyecek sonuçlara ulaşılmıştır. 1998-2011 tarihleri arasında Page’e ait 311, Marion’a ait 216 adet çekiş ünitesi arızası tespit edilmiş ve bu arızaların çekme kepçenin sanal yaşı (virtual age) içerisinde meydana geldiği zamanlar tespit edilmiştir. Uygulanan Genel Yenileme Süreci (GRP) hem Page hem de Marion’un arızasız çalışma ihtimallerinin 40 ile 50. saat arası %80’nin altına indiğini göstermektedir. Aynı zamanda, aşağıdaki grafikte özellikle ilk 12 saat içerisinde Marion’un çekiş ünitesinde arıza görülme ihtimalinin Page’e göre daha fazla olduğunu, bu süre içerisinde Marion’un çekiş ünitesinin güvenilirliğinde hızlı bir düşüş olduğunu göstermiştir.



Şekil 79. Çekme kepçelerin çekiş ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

Tablo 27. Çekme kepçeli yerkazarların çekiş ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PAGE | 0.9458 | 0.9025 | 0.8636 | 0.8278 | 0.7946 | 0.7634 | 0.734 | 0.7062 | 0.6799 | 0.6548 |
| MARION | 0.9225 | 0.8741 | 0.8341 | 0.799 | 0.7676 | 0.7389 | 0.7125 | 0.6879 | 0.6649 | 0.6433 |

4.6.2 Çekme Kepçelerin Kaldırış Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri

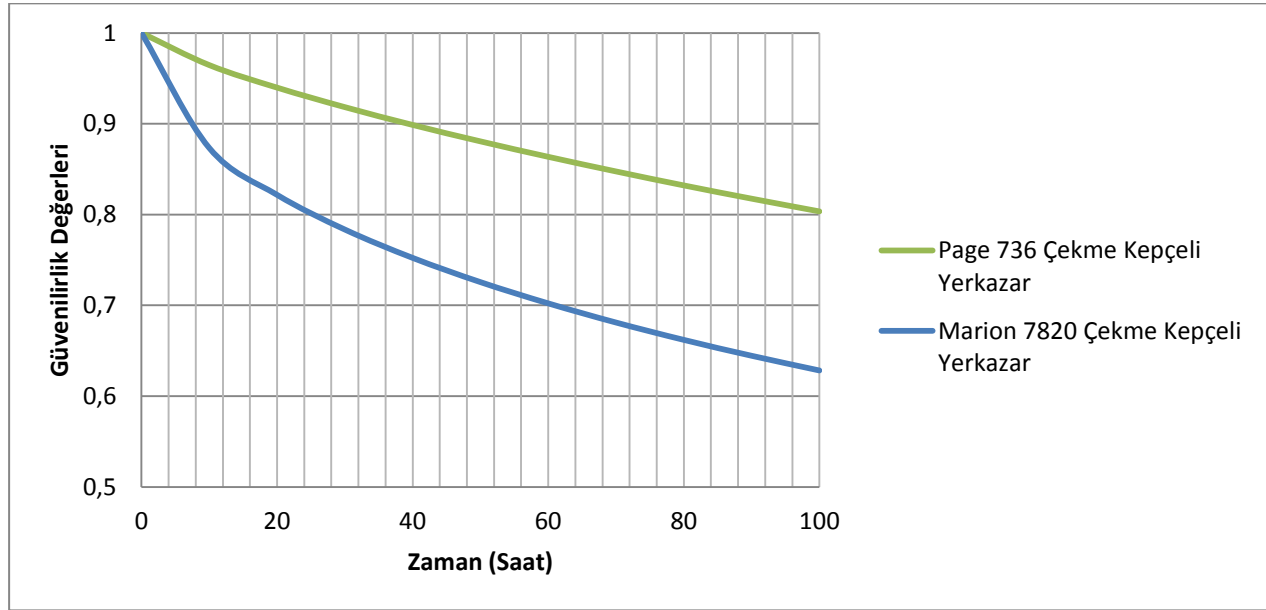
Çekme kepçeli yerkazarın, kepçesine malzeme doldurma ve dönüş hareketi ile boşaltma işlemleri arasındaki zamanda dönme hareketinin kazandırdığı merkez kaç kuvveti, kepçe ve malzemenin ağırlığı ile fazladan yüklenen kaldırış ünitesi, 13 yıllık süreç içerisinde, Page için 144, Marion için ise 137 kez arıza vermiştir. Bunlar yaklaşık olarak Page ve Marion için 5974 ve 4434 saat duraksamalara neden olmuştur. İlgili arıza verileriyle yapılan GRP analizleri

sonucu, çekiş ünitesine benzer sonuçlar elde edilmiş, onarım işlemlerinin sistemin sanal yaşının büyümesini kısıtladığı görülmüştür (Tablo 28).

Tablo 28. Çekme kepçeli yerkazarların kaldırış ünitelerinin GRP analiz parametreleri

| | Marion 7820 | Page 736 |
|-----------------|--------------|--------------|
| FI | Power Law | Power Law |
| Function | Type I | Type II |
| Beta | 0,535297493 | 0,78306208 |
| Lambda | 3,95E-02 | 5,94E-03 |
| q | 0 | 0 |
| LK Value | -727,0331482 | -783,8745084 |
| Beta(W) | 0,535297493 | 0,78306208 |
| Eta(W) | 418,4374286 | 696,1470716 |
| RF | 1 | 1 |

Şekil 80 ve Tablo 29'da da görüldüğü gibi Page'in bu ünitedeki güvenilirliği Marion'a göre daha yüksektir.



Şekil 80. Çekme kepçelerin kaldırış ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

Tablo 29. Çekme kepçeli yerkazarların kaldırış ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PAGE | 0.9646 | 0.9398 | 0.9183 | 0.8987 | 0.8806 | 0.8636 | 0.8475 | 0.8321 | 0.8175 | 0.8035 |
| MARION | 0.8733 | 0.8217 | 0.7835 | 0.7523 | 0.7256 | 0.7022 | 0.6811 | 0.662 | 0.6445 | 0.6283 |

4.6.3 Çekme Kepçelerin Terazi Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri

Kepçenin ağızının aşağı yukarı salınımına izin veren halatların ve kepçenin dengesinin sabitlenmesini sağlayan destek plakalarının bulunduğu terazi ünitesi kaldırış ünitesine göre daha fazla arıza verdiği gözlemlenirse de arızalar genellikle kısa sürede geri onarılmaktadır. Page için gerçekleşen 187 arıza yaklaşık 389 saatte, Marion için gerçekleşen 244 arıza ise 713 saatte onarılmıştır. Arızaların olma sıklığının ve arızalar arasındaki birikimsel sürelerin önem taşıdığı güvenilirlik analizlerinde, Marion'un terazi ünitesine ait bakım ve onarım işlemlerinin daha hassas yürütülmesi gerektiği görülmüştür (Tablo 30).

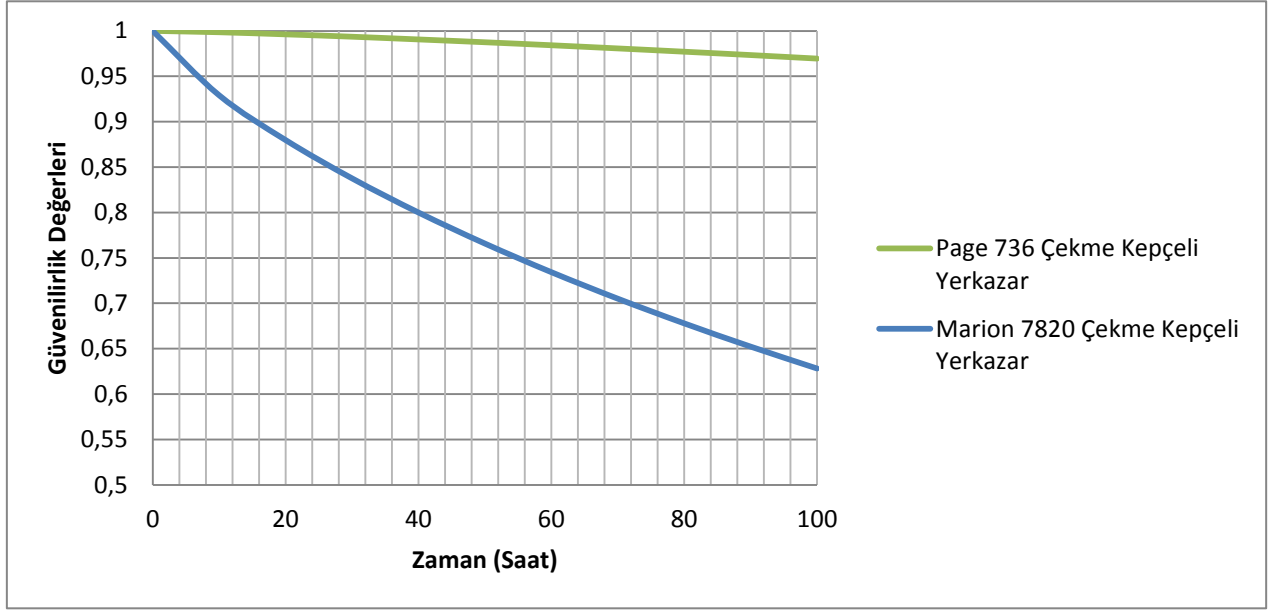
Tablo 30. Çekme kepçeli yer kazıkların terazi ünitelerinin GRP analiz parametreleri

| | Marion 7820 | Page 736 |
|-----------------|--------------------|-----------------|
| FI | Power Law Type | Power Law Type |
| Function | I | I |
| Beta | 0,800800422 | 1,300119158 |
| Lambda | 0,011634012 | 7,77E-05 |
| q | 0 | 1 |
| LK Value | -1600,142009 | -1295,966343 |
| Beta(W) | 0,800800422 | 1,300119158 |
| Eta(W) | 260,2683966 | 1449,140503 |
| RF | 1 | 0 |

Şekil 81 ve Tablo 31'de gösterildiği gibi, Page'in terazi ünitesi uzun süreli olarak güvenilirliği korumasına rağmen, Marion hızlı bir düşüş grafiği içerisindedir. Marion, 40. saatin sonunda 80%, 70. saatin sonunda ise 70% güvenilirlik değerlerinin altına düşmektedir. Page ise 100. çalışma saatinde bile 95%'in üzerinde bir güvenilirlik göstermektedir.

Tablo 31. Çekme kepçeli yer kazıkların terazi ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| PAGE | 0.9985 | 0.9962 | 0.9936 | 0.9906 | 0.9875 | 0.9842 | 0.9807 | 0.9771 | 0.9734 | 0.9695 |
| MARION | 0.9291 | 0.8798 | 0.8376 | 0.8 | 0.7658 | 0.7343 | 0.7051 | 0.6779 | 0.6523 | 0.6282 |



Şekil 81. Çekme kepçelerin terazi ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

4.6.4 Çekme Kepçelerin Kepçe Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri

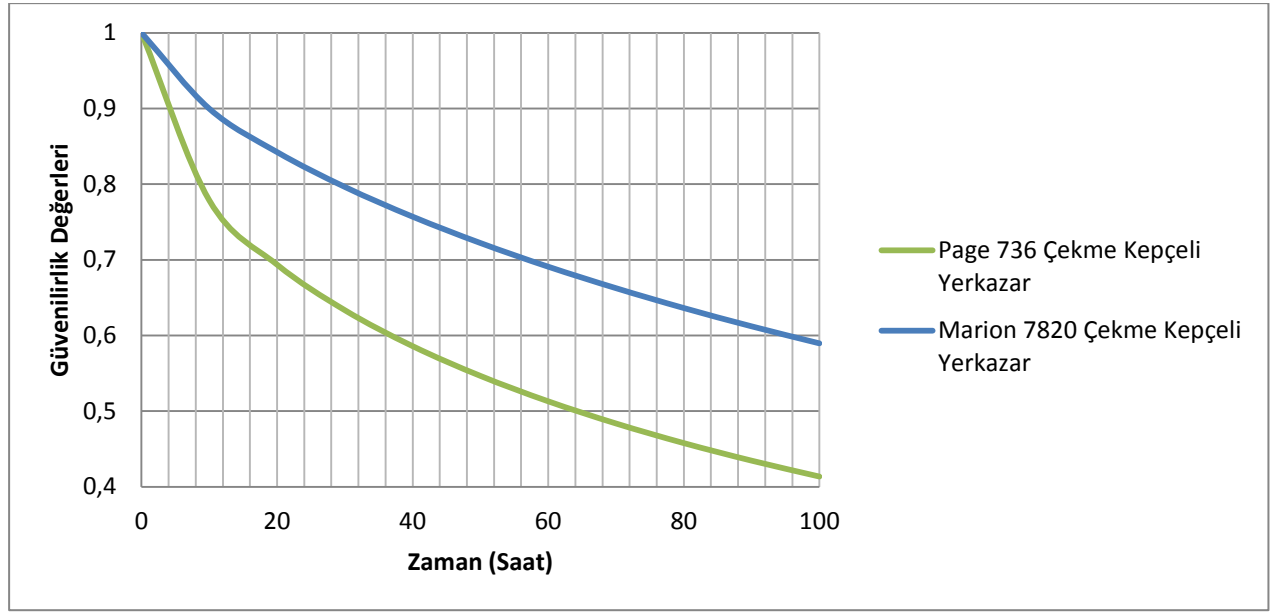
Tüm yerkazarlarda zeminle ilk teması, makine ön elemanlarına bağlanmış kesici uçlar ile gerçekleştirilmektedir. Çekme kepçeli yerkazarlarda da bu görevi kepçe uçlarında bulunan, genellikle takoz şeklindeki kesici dişler gerçekleştirir. Öncelikle, belirli bir açıyla zemine saplanmış kepçe ağırlığıyla zemin yarılar ve daha sonra çekiş ünitesinin yardımıyla yarıma derinliği boyunca zemin kesme işlemi gerçekleştirilir. Örtü kazı işleminin ana safhalarının gerçekleştiği bu aşamalarda, yerkazarın zeminle olan tüm etkileşimi kepçe ve onun ekipmanları vasıtasıyla gerçekleşir. Bu nedenle, çekme kepçeli yerkazarın aktif şekilde örtü kazı işlemini gerçekleştirdiği zamanlarda, özellikle kesici dişlerle ilgili sıkıntılar çıkabilir. Karşılaşılan arızalar bu ünite için genellikle kısa sürede giderilmekte, kesici dişler yenileriyle değiştirilmektedir. Tablo 32'deki parametreler bu durumu destekler biçimdedir. Sorunlu parçalardaki onarım işlemleriyle kepçe ünitesinin sanal yaşının artması kısıtlanmaktadır.

Tablo 32. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitelerinin GRP analiz parametreleri

| | Marion 7820 | Page 736 |
|-----------------|----------------|----------------|
| FI | Power Law Type | Power Law Type |
| Function | I | I |
| Beta | 0,699031972 | 0,547503848 |
| Lambda | 2,11E-02 | 7,09E-02 |
| q | 5,50E-05 | 5,17E-03 |

| | | |
|-----------------|--------------|--------------|
| LK Value | -1475,491077 | -1344,668299 |
| Beta(W) | 0,699031972 | 0,547503848 |
| Eta(W) | 249,0966284 | 125,5353369 |
| RF | 0,999944998 | 0,994834321 |

Her iki çekme kepçe de zamana bağlı hızlı bir güvenilirlik kaybı içindedir. Özellikle Page 736'nın GRP analiz sonuçları 20 saat içerisinde %70 değerlerine inmiştir (Şekil 82 ve Tablo 33).



Şekil 82. Çekme kepçelerin kepçe ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

Tablo 33. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PAGE | 0.7786 | 0.6936 | 0.6334 | 0.5859 | 0.5466 | 0.513 | 0.4837 | 0.4578 | 0.4346 | 0.4136 |
| MARION | 0.8997 | 0.8424 | 0.7963 | 0.757 | 0.7222 | 0.6909 | 0.6625 | 0.6363 | 0.6121 | 0.5896 |

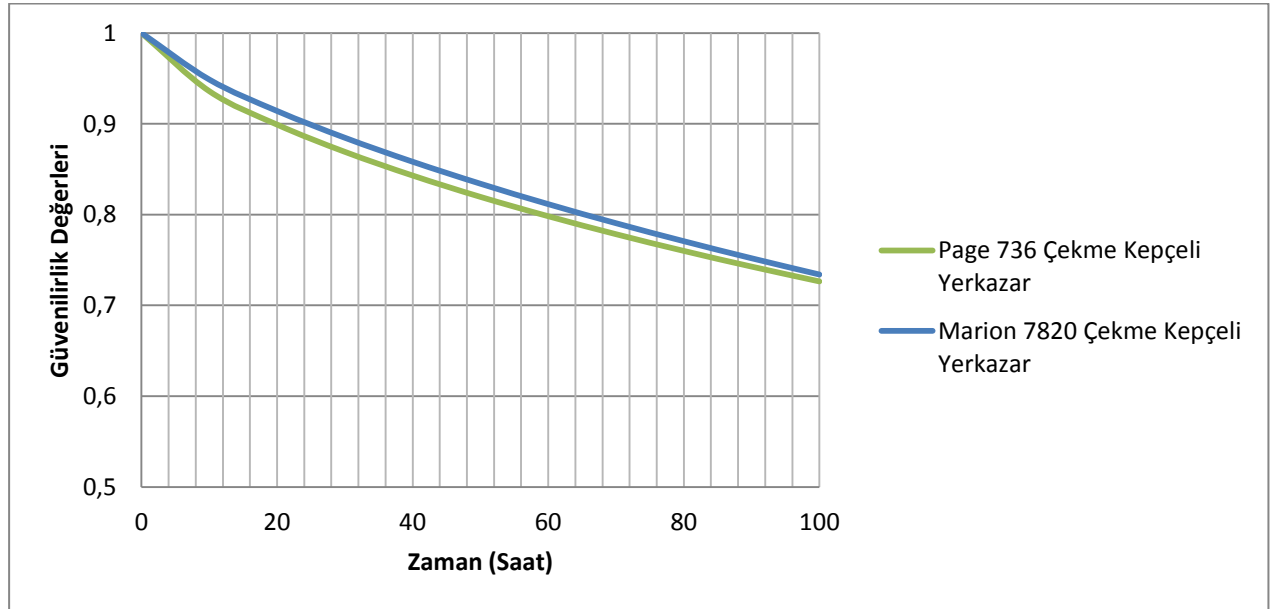
4.6.5 Çekme Kepçelerin Hareket Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri

Çekme kepçeler, buklarının rutin dönüş hareketiyle kazı alanından çıkardıkları malzemeyi boşaltım sahasına dökerler. Bu esnada, ana gövdeleri zeminde hareketsiz şekilde durmaktadır. Kazı açısı ve derinliğinin izin verdiği ölçüde çalışmalarını bitiren çekme kepçeli yerkazarlar, ağırlık merkezini dengeleyecek hafif eğimli özel bir hareket şekliyle, kendisini yeni kazı alanına taşırlar. Hem bu taşıma esnasında hem de kazı esnasındaki dönme işleminde kullanılan parçalar hareket ünitesi içerisinde geçmektedir. Çalışma çapı geniş olan

bu ağır makinaların özellikle kendi etraflarında dönüşlerini sağlayan mekanizmalarda arızalar görülebilmektedir. Şekil 83 ve sayısal verilerin mevcut olduğu Tablo 35’de görüldüğü gibi, her iki çekme kepçeli yerkazarın hareket ünitelerinin güvenilirlik değerleri aynı paralelde bir yol izlemektedir. Her iki yerkazarın hareket ünitesinin, 60 ile 70. saat arasında arızalanma ihtimali yaklaşık %20’dir.

Tablo 34. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitelerinin GRP analiz parametreleri

| Column1 | Marion 7820 | Page 736 |
|-----------------|----------------|----------------|
| FI | Power Law Type | Power Law Type |
| Function | I | I |
| Beta | 0,768375495 | 0,683879951 |
| Lambda | 8,98E-03 | 1,37E-02 |
| q | 0 | 0 |
| LK Value | -959,6489099 | -883,6465528 |
| Beta(W) | 0,768375495 | 0,683879951 |
| Eta(W) | 460,7059825 | 529,9280291 |
| RF | 1 | 1 |



Şekil 83. Çekme kepçelerin hareket ünitelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

Tablo 35. Çekme kepçeli yerkazaların hareket ünitelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PAGE | 0.9359 | 0.8991 | 0.8691 | 0.843 | 0.8195 | 0.7982 | 0.7784 | 0.76 | 0.7427 | 0.7264 |
| MARION | 0.9487 | 0.9141 | 0.8846 | 0.8582 | 0.834 | 0.8115 | 0.7905 | 0.7707 | 0.7519 | 0.734 |

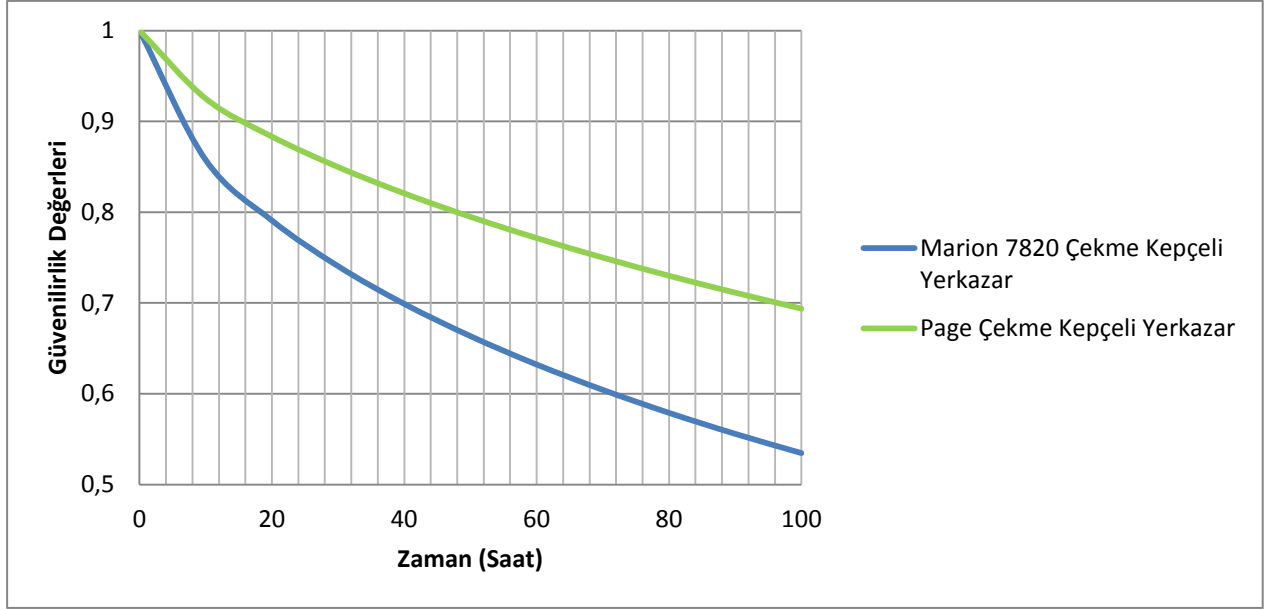
4.6.6 Çekme Kepçelerin Çekiş Ünitelerinin Güvenilirlik Analizleri

Yüksek ölçekte zemin kazısı gerçekleştiren bu yerkazaların, çekme, kaldırma, hareket gibi aktivitelerini gerçekleştirmek için pek çok motor ve jeneratör birbiriyle uyumlu şekilde görev yapmaktadır. Özellikle zorlu koşullarda çalışan yerkazarlarda sık sık jeneratör arızaları görülmektedir. Bu üniteye yaşanabilecek arızalar, diğer ünitelere göre daha uzun onarım süresi gerektirebilmekte ve yerkazarın çalışma verimliliğini daha çok etkileyebilmektedir. Tablo 36, onarım işlemlerinin bu üniteye birimlerin sanal yaşının artmasını sınırlandırdığını göstermiştir.

Tablo 36. Çekme kepçeli yerkazaların makine dairelerinin GRP analiz parametreleri

| Column1 | Marion 7820 | Page 736 |
|--------------------|---------------------|----------------------|
| FI Function | Power Law Type I | Power Law Type II |
| Beta | 0,609874824 | 0,671482185 |
| Lambda | 3,77E-02 | 1,66E-02 |
| q | 0 | 0 |
| LK Value | -1488,427859 | -1027,610156 |
| Beta(W) | 0,609874824 | 0,671482185 |
| Eta(W) | 215,5130202 | 447,63027 |
| RF | 1 | 1 |

Şekil 84 ve Tablo 37'deki sonuçlarda, özellikle Marion'un ilerleyen zaman içerisinde bu ünite içinde bir sorunla karşılaşılma riskinin fazla olduğunu göstermiştir. Marion 10 saatlik çalışma süresinin sonunda bile %85'lik bir güvenilirlik süresine inmiştir.



Şekil 84. Çekme kepçelerin makine dairelerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

Tablo 37. Çekme kepçeli yerkazarların makine dairelerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| PAGE | 0.9251 | 0.8833 | 0.8497 | 0.8207 | 0.7949 | 0.7715 | 0.75 | 0.73 | 0.7114 | 0.6938 |
| MARION | 0.8575 | 0.7909 | 0.7405 | 0.699 | 0.6635 | 0.6322 | 0.6043 | 0.579 | 0.5559 | 0.5347 |

4.6.7 Çekme Kepçelerin Enerji Kaynağı Birimlerinin Güvenilirlik Analizleri

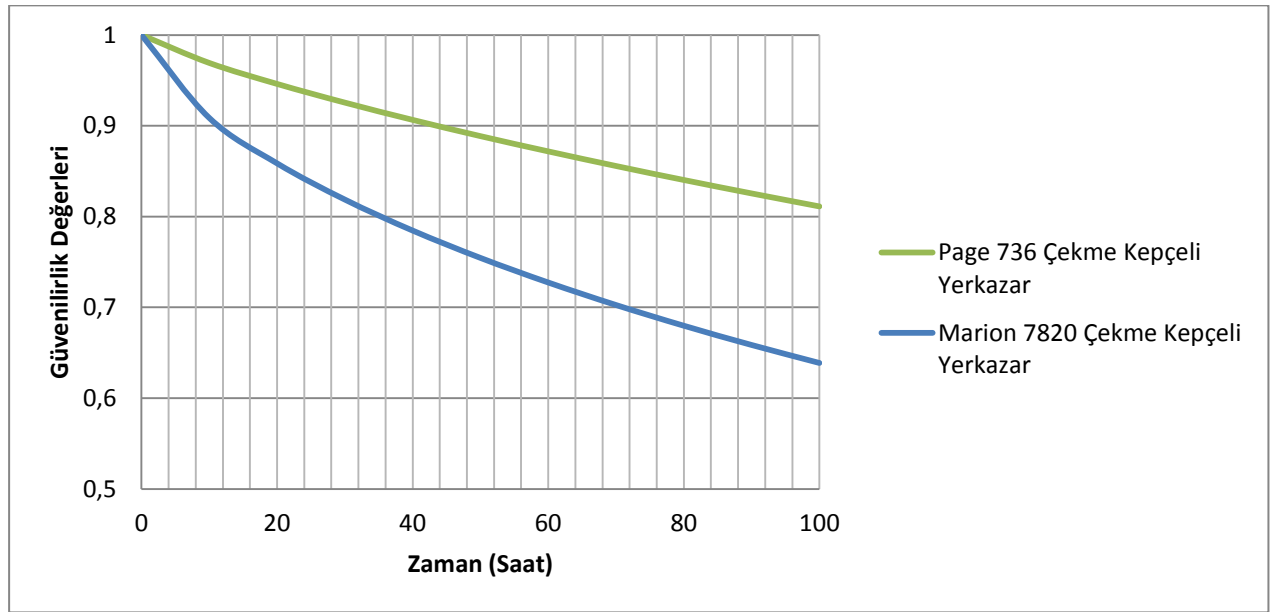
Yüksek üretim yapabilen çekme kepçeli yerkazarların birçoğu enerjilerini kendileri için ayarlanmış yüksek gerilim hatlarından tedarik ederler. Elektrik, çekme kepçeli yerkazara kalın kablolar aracılığıyla ulaştırılır. Çekme kepçenin beslendiği bu ünite, çekme kepçenin verimliliğini iç faktör olarak değil dış faktör olarak etkilemektedir. Sağlıklı bir besleme ünitesi çekme kepçenin kullanılabilirlik süresini arttıracaktır.

Tablo 38. Çekme kepçeli yerkazarların enerji kaynağı birimlerinin GRP analiz parametreleri

| Column1 | Marion 7820 | Page 736 |
|-------------|------------------|-------------------|
| FI Function | Power Law Type I | Power Law Type II |
| Beta | 0,669765571 | 0,825214484 |
| Lambda | 2,05E-02 | 4,68E-03 |
| q | 0 | 0 |

| | | |
|-----------------|--------------|--------------|
| LK Value | -1112,485087 | -832,1305669 |
| Beta(W) | 0,669765571 | 0,825214484 |
| Eta(W) | 331,4947446 | 665,8663624 |
| RF | 1 | 1 |

1998-2011 yılları elektrik iletim arızalarına yönelik yapılan GRP analizi incelendiği zaman, Marion'a gelen elektrik akımında bir sorun yaşanma ihtimali Page'e göre fazla olduğu görülmektedir (Şekil 85 ve Tablo 39). 40. saate kadar bir arızayla karşılaşılma ihtimali Page için %10, Marion için %20'dir.



Şekil 85. Çekme kepçelerin enerji kaynağı birimlerinin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

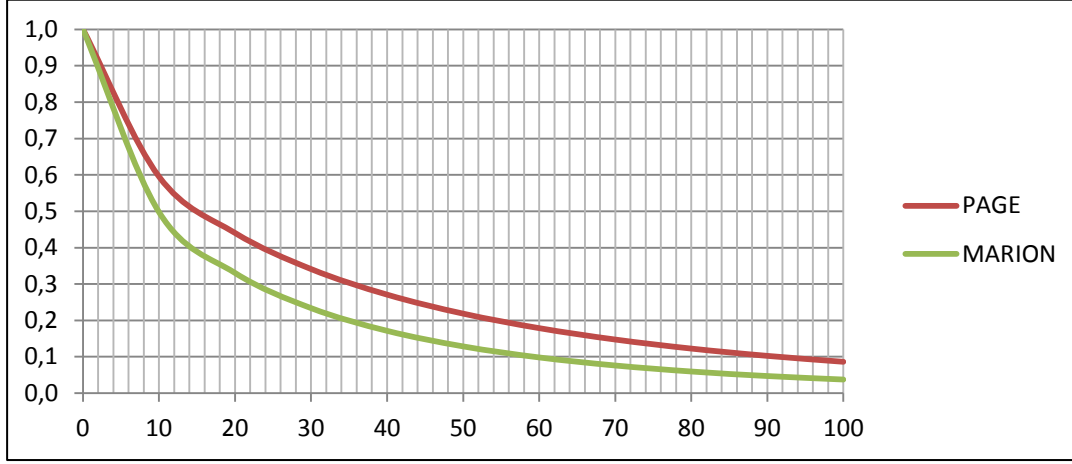
Tablo 39. Çekme kepçeli yerkazarların enerji kaynağı birimlerinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PAGE | 0.9692 | 0.9461 | 0.9255 | 0.9065 | 0.8886 | 0.8718 | 0.8557 | 0.8403 | 0.8255 | 0.8112 |
| MARION | 0.9086 | 0.8586 | 0.8187 | 0.7846 | 0.7545 | 0.7274 | 0.7026 | 0.6798 | 0.6586 | 0.6388 |

4.6.8 Çekme Kepçelerin Sistem Geneli İçin Güvenilirlik Analizleri

Alt-sistemlerin güvenilirlik analizlerinden yararlanılarak sistemin genel güvenilirliği hesaplanmıştır. Alt-sistemlerden herhangi birinde bir arıza olması çekme kepçenin durmasına sebep verdiği için sistemin güvenilirliği bu alt sistemlerin güvenilirliklerinin

çarpımından elde edilmiştir. Şekil 35 ve Tablo 40'da 2 çekme kepçenin de 100 saat içinde güvenilirliklerindeki düşüş gösterilmiştir.



Şekil 86. Çekme kepçelerin zamana bağlı güvenilirlik değişimleri

Tablo 40. Çekme kepçeli yerkazarların güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimi

| | 10h | 20h | 30h | 40h | 50h | 60h | 70h | 80h | 90h | 100h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PAGE | 0,5952 | 0,4403 | 0,3411 | 0,2708 | 0,2186 | 0,1787 | 0,1474 | 0,1225 | 0,1026 | 0,0863 |
| MARION | 0,4978 | 0,3304 | 0,2338 | 0,1713 | 0,1286 | 0,0982 | 0,0761 | 0,0596 | 0,0471 | 0,0375 |

4.7 Çekme-Kepçeli Yerkazar Ünitelerinin Alt Bileşenlerinin Arıza Davranışlarının İncelenmesi ve Arıza Dağılımlarının Belirlenmesi

Çekme kepçeli yerkazar için yapılacak hata ağacı analizinden öncesinde sistemin tamamı alt ünitelere, üniteler ise alt bileşenlerine ayrılmıştır. Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra alt bileşenlerin her birinin arıza davranışlarının incelenmesi ve sistem içerisindeki konumunun ve öneminin belirlenmesi gerekmektedir. Her bir bileşenin 13 yıllık sürede duraksamalara katkıları tespit edilmiştir. Bunun için, çalışır durumda oldukları sürelerden, makinanın sanal yaşından, yani arızalar arasındaki sürelerin toplamından yararlanılmıştır. Her bir parça, makinanın sanal yaşının belirli noktalarında arıza vermektedir. Aynı parçanın bir sonraki arızaya geçişindeki sanal yaşıyla arasındaki fark parçanın kullanım ömrünü göstermektedir.

4.7.1 Çekme Kepçe Çekiş Ünitesi Alt Bileşen Dağılımları

Çekiş ünitesindeki arızalar halat, çekiş kontrolü, zincir ve pim başlıkları altında toplanmıştır. Bu bileşenlerin yaşam dağılımı Tablo 41'de verilmektedir. Tablo 41'e göre Page 736 çekiş

halatı ve çekiş kontrol bileşenleri 2 Parametrelili Üssel Dağılım (Exponential-2P) gösterirken, iki çekme kepeğe ait diğer çekiş ünitesi bileşenleri 2 ve ya 3 parametrelili Weibull dağılımı (Weibull-2P / Weibull-3P) göstermektedirler.

Tablo 41. Çekiş ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | MARION | | | |
|---------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | Dağılım | Dağılım Birimleri | | |
| Halat | Exponential-2P | λ | 0,00166 | Weibull-2P | β | 0,842 |
| | | γ | -26,751 | | η | 1151,457 |
| | | LK Değeri | -1027,539 | | LK Değeri | -404,254 |
| | | Rho | -0,994 | | Rho | 0,976 |
| Zincir ve Pim | Weibull-3P | β | 0,830 | Weibull-3P | β | 0,853 |
| | | η | 689,317 | | η | 856,149 |
| | | γ | 2,316 | | γ | -3,078 |
| | | LK Değeri | -744,053 | | LK Değeri | -530,150 |
| | | Rho | 0,996 | | Rho | 0,987 |
| Çekiş Kontrol | Exponential-2P | λ | 0,00047 | Weibull-2P | β | 0,692 |
| | | γ | -45,721 | | η | 662,159 |
| | | LK Değeri | -311,550 | | LK Değeri | -526,151 |
| | | Rho | -0,977 | | Rho | 0,990 |

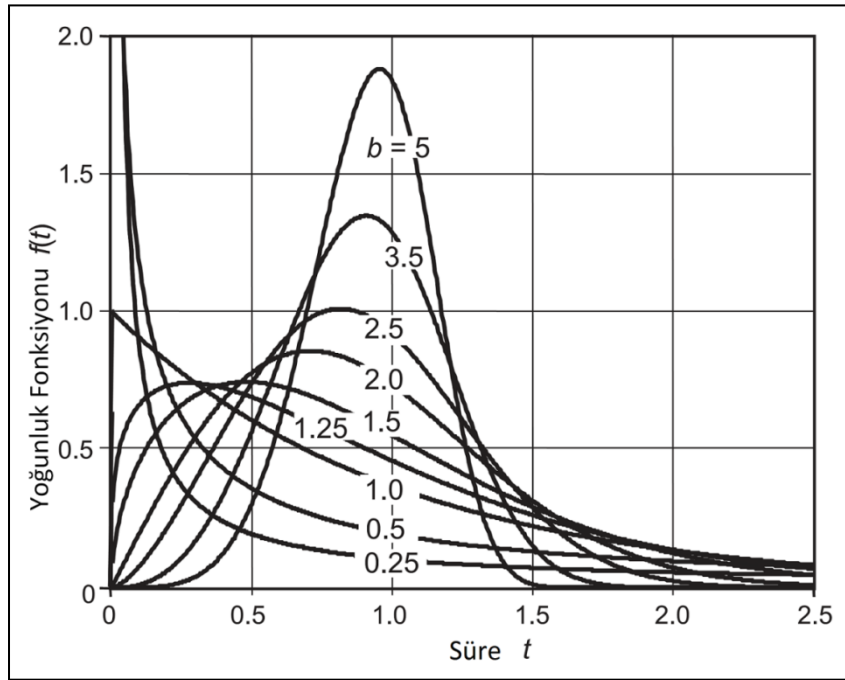
Weibull dağılımı, arıza veri dağılımlarında sıklıkla görülen bir dağılım türüdür. Weibull dağılımı 2 parametrelili veya 3 parametrelili olabilmektedir. Weibull-2P yaşam dağılımı, yaşam karakteristiğini belirleyen ölçek parametresini (scale parameter) ve biçim parametresini (shape parameter) barındırır. Weibull-2P'ye ait toplam dağılım fonksiyonu (cumulative density function – CDF) bağıntı 18'de tanımlanmaktadır.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (18)$$

3 parametrelili Weibull dağılımı, 2 parametreliliye göre fazladan konum parametresini (location parameter) de içermektedir. Weibull-3P'ye ait toplam dağılım fonksiyonu (cumulative density function – CDF) bağıntı 4'de verilmektedir.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta-\gamma}\right)^\beta} \quad (19)$$

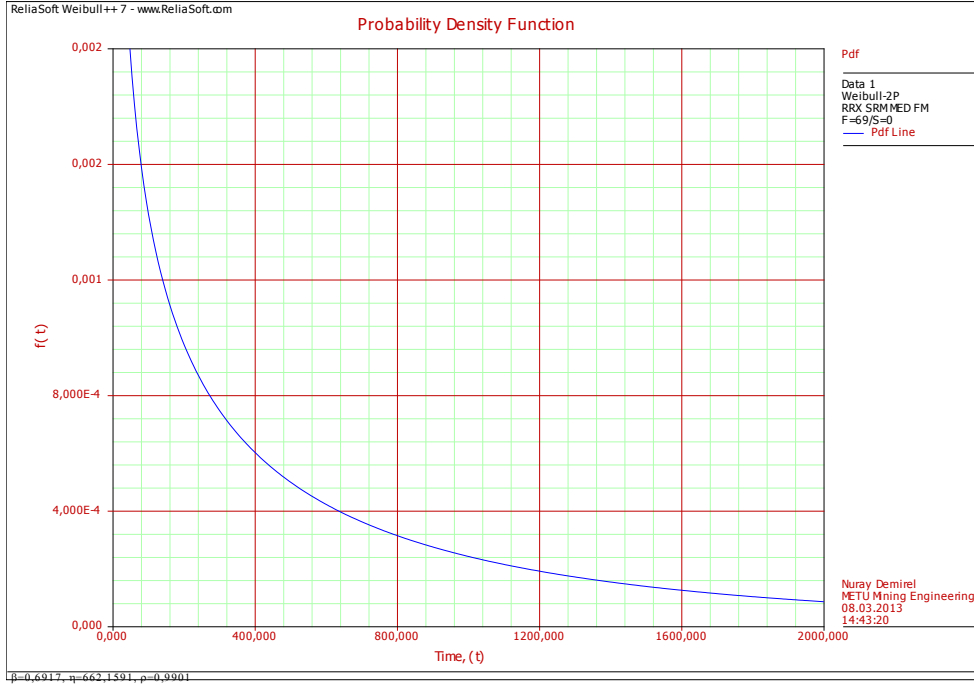
Fonksiyonlardaki β biçim parametresi, η ölçüt parametresi, γ konum parametresi ve t süreyi göstermektedir. Ölçek parametresi, dağılımın konumunu ve 0.632 olasılıkla sistemin bozulacağı zaman değerini vermektedir. Biçim parametresi ise arıza zamanlarının istatistiksel yayılımını gösteren bir ölçektir. Ölçek parametresi eğer 1'den küçük olursa, bu arıza davranışının yüksek bir arıza frekansıyla başladığını ve sonrasında süreğen bir azalmayla devam ettiğini gösterir. Eğer ölçüt parametresi 1 olursa dağılım, üssel dağılım (exponential distribution) davranışı sergiler. Parametrenin 1'den büyük olduğu durumlarda ise arıza dağılımı 0'dan başlar ve artan zamana bağlı olarak arıza süresi de artar. Artan ölçüt parametresi olasılık yoğunluk fonksiyonunun (probability density function - PDF) sağa doğru kaydığını göstermektedir. Eğer ölçüt parametresi 3.5 olursa, dağılım normal dağılım davranışı sergiler. Konum parametresinin 0 olduğu durumlarda dağılım eğrisi orijinden başlamaktadır. Eğer konum parametresi 0'dan büyükse eğri orijinin sağından, 0'dan küçükse orijinin solundan başlamaktadır. Şekil 87'de ölçek parametresinin 1 olduğu durum için değişik biçim parametrelerine bağlı Weibull dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 87. Değişik biçim parametreleri için Weibull dağılımları

Page 736 ve Marion 7820 çekiş ünite bileşenleri incelendiğinde (Tablo 27), tüm biçim parametrelerinin (β) 1'den küçük olduğu görülmektedir (0.69-0.85). Bu durum çekiş ünitesinde erken arızaların yaşandığını fakat arıza oranının zamanla azalıp dengeye geldiğini göstermektedir. Marion 7820 fren kontrolünün bileşeni 0.69'luk biçim parametresi en beklenmedik derecede erken arıza veren bileşendir. Bunun yanısıra, Weibull dağılım

gösteren bileşenlerin ölçek parametreleri 662 ile 1151 arası değişmektedir. Bu değer bileşenlerin % 63.2 ihtimalle bozulacağı zaman değerini vermektedir. Örneğin, Marion 7820 çekiş kontrol bileşeni için bu değer 662 saattir. Bu bileşene ait örnek olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) Şekil 88'de verilmiştir. Diğer çekiş ünitesi bileşenlerine ait PDF grafikleri ise ne Ek C1-C3'de verilmiştir.



Şekil 88. Marion 7820 çekiş ünitesi çekiş kontrol bileşeni PDF grafiği

Weibull dağılımı dışında, çekiş ünitesi bileşenlerinde görülen diğer dağılım üssel (exponential) dağılımdır. Üssel dağılımlar 1 parametrelili veya 2 parametrelili olabilir. Bu dağılıma ait yoğunluk fonksiyonu başlangıç noktasından itibaren, ters üssel fonksiyon davranışı göstererek düzenli bir ivmeyle azalmaktadır. Üssel dağılım arıza oranıyla tanımlanmaktadır. Arıza oranı üssel dağılımlarda sabittir ve bu durum sistemde sadece rasgele arızaların yaşandığını göstermektedir. 1 parametrelili Üssel (exponential) dağılıma ait toplam dağılım fonksiyonu bağıntı 20'de verilmektedir. Fonksiyonda arıza oranı λ , süre t ile gösterilmektedir. Arıza oranı $1/t_{\text{ortalama}}$ olarak tanımlanabilir.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (20)$$

2 parametrelili üssel fonksiyonlarda Weibull dağılımındaki gibi konum (location) parametresi de, γ olmaktadır. Bu dağılıma ait yoğunluk fonksiyonu bağıntı 21'de verilmiştir.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (21)$$

Page 736 Çekiş ünitesi halat ve çekiş kontrol bileşenleri 2 parametrelili üssel dağılıma sahiptirler. Halat bileşeni 0,00166 çekiş kontrol bileşeni ise 0,00047 arıza oranına sahiptir. Bu da halatın yaklaşık 600 saat, çekiş kontrolünün ise 2130 saat ortalama ömrü olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, her iki bileşen de konum parametreleri negatif değer almıştır. Bu dağılımlar konum parametresi kadar orijinin soluna kaymıştır.

4.7.2 Çekme Kepçe Kaldırış Ünitesi Alt Bileşen Dağılımları

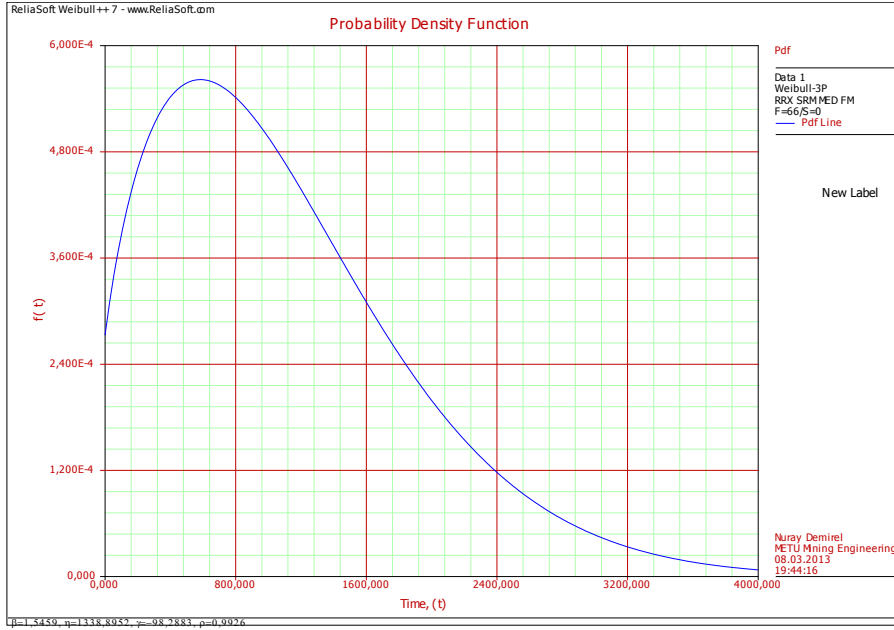
Çekme kepeçlerin kaldırış ünitesi, halat, fren ve genel arıza bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu bileşenler, 2 ve 3 parametrelili Weibull ve 1 parametrelili Üssel dağılım göstermektedirler (Tablo 42). Her iki çekme kepeçeye ait fren ve genel arıza bileşenlerinde, Weibull dağılımı görülmekte, 1'den küçük biçim parametresi nedeniyle başta yüksek, zamanla azalan ve sonunda sabitlenen arıza oranları saptanmaktadır. Page 736'ye ait kaldırış halatı diğer Weibull dağılımlarına göre farklılık göstermektedir. Biçim parametresi 1.546 olan bileşenin olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) bir süre artan daha sonrasında azalan bir grafik sergilemekte, bu durum ise süreğen şekilde artan bir arıza oranına neden olmaktadır. Page 736 kaldırış halatına ait PDF ve ilgili arıza- zaman grafiği Şekil 89 ve Şekil 90'dan incelenebilir. Diğer kaldırış ünitesi bileşenlerine ait PDF grafiklerine Ek C4-C6 arasında sunulan grafiklerden ulaşılabilir.

Kaldırış ünitelerinde, Weibull dışında dağılım gösteren bileşen 0,00053 arıza oranıyla Marion 7820 halat bileşenidir. Bu arıza oranı, halat bileşeninin yaklaşık 1880 saat ortalama ömürle çalışabileceğini göstermektedir.

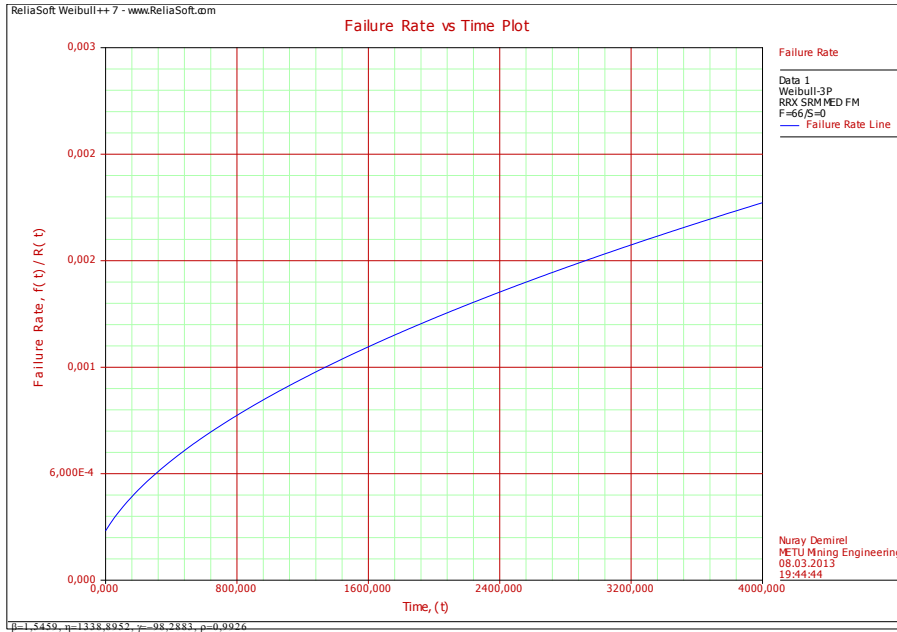
Tablo 42. Kaldırış ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------|------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Halat | Weibull-3P | β | 1,546 | Exponential-1P | λ | 0,00053 |
| | | η | 1338,895 | | LK Değeri | -255,757 |
| | | γ | -98,288 | | Rho | -0,988 |
| | | LK Değeri | -524,758 | | | |
| | | Rho | 0,993 | | | |
| Fren | Weibull-2P | β | 0,514 | Weibull-3P | β | 0,478 |
| | | η | 1628,497 | | η | 1401,681 |
| | | LK Değeri | -153,235 | | γ | 7,900 |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|
| | | Rho | 0,993 | | LK Değeri | -207,737 |
| | | | | | Rho | 0,991 |
| Genel Arıza | Weibull-3P | β | 0,784 | Weibull-3P | β | 0,395 |
| | | η | 4924,984 | | η | 708,057 |
| | | γ | 174,111 | | γ | 2,564 |
| | | LK Değeri | -133,151 | | LK Değeri | -333,400 |
| | | Rho | 0,968 | | Rho | 0,984 |



Şekil 89. Page 736 kaldırış halatı PDF grafiği



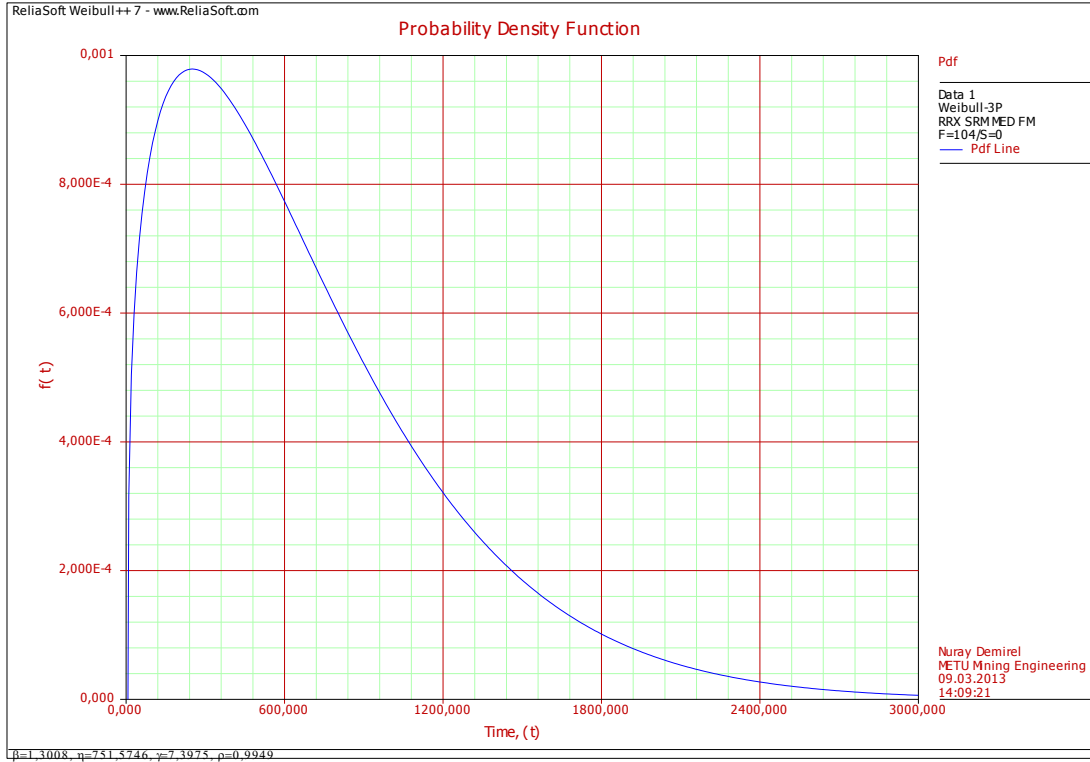
Şekil 90. Page 736 kaldırış halatı arıza-zaman grafiği

4.7.3 Çekme Kepçe Terazi Ünitesi Alt Bileşen Dağılımları

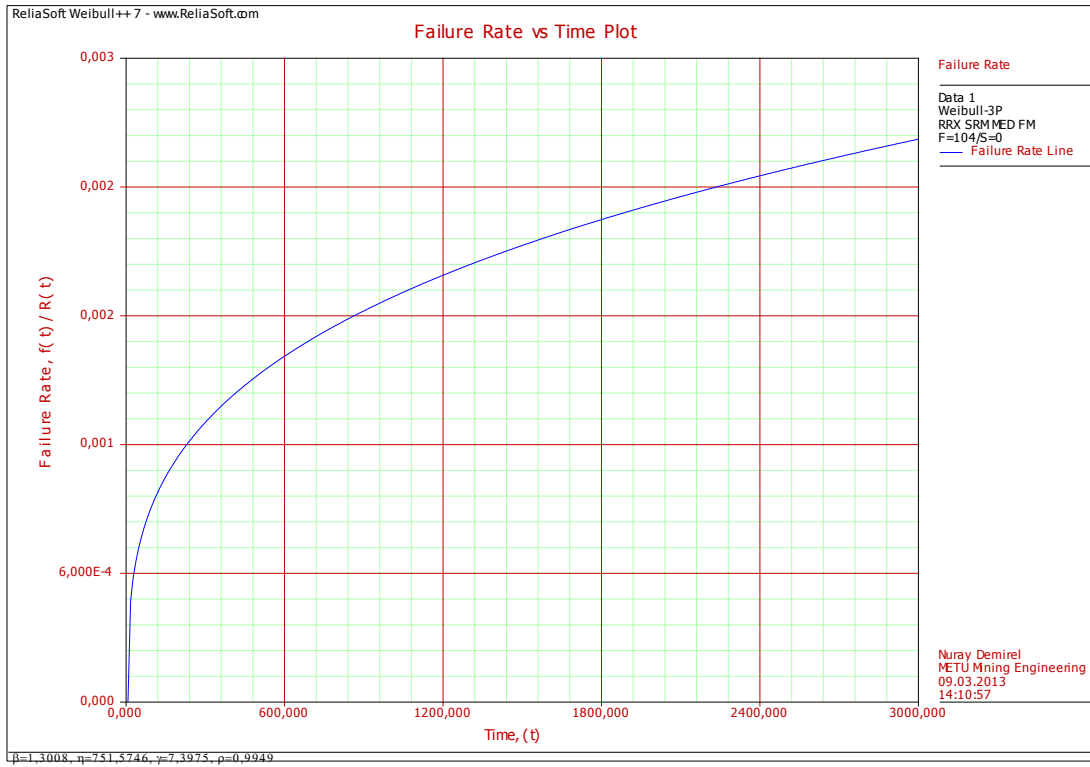
Çekme kepeçlerin terazi ünitelerine ait arızalar halat, halat soketi, halat makarası ve mapa-pim bileşenlerinin altında toplanmaktadır. Bu bileşenler 3 parametrelili Weibull, 2 parametrelili Gumbel, 1 parametrelili üssel dağılım sergilemektedir (Tablo 43). Page 736 halat soketi ve halat makarası, Marion 7820 mapa-pim bileşenleri, düşük biçim parametresinden dolayı yüksek arıza oranıyla çalışıp daha sonra düzenli olarak azalmış, daha sonrasında dengeye gelmişlerdir. Her iki çekme kepeçeye ait halat bileşeni ise zaman bağlı artan bir arıza oranına sahiptir. Aynı zamanda bu halat bileşenleri sağa meyilli (right-skewed) bir yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Page 736 terazi haladı bileşeninin zaman bağlı arıza oranı değişimi ve yoğunluk grafikleri sırasıyla Şekil 91 ve Şekil 92'de verilmiştir. Diğer çekiş ünitesi bileşenlerine ait PDF grafiklerine Ek C7-C10 arasındaki şekillerden ulaşılabilir.

Tablo 43. Terazi ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------------|------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|-----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Halat | Weibull-3P | β | 1,301 | Weibull-3P | β | 1,214 |
| | | η | 751,575 | | η | 412,529 |
| | | γ | 7,398 | | γ | -7,591 |
| | | LK Değeri | -778,620 | | LK Değeri | -1159,750 |
| | | Rho | 0,995 | | Rho | 0,993 |
| Halat Soketi | Weibull-3P | β | 0,870 | Gumbel-2P | μ | 12305,023 |
| | | η | 2600,592 | | σ | 4715,46 |
| | | γ | -105,660 | | LK Değeri | -80,090 |
| | | LK Değeri | -239,441 | | Rho | 0,968 |
| | | Rho | 0,972 | | | |
| Halat Makarası | Weibull-3P | β | 0,806 | Exponential-1P | λ | 0,00046 |
| | | η | 2110,829 | | LK Değeri | -260,033 |
| | | γ | 7,266 | | Rho | -0,994 |
| | | LK Değeri | -253,172 | | | |
| | | Rho | 0,995 | | | |
| Mapa ve Pimi | Weibull-3P | β | 1,276 | Weibull-3P | β | 0,749 |
| | | η | 4099,458 | | η | 2346,692 |
| | | γ | -372,860 | | γ | -7,381 |
| | | LK Değeri | -191,980 | | LK Değeri | -237,737 |
| | | Rho | 0,980 | | Rho | 0,991 |



Şekil 91. Page 736 terazi halatı PDF grafiği



Şekil 92. Page 736 terazi halatı arıza-zaman grafiği

Kaldırış ünitelerinde Weibull dışında bir dağılım gösteren bileşenler, Marion 7820'ye ait halat soketi ve halat makarası bileşenleridir. Halat soketi 2 parametrelili Gumbel dağılımı göstermektedir. Gumbel dağılımına ait yoğunluk fonksiyonu bağıntı 22'de verilmiştir.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} e^{\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} - e^{\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad (22)$$

Bağıntı 22'deki σ ölçek parametresini, μ konum parametresini vermektedir. Gumbel dağılımda biçim parametresi yoktur, yani dağılımın tek bir biçimi vardır (sola eğimli yakım). Konum parametresi tepe değerini (mode) vermektedir. Ölçek parametresi ise grafiğin uzunluğu veya basıklığı hakkında bilgi verir. Ölçek parametresi arttıkça, yoğunluk fonksiyon grafiği daha uzun ve dar olmakta, bu da verilerin geniş bir aralığa yayılmadığını göstermektedir. Tablo 6'da da görüleceği gibi Marion 7820 halat soketine ait yaşam sürelerinde sıklığı en çok olan tepe noktası 12305 saat, sapma değeri yani ölçek parametresi ise 4715 saattir. Farklı dağılımdaki diğer bir bileşen, tek parametrelili üssel dağılıma sahip olan Marion 7820 halat makarasıdır. Bu bileşenin 0,00046 arıza oranıyla yaklaşık 2170 saat çalışma ömrü olduğu tahmin edilmiştir.

4.7.4 Çekme Kepçe Kepçe Ünitesi Alt Bileşen Dağılımları

Çekme kepçelerin kepçe üniteleri kazıcı diş, kepçe zinciri, pim, kepçe ana gövdesi ve diğer bağlantı unsurlarından oluşmaktadır. Tablo 44'de gösterildiği gibi tüm bileşenler 2 veya 3 parametrelili Weibull dağılımları göstermektedirler. Bileşenlerin biçim parametreleri (β) incelendiği zaman hepsi ters üssel fonksiyon (üssel dağılım) gibi davranış göstermektedirler. Tüm kepçe ünitesi elemanları, makina çalışmaya başladığı ilk evrelerde yüksek arıza oranı verip daha sonra azalarak dengeye gelmişlerdir. Bu durum, gerek arazi koşulları gerekse çekme kepçelerin kullanım şeklinin kepçe ünitesi üzerinde beklenenden fazla arızaya sebep olabileceğini göstermektedir. Page 736 için en uzun süreli çalışması beklenen bileşen kepçe ana gövdesi ($\eta=7702$ saat), en sık arıza vermesi beklenen bileşen ise kazıcı dişlerdir ($\eta=869$ saat). Bu değerlere göre % 63,2 ihtimalle 7702. saatte kepçe ana gövdesi ve 869. saatte ise kazıcı dişler arıza verecektir. Marion7820 için bu bileşenler 3572 saatte kepçe ana gövdesi ve 650 saatte pim bileşenidir. Kepçe ünitesi bileşenlerine ait PDF grafiklerine Ek C11-C15 arasındaki resimlerden bakılabilir.

Tablo 44. Kepçe ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|-----------------|------------|-------------------|----------|------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Diş | Weibull-3P | β | 0,539 | Weibull-2P | β | 0,599 |
| | | η | 868,965 | | η | 761,351 |
| | | γ | 0,169 | | LK Değeri | -427,923 |
| | | LK Değeri | -340,282 | | Rho | 0,982 |
| | | Rho | 0,989 | | | |
| Zincir | Weibull-2P | β | 0,705 | Weibull-2P | β | 0,774 |
| | | η | 2167,662 | | η | 3236,033 |
| | | LK Değeri | -262,917 | | LK Değeri | 86,895 |
| | | Rho | 0,966 | | Rho | -155,613 |
| Pim | Weibull-3P | β | 0,854 | Weibull-3P | β | 0,775 |
| | | η | 933,351 | | η | 649,908 |
| | | γ | 3,672 | | γ | 2,266 |
| | | LK Değeri | -575,057 | | LK Değeri | -597,034 |
| | | Rho | 0,996 | | Rho | 0,997 |
| Kepçe Ana Gövde | Weibull-3P | β | 0,849 | Weibull-3P | β | 0,713 |
| | | η | 7702,278 | | η | 3572,852 |
| | | γ | 2626,197 | | γ | -37,513 |
| | | LK Değeri | -69,482 | | LK Değeri | -175,260 |
| | | Rho | 0,992 | | Rho | 0,990 |
| Bağlantılar | Weibull-3P | β | 0,730 | Weibull-3P | β | 0,752 |
| | | η | 1447,159 | | η | 1267,901 |
| | | γ | 2,723 | | γ | -0,759 |
| | | LK Değeri | -393,240 | | LK Değeri | -387,631 |
| | | Rho | 0,997 | | Rho | 0,989 |

4.7.5 Çekme Kepçe Hareket Ünitesi Alt Bileşen Dağılımları

Page 736 ve Marion 7829 yerkazalarının hareket kabiliyetlerini sağlayan bileşenler, dönüş yürüyüş, ikaz ve diğer başlıkları altında toplanmıştır. Bu bileşenler 2 veya 3 parametrelili Weibull, 2 parametrelili Lognormal ve 2 parametrelili üssel yaşam dağılımları göstermektedirler (Tablo 45).

Her iki çekme kepçenin yürüyüş, ikaz ve diğer başlıklı bileşenleri Weibull dağılımı göstermektedir. Page yürüyüş, Marion ikaz ve diğer bileşenleri biçim parametrelerinden dolayı sola eğimli (left-skewed) bir dağılım göstermektedir. Bu dağılım zamana bağlı süregelen bir arıza oranı artışını göstermektedir. Yaşam sürelerinin büyük kısmı düşük yaşam

aralığında toplanmıştır. Page ikaz ve diğer bileşenleri ve Marion yürüyüş ünitesinde erken arızalar görülmektedir. Bunlar zamana bağlı olarak azalmaktadır.

Page736 ve Marion 7820 hareket ünitelerinin dönüş bileşenleri sırasıyla lognormal ve üssel dağılımlar göstermektedir. Lognormal dağılım, normal dağılımdaki zaman değişkeninin (t) logaritmik olarak değiştirilmesiyle bulunur (Bağıntı 23). Bağıntı 23'deki μ ölçek parametresidir (scale parameter), σ biçim parametresidir ve dağılımın standart sapmasını vermektedir. Ölçe $e^{\mu+\sigma^2/2}$ dağılımın ortalama değerini verir. Page dönüş bileşeninin ortalama yaşam süresi bu dağılıma göre 4312 saattir.

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (23)$$

Üssel dağılıma sahip olan Marion dönüş bileşeni ise 0,000437 arıza oranı ve 2287 saat ortalama yaşam süresine sahiptir. Aynı zamanda yoğunluk fonksiyonu konum parametresinden dolayı orijinin soluna doğru taşınmıştır.

Hareket ünitesi bileşenlerine ait PDF grafiklerine Ek C16-C19 arasında sunulan şekillerden ulaşılabilir.

Tablo 45. Hareket ünitesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------------|--------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Dönüş | Lognormal-2P | μ | 6,332 | Exponential-2P | λ | 0,000437 |
| | | σ | 2,018 | | γ | -92,900 |
| | | LK Değeri | -269,155 | | LK Değeri | -287,344 |
| | | Rho | 0,992 | | Rho | -0,995 |
| Yürüyüş | Weibull-3P | β | 1,275 | Weibull-3P | β | 0,674 |
| | | η | 2328,606 | | η | 734,569 |
| | | γ | -175,210 | | γ | 1,635 |
| | | LK Değeri | -292,878 | | LK Değeri | -501,383 |
| Rho | 0,986 | Rho | 0,996 | | | |
| İkaz | Weibull-3P | β | 0,683 | Weibull-3P | β | 1,034 |
| | | η | 1782,973 | | η | 3715,889 |
| | | γ | 7,326 | | γ | 181,381 |
| | | LK Değeri | -275,191 | | LK Değeri | -173,848 |
| Rho | 0,988 | Rho | 0,975 | | | |
| Diğer | Weibull-3P | β | 0,510 | Weibull-2P | β | 1,168 |

| | | | | |
|--|-----------|----------|-----------|----------|
| | η | 4133,659 | η | 3865,647 |
| | γ | 637,769 | LK Değeri | -137,959 |
| | LK Değeri | -103,422 | Rho | 0,980 |
| | Rho | 0,982 | | 0,983 |

4.7.6 Çekme Kepçe Makine Dairesi Alt Bileşen Dağılımları

Çekme kepçelerin makine dairesi bileşenleri (yağlama, jeneratör, motor ve havalandırma) sadece Weibull dağılımı göstermektedir. Tüm bileşenler erken arızalar yaşamış daha sonradan sabit arıza oranına ulaşmışlardır. Page 736 için en yüksek süreli çalışmayı jeneratör bileşeni sağlarken, Marion 7820 için bu bileşen havalandırma olmuştur (Tablo 46). Page 736 kabin havalandırmasına dair herhangi bir arıza kaydına rastlanmamıştır.

Makina bileşenlerine ait PDF grafiklerine Ek C20-C22 arasında verilen şekillerden ulaşılabilir.

Tablo 46. Makine dairesi bileşenlerinin yaşam süresi dağılım parametreleri

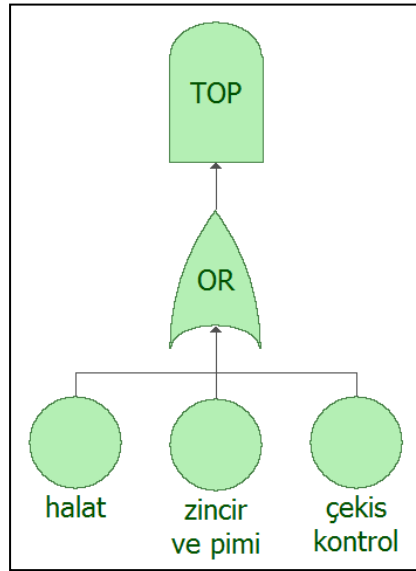
| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|--------------|------------|-------------------|----------|------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Yağlama | Weibull-3P | β | 0,858 | Weibull-2P | β | 0,788 |
| | | η | 1289,209 | | η | 561,612 |
| | | γ | -4,821 | | LK Değeri | -747,103 |
| | | LK Değeri | -450,735 | | Rho | 0,992 |
| | | Rho | 0,990 | | | |
| Jeneratör | Weibull-2P | β | 0,714 | Weibull-3P | β | 0,638 |
| | | η | 3576,458 | | η | 846,615 |
| | | LK Değeri | -166,816 | | γ | -1,923 |
| | | Rho | 0,984 | | LK Değeri | -431,838 |
| | | | | | Rho | 0,992 |
| Motor | Weibull-3P | β | 0,546 | Weibull-2P | β | 0,849 |
| | | η | 832,521 | | η | 1375,696 |
| | | γ | 4,922 | | LK Değeri | -321,959 |
| | | LK Değeri | -454,138 | | Rho | 0,982 |
| | | Rho | 0,994 | | | |
| Havalandırma | | | | Weibull-2P | β | 0,802 |
| | | | | | η | 4066,810 |
| | | | | | LK Değeri | -149,137 |
| | | | | | Rho | 0,959 |

4.8 Çekme-Kepçeli Yerkazar Ünitelerinin Hata Ağacı Analizleri

Hata ağacı analizleri, bileşenlerin sistem içerisindeki yerini ve diğer bileşenlerle bağlantılarını belirlemeyen simgesel komutlar kullanmaktadır. Bu bağlantılar ve 3. bölümde elde edilen bileşenlerin yaşam süresi dağılımları hata ağacı analizi içerisinde tanımlanarak alt ünitelerin ve sistemin genelinin güvenilirlikleri bulunmuştur.

4.8.1 Çekme Kepçe Çekiş Ünitesi Hata Ağacı Analizi

Şekil 93'de görüldüğü gibi çekiş ünitesi başlıca 3 alt birimden oluşmaktadır: halat, zincir ve çekiş kontrol. Bu alt birimler birbirine seri olarak VEYA kapısı ile bağlıdır, bu da bir birimin arızalanmasının sistemin arızalanmasına sebep olduğunu belirtir. Her iki yerkazar için çekiş ünitesinin hata ağacı aynı şekilde oluşturulmuştur.

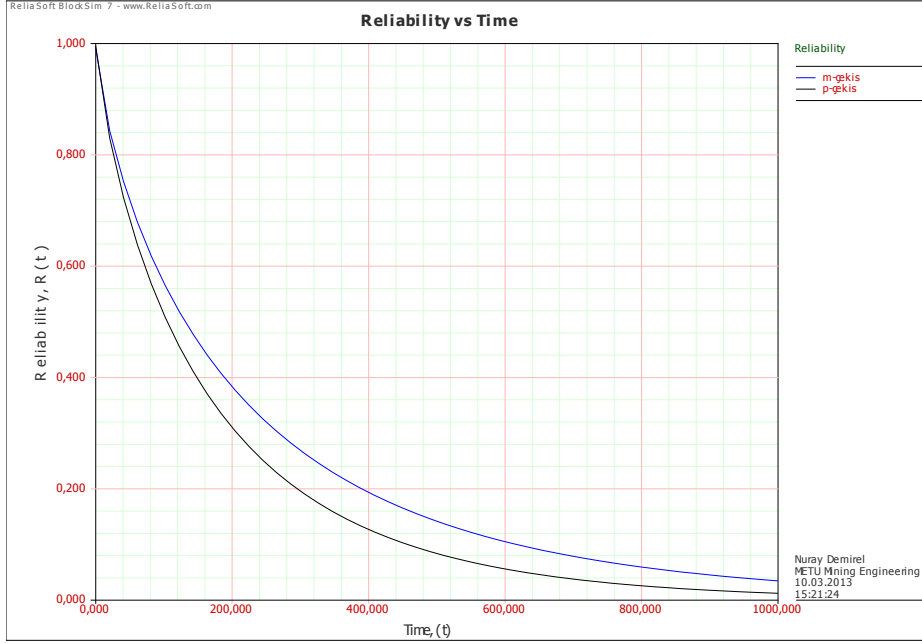


Şekil 93. Çekiş ünitesi hata ağacı gösterimi

Bu hata ağacından elde edilen güvenilirlik eşitliği bağıntı 24'de verilmiştir.

$$R_{\text{System}} = R_{\text{halat}} \times R_{\text{zincir ve pimi}} \times R_{\text{çekiş kontrol}} \quad (24)$$

Bağıntı 24'deki güvenilirlik değerleri önceki bölümde bahsedilen dağılımlardan elde edilmiştir ve bu eşitlik kullanılarak çekiş ünitesinin zamana bağlı güvenilirlik değişimi elde edilmiştir. Şekil 94'de bu değişimin her iki yerkazar için de grafiksel gösterimi mevcuttur.



Şekil 94. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe çekiş ünitelerinin güvenilirlikleri

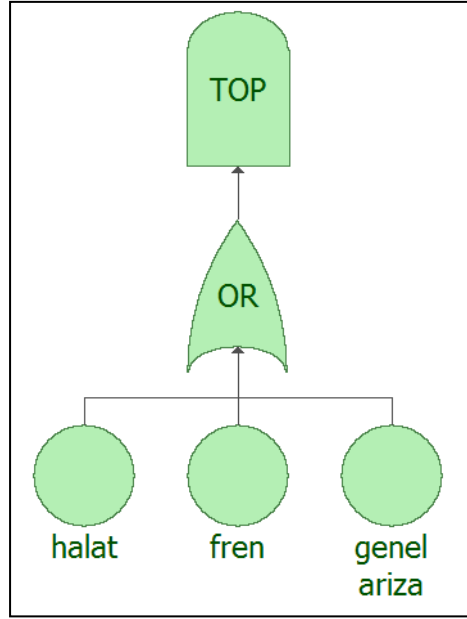
Marion'un çekiş ünitesinin güvenilirliği grafikte de görüldüğü üzere zamanla Page'e göre daha az düşüş göstermektedir. Marion'un çekiş ünitesinin güvenilirliği 400 saat sonra %19.36 ya düşerken bu değer Page için %12.9'dur. 0-100 saat aralığındaki çekiş ünitelerinin güvenilirlik değişimleri Tablo 47'da verilmiştir.

Tablo 47. Çekme kepçe çekiş ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saat) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,903 | 0,846 | 0,798 | 0,755 | 0,718 | 0,683 | 0,652 | 0,622 | 0,595 | 0,570 |
| Page | 1,000 | 0,901 | 0,833 | 0,776 | 0,727 | 0,683 | 0,643 | 0,607 | 0,573 | 0,542 | 0,513 |

4.8.2 Çekme Kepçe Kaldırış Ünitesi Hata Ağacı Analizi

Kaldırış ünitesi için oluşturulan hata ağacı Şekil 95'de gösterilmiştir. Kaldırış ünitesinin alt bileşenleri şekilde görüldüğü gibi halat, fren ve genel arızadan oluşmaktadır ve bu bileşenler VEYA kapısı ile bağlanmıştır.

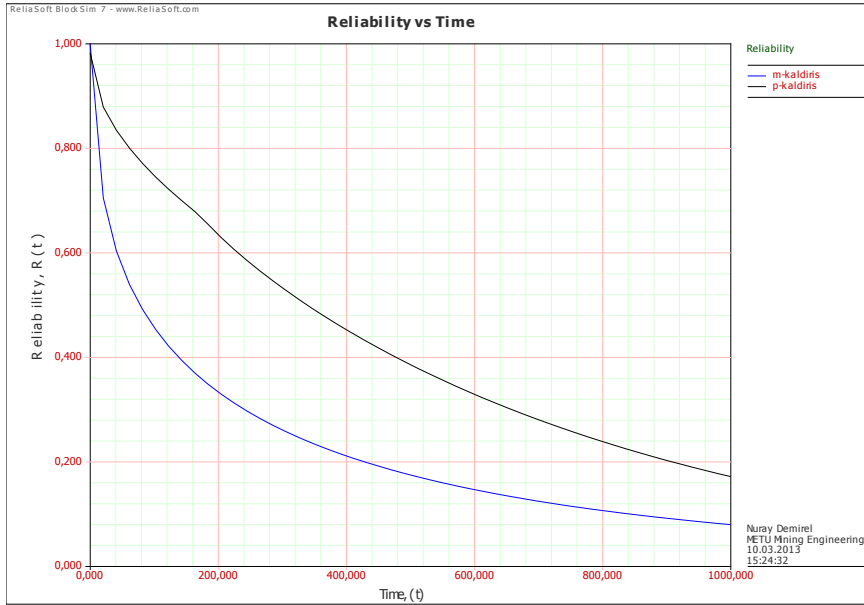


Şekil 95. Kaldırış ünitesi hata ağacı gösterimi

Kaldırış ünitesinin hata ağacı her iki yerkarar için de aynıdır ve güvenilirlik eşitliği bağıntı 25’de verilmiştir.

$$R_{\text{System}} = R_{\text{halat}} \times R_{\text{fren}} \times R_{\text{genel ariza}} \quad (25)$$

Dağılım analizlerinden elde edilen verilerle güvenilirlik analizi yapılmıştır ve 2 yerkararın zamana bağlı güvenilirlik değişimleri Şekil 96’de gösterilmiştir.



Şekil 96. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe kaldırış ünitelerinin güvenilirlikleri

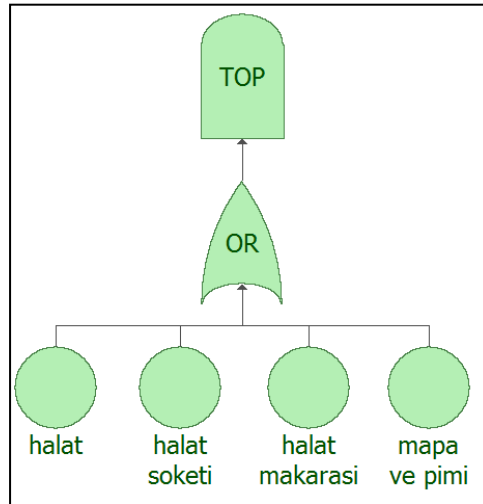
Grafikte görüldüğü gibi Marion'un kaldırış ünitesinin güvenilirliği Page'e göre çok daha hızlı bir düşüş sergilemektedir. 200. Saatte Page'in kaldırış ünitesinin güvenilirliği %63.5 iken bu değer Marion için %33.3'dür. 100 saate kadarki 10 saatlik aralıklarla kaldırış ünitelerinin güvenilirliklerindeki değişim Tablo 48'de gösterilmiştir.

Tablo 48. Çekme kepçe kaldırış ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saatt) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,806 | 0,708 | 0,650 | 0,607 | 0,572 | 0,543 | 0,518 | 0,495 | 0,475 | 0,457 |
| Page | 1,000 | 0,911 | 0,880 | 0,856 | 0,836 | 0,819 | 0,802 | 0,787 | 0,774 | 0,760 | 0,748 |

4.8.3 Çekme Kepçe Terazi Ünitesi Hata Ağacı Analizi

Yerkazarların terazi üniteleri başlıca dört birimden oluşmaktadır. Bu birimler Şekil 97'de de görüldüğü gibi; halat, halat soketi, halat makarasi ve mapa ve pimdir. Bu birimlerdeki arızalar doğrudan sistemin arızasına sebep olduğu için, önceki ünitelere benzer şekilde VEYA kapısı ile bağlanmışlardır.

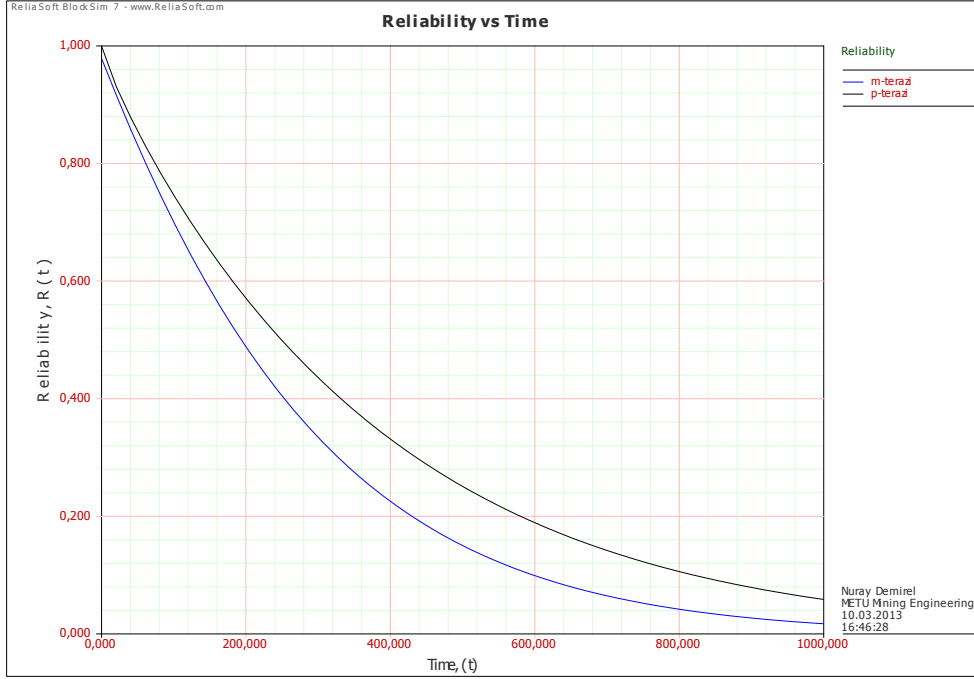


Şekil 97. Terazi ünitesi hata ağacı gösterimi

Bu hata ağacından elde edilen güvenilirlik eşitliği bağıntı 26'da verilmiştir.

$$R_{System} = R_{halat} \times R_{halat soketi} \times R_{halat makarasi} \times R_{mapa ve pimi} \quad (26)$$

Şekil 98'de her iki yerkazar için de terazi üniteleri için güvenilirlik analizi sonucu elde edilen zamana göre güvenilirlik değişimleri grafiği gösterilmiştir.



Şekil 98. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe terazi ünitelerinin güvenilirlikleri

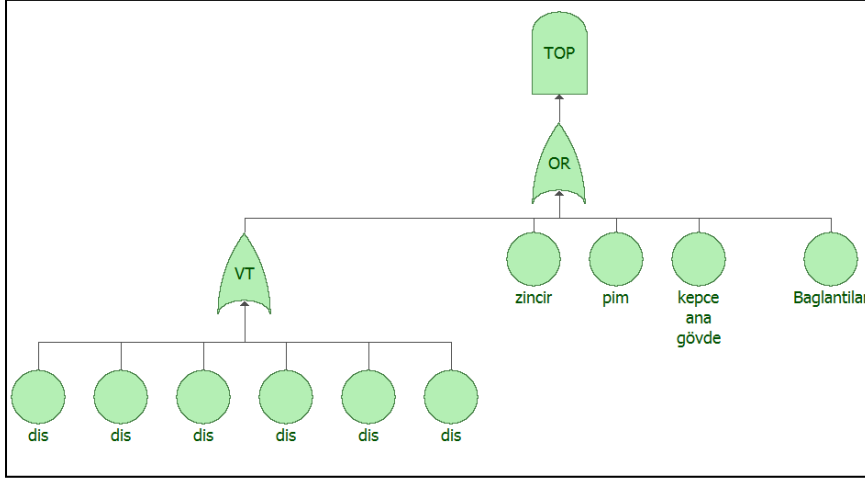
Grafikte görüldüğü gibi 100'üncü saate kadar benzer azalma göstermekte ancak 100'üncü saatten sonra 2 ünite arasındaki fark artmaktadır. Bu fark 400'üncü saatte en yüksek seviyededir. 400'üncü saatte Page'in terazi ünitesinin güvenilirliği %33 iken Marion'un %22'ye kadar düşmüştür. 100 saate kadarki 10 saatlik aralıklarla terazi ünitelerinin güvenilirliklerindeki değişim Tablo 49'de gösterilmiştir.

Tablo 49. Çekme kepçe terazi ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saatt) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,948 | 0,918 | 0,888 | 0,859 | 0,831 | 0,804 | 0,777 | 0,751 | 0,725 | 0,700 |
| Page | 1,000 | 0,961 | 0,932 | 0,905 | 0,879 | 0,855 | 0,832 | 0,809 | 0,788 | 0,767 | 0,746 |

4.8.4 Çekme Kepçe Ünitesi Hata Ağacı Analizi

Şekil 99'da yer kazarın kepçesi için oluşturulan hata ağacı görülmektedir. Kepçenin hata ağacında kullanılan başlıca bileşenleri; diş, zincir, pim, ana gövde ve bağlantılar olarak belirlenmiştir. Diğer ünitelerden farklı olarak dişleri kapsayan bölümde dişler, hata ağacına OYLAMA kapısı ile bağlanmıştır. Bu kapının işlevi sistem arızasının dişlerden en az iki tanesinin arızalanması sonucu gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu uygulama madencilikte sıkça kullanılmaktadır. Yani kepçenin iki diş kırık iken bile kepçe ve çekme kepçeli yer kazar çalışabilmektedir. Bunun haricinde diğer bileşenler yine VEYA kapısı ile bağlanmıştır.



Şekil 99. Kepçe ünitesi hata ağacı gösterimi

Yerkazırların kepçe ünitesinin hata ağacı sonucunda oluşturulan güvenilirlik eşitliği bağıntı 27-29'da verilmiştir.

$$NVT=6R_{dis}^5-5R_{dis}^6 \quad (27)$$

$$D1=R_{ExtraStartingBlock} \times RVT \times NVT \quad (28)$$

$$R_{System}=R_{bağlantılar} \times R_{kepce \ ana \ gövde} \times R_{pim} \times R_{zincir} \times D1 \quad (29)$$

Kepçe ünitelerinin bu eşitlikler sonucu elde edilen güvenilirlik grafikleri Şekil 100'de verilmiştir.



Şekil 100. Hata ağacı analizine göre çekme kepçelerin kepçe ünitesinin güvenilirliği

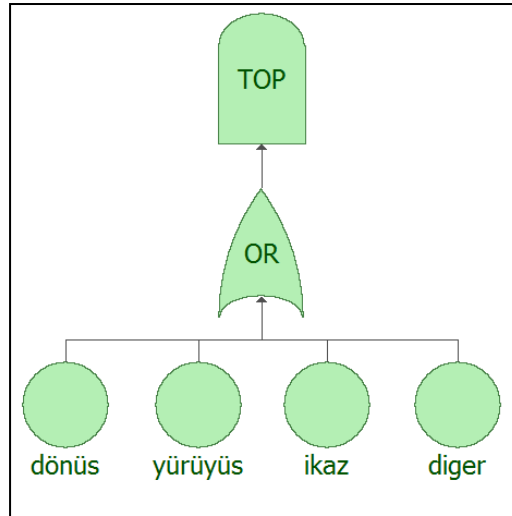
Kepçe üniteleri her iki yerkazar için de benzer güvenilirlik değişimine sahiptir. Marion az da olsa daha düşük güvenilirlik sergilemektedir. Tablo 50'de 100 saate kadarki güvenilirlik değerleri 2 yerkazarın da kepçe üniteleri içinde verilmiştir.

Tablo 50. Çekme kepçelerin kepçe ünitesinin güvenilirliğinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saat) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,856 | 0,747 | 0,658 | 0,584 | 0,520 | 0,465 | 0,417 | 0,376 | 0,339 | 0,306 |
| Page | 1,000 | 0,862 | 0,754 | 0,667 | 0,596 | 0,535 | 0,483 | 0,437 | 0,397 | 0,362 | 0,331 |

4.8.5 Çekme Kepçe Hareket Ünitesi Hata Ağacı Analizi

Yerkazarların hareket üniteleri VEYA kapısı ile bağlanmış dört birimden oluşmaktadır. Bu birimler; dönüş, yürüyüş, ikaz ve diğerleri olarak ayrılmıştır (Şekil 101). Diğer olarak adlandırılan bölüme; yürüyüş kavraması, şanzuman, kaplin, civata, rulman, yürüyüş freni arızaları ve krank montajı dâhildir.



Şekil 101. Hareket ünitesi hata ağacı gösterimi

Oluşturulan hata ağacından elde edilen hareket ünitesinin güvenilirlik eşitliği bağıntı 30'da verilmiştir.

$$R_{System} = R_{dönüş} \times R_{yürüyüş} \times R_{ikaz} \times R_{diğer} \quad (30)$$

Yerkazarların hareket ünitelerinin 1000 saate kadarki güvenilirlik değişimleri Şekil 102'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 102. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe hareket ünitelerinin güvenilirlikleri

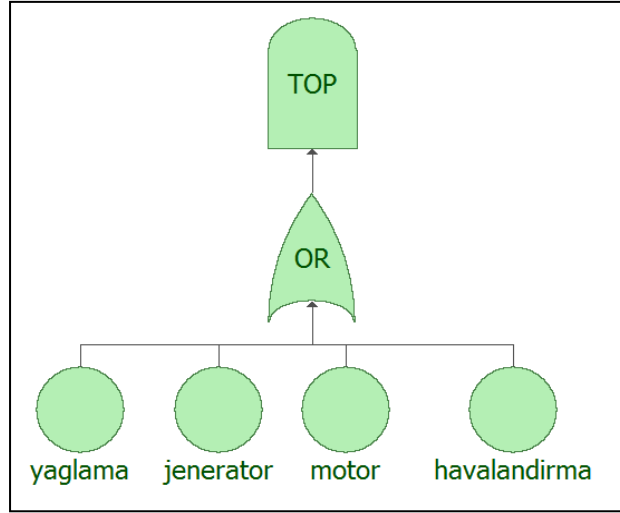
Yerkazarın üniteleri arasında Marion'un Page'e göre daha yüksek güvenilirlik sergilediği tek ünite hareket ünitesidir. Her iki yerkazar için de güvenilirlik değişimi yakın olsa da Marion'un hareket ünitesi Page'e göre biraz daha yüksek güvenilirlik göstermektedir.

Tablo 51. Çekme kepçe terazi ünitelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saatt) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,929 | 0,884 | 0,848 | 0,816 | 0,788 | 0,762 | 0,739 | 0,717 | 0,696 | 0,677 |
| Page | 1,000 | 0,959 | 0,906 | 0,863 | 0,826 | 0,792 | 0,762 | 0,734 | 0,708 | 0,684 | 0,662 |

4.8.6. Çekme Kepçe Makine Dairesi Hata Ağacı Analizi

Şekil 103'de makine dairesinin hata ağacı gösterilmiştir. Makine dairesi dört alt birimden oluşmaktadır: yağlama, jeneratör, motor ve havalandırma. Bundan farklı olarak, Page havalandırma ünitesine dair herhangi bir arıza kaydı bulunmadığı için Page'in makine dairesinin hata ağacına havalandırma birimi dâhil değildir (güvenilirlik 1 olarak alınmıştır).



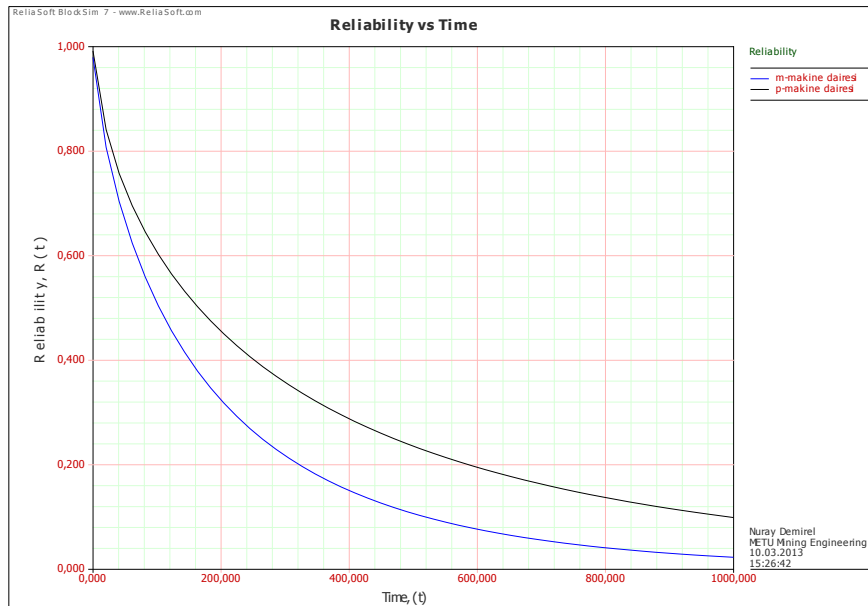
Şekil 103. Makine dairesi hata ağacı gösterimi

Aşağıda her 2 yerkazar için de makine dairelerinin güvenilirlik eşitlikleri bağıntı 31 ve 32'de verilmiştir.

$$\text{Marion için: } R_{\text{System}} = R_{\text{yaglama}} \times R_{\text{jenerator}} \times R_{\text{motor}} \times R_{\text{havalandirma}} \quad (31)$$

$$\text{Page için: } R_{\text{System}} = R_{\text{yaglama}} \times R_{\text{jenerator}} \times R_{\text{motor}} \quad (32)$$

Makine dairelerinin bağıntı 31-32'de verilen eşitlikler sonucu elde edilen güvenilirlik grafikleri Şekil 104'de verilmiştir.



Şekil 104. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe makine dairelerinin güvenilirlikleri

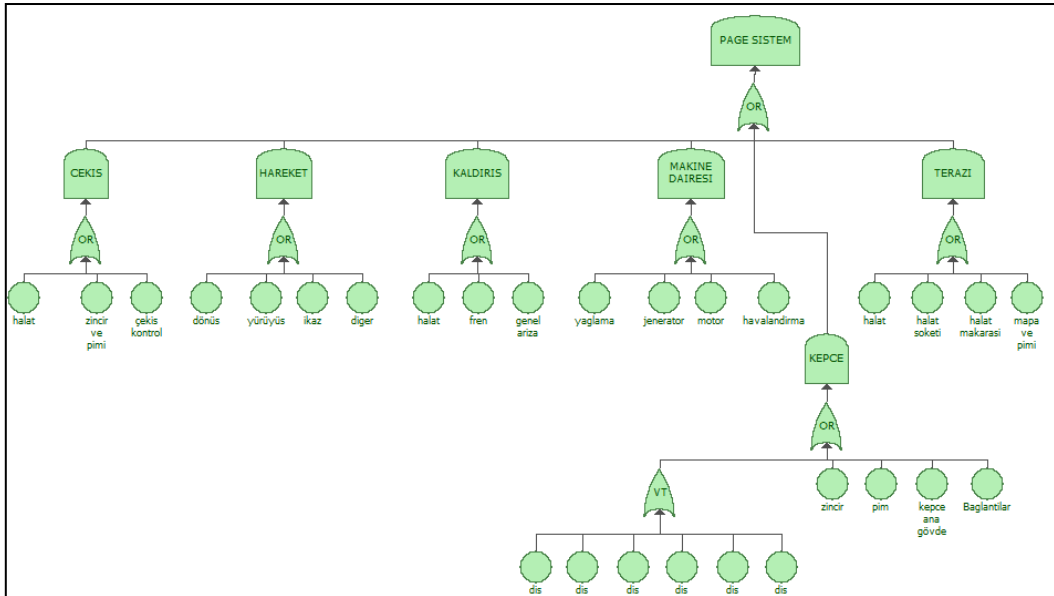
Marion'un makine dairesinin güvenilirliğinin Page'e göre daha hızlı düşüş göstermesinin sebebini, Marion'da Page'in makine dairesine ilave olarak havalandırma biriminin olması olarak gösterebiliriz. Bu farklılık güvenilirlik değerlerinde de büyük farka yol açmaktadır. 400'üncü saatte Page'in makine dairesinin güvenilirliği %29 civarında iken bu değer Marion için %15'lere düşmüştür. 100 saate kadarki 10 saatlik aralıklarla makine dairelerinin güvenilirlik değerleri Tablo 52'de gösterilmiştir.

Tablo 52. Çekme kepçe makine dairelerinin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saat) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,877 | 0,810 | 0,755 | 0,708 | 0,666 | 0,629 | 0,595 | 0,564 | 0,536 | 0,509 |
| Page | 1,000 | 0,906 | 0,843 | 0,798 | 0,760 | 0,728 | 0,699 | 0,673 | 0,649 | 0,627 | 0,607 |

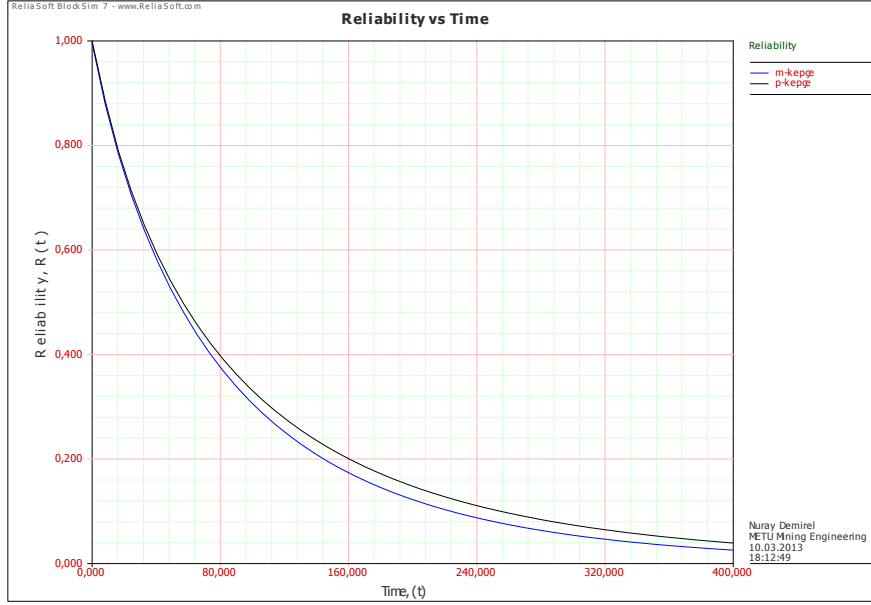
4.8.7 Çekme Kepçe Sisteminin Tamamı için Hata Ağacı Analizi

Her ünite için oluşturulan hata ağaçları sistemin geneli için VEYA kapısı ile bağlanmıştır ve sistem hata ağacı Şekil 105'de gösterilmiştir.



Şekil 105. Çekme kepçe genel sisteminin hata ağacı gösterimi

Sonuç olarak elde edilen yerkazaların zamana bağlı güvenilirlik değişimleri Şekil 106'daki grafikte 400 saate kadar verilmiştir.



Şekil 106. Hata ağacı analizine göre çekme kepçe genel sistemlerinin güvenilirlikleri

Çekme kepçeli yerkazalarının güvenilirlik eşitlikleri bağıntı 33-36'da verilmiştir.

Marion:

$$NVT=6R_{dis}^5 - 5R_{dis}^6 \quad (33)$$

$$D1=RE_{extra Node6} \times RVT \times NVT \quad (34)$$

$R_{System}=R_{halat} \times R_{zincir \ ve \ pimi} \times R_{halat} \times R_{halat \ soketi} \times R_{halat \ makarasi} \times R_{mapa \ ve \ pimi} \times R_{dönüs} \times R_{yürüyüs} \times R_{rikaz} \times R_{diger} \times R_{yaglama} \times R_{jenerator} \times R_{çekis \ kontrol} \times R_{motor} \times R_{havalendirma} \times D1 \times R_{halat} \times R_{fren} \times R_{genel \ ariza} \times R_{zincir} \times R_{pim} \times R_{kepce \ ana \ gövde} \times R_{Baglantilar}$ (35)

Page:

$R_{System}=R_{halat} \times R_{zincir \ ve \ pimi} \times R_{halat} \times R_{halat \ soketi} \times R_{halat \ makarasi} \times R_{mapa \ ve \ pimi} \times R_{dönüs} \times R_{yürüyüs} \times R_{rikaz} \times R_{diger} \times R_{yaglama} \times R_{jenerator} \times R_{çekis \ kontrol} \times R_{motor} \times R_{havalendirma} \times R_{halat} \times R_{fren} \times R_{genel \ ariza} \times R_{zincir} \times R_{pim} \times R_{kepce \ ana \ gövde} \times R_{Baglantilar}$ (36)

Şekil 106'da görüldüğü gibi her iki yerkazarın da güvenilirlikleri 40 saat sonra %60'ın altına inmektedir. Yerkazarların güvenilirlik değişimleri çok farklı olmamakla beraber, Page model yerkazar, Marion'a göre daha yavaş güvenilirlik düşüşü sergilemektedir. Buna sebep

olabilecek başlıca nedenleri olarak Marion'un Page'e göre 6 yaş daha yaşlı olması ve Marion'un 30.6 m³, Page'in ise 15.3 m³ kepçe kapasitesine sahip olması gösterilebilir. Tablo 53'da yerkazarların 100 saate kadarki güvenilirlik değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 53. Çekme kepçe genel sisteminin güvenilirliklerinin 0-100 saat arası değişimleri

| Süre(saat) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Marion | 1,000 | 0,856 | 0,747 | 0,658 | 0,584 | 0,520 | 0,465 | 0,417 | 0,376 | 0,339 | 0,306 |
| Page | 1,000 | 0,862 | 0,754 | 0,667 | 0,596 | 0,535 | 0,483 | 0,437 | 0,397 | 0,362 | 0,331 |

4.9 Çekme-Kepçeli Yerkazar Ünitelerinin Bakım-Onarım Süresi Dağılımları

Çekme kepçeli yerkazar gibi onarılabılır sistemler, arıza takibinde yapılan bakım-onarım çalışmaları ile tekrardan çalışabilir hale getirilebilen sistemlerdir. Bu sistemlerin bakım politikalarının belirlenebilmesi için, projenin 3. gelişme raporunda bahsedilen ünite arıza davranışlarının yanı sıra, ortalama onarım sürelerinin (Mean Time to Repair – MTTR) de bulunması gerekmektedir. Böylelikle, geçmişe dönük bakım-onarım sürelerine yönelik bir inceleme yapılabilecek ve aynı zamanda parça kullanılabilirlik oranları hesaplanacaktır. Üniteler içerisindeki arıza yoğunluğu ve sistem elemanı kullanılabilirliklerinden yararlanılarak, bakım-onarım operasyonlarında parça öncelik sıraları belirlenecektir.

Bir sistemin ortalama onarım süresi, arızanın tespiti ve ilgili bakım-onarım çalışmaları için geçen süreyi kapsamaktadır. Arıza giderme aktivitesi, sorunlu parçanın demonte edilmesi, yedek parçayla değiştirilmesi ve ya sorunlu kısmının düzeltilmesi ve tekrar sisteme monte edilmesi gibi aşamalardan oluşmaktadır. Onarım süreleri sıklıkla Lognormal ve Weibull dağılımlarıyla açıklanabilecek, genellikle çok miktarda kısa süreli periyotları ve az miktarda uzun süreli periyotları içermektedir. Uzun süreli sistem duraksamaları, arıza tanısının konulmasının uzun zaman aldığı ve ya sorunlu parçanın sistemden demonte edilmesinin karmaşık olduğu ve diğer parçaları etkileyen bir süreçten geçildiği durumlarda oluşmaktadır.

Sistemin geçmişe dayalı onarım sürelerinden sistem onarılabılırliği (maintainability) hakkında sonuçlara varılabilir. Güvenilirlik (reliability) çalışan bir sistemin herhangi bir zamanda arızalanabilme durumunu açıklarken, onarılabılırlik arızalan bir sistemin herhangi bir periyotta onarılabılırme olasılığını ele almaktadır. Aynı zamanda hem güvenilirlik hem de onarılabılırlik verileri kullanılarak, sistemin herhangi bir zamanda kullanılabilir olma (availability) yüzdelerine ulaşılabilir.

4.9.1 Çekme Kepçe Çekiş Ünitesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları

Çekiş ünitesinin alt bileşenlerine yönelik uygulanan bakım onarımların sürelerinin dağılımları Tablo 2'de verilmektedir. Page yerkazarın halat ve zincir-pim alt bileşenleri dışında, her iki çekme kepçede 2 parametrelili Lognormal dağılımı görülmektedir. Lognormal dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf) bağıntı 37'deki gibidir.

$$f(t') = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t' - \mu'}{\sigma'} \right)^2} \quad (37)$$

Bağıntı 37'deki t' değeri onarım süresinin doğal logaritmasını ($\ln(t)$), μ' değeri onarım sürelerinin doğal logaritmalarının ortalamasını, σ' ise onarım sürelerinin doğal logaritmalarının standart sapmasını göstermektedir. Oluşturulan lognormal dağılımın ortalama, orta ve tepe noktaları ile standart sapması bağıntı 38-41'den hesaplanabilir.

$$\text{Dağılımın Ortalaması (MTTR)} = \mu = e^{\mu' + \frac{1}{2}\sigma'^2} \quad (38)$$

$$\text{Dağılımın Orta Değeri} = \check{T} = e^{\mu'} \quad (39)$$

$$\text{Dağılımın Tepe Noktası} = \tilde{T} = e^{\mu' - \sigma'^2} \quad (40)$$

$$\text{Dağılım Standart Sapması} = \sigma_T = \sqrt{(e^{2\mu' + \sigma'^2})(e^{\sigma'^2} - 1)} \quad (41)$$

Page halat ve zincir-pim bileşenlerinde görülen Weibull dağılıma ait olasılık dağılım fonksiyonu ve karakteristik değerlere ait hesaplamalara bağıntı 42-45'da verilmektedir.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (42)$$

Dağılımın Ortalaması (MTTR) = $\gamma + \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$; gamma fonksiyonu $\Gamma(n) = \int_0^\infty e^{-x} x^{n-1} dx$.

$$\text{Dağılımın Orta Değeri} = \check{T} = \gamma + \eta (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}} \quad (43)$$

$$\text{Dağılımın Tepe Noktası} = \tilde{T} = \gamma + \eta \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (44)$$

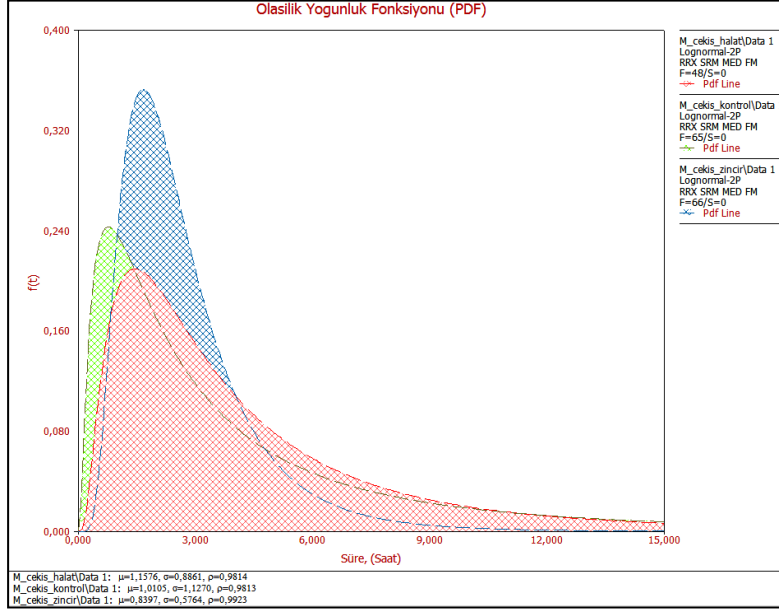
$$Dağılım Standart Sapması = \sigma_T = \eta \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) - \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)^2} \quad (45)$$

3 parametrelili Weibull dağılımındaki η ölçek (scale) parametresidir. Apsis değeri olarak bu parametre alındığında, yoğunluk fonksiyonun altında ve bu zaman değerinin sol tarafındaki kalan alan toplam alanın 63.2%'sini oluşturmaktadır. β biçim (shape) parametresidir ve verilerin yayılımına göre değer almaktadır. 1'den küçük biçim parametresi dağılımın üssel (exponential) dağılıma yakın yani yüksek frekansta düşük değerlerin varlığına işaret etmektedir. Eğer biçim parametresi 1 olursa, dağılım tam üssel dağılım sergiler. Bu değer 1'den büyük olduğu durumlar, uzun süreli onarım işlemlerinin miktarlarının arttığını göstermektedir. Biçim parametresi 3.5 olduğunda dağılımın orta ve tepe noktaları eşitlenip tam simetriklik kazanır ve normal dağılım ortaya çıkar. Tablo 54'de bileşenlerde görülen Weibull dağılımında, biçim parametresi 1'den büyük olduğu görülmektedir. Bu sebepten dağılım konveks bir eğri biçimindedir ve dağılım yoğunluğu mevcut parametrelere göre ortaya doğru kaymıştır. Her iki bileşende değeri 3 civarında olan ölçek parametresi, bu bileşenlerdeki onarım sürelerinin 63.2%'sinin bu değer 3 altında olduğunu göstermektedir. Bu iki parametrenin yanı sıra, 3. parametre olan γ , yani konum (location) parametresi, onarım çalışmalarının en az 0.32 ve 0.45 saat sürdüğünü göstermekte, bundan küçük bir sürede onarım yapılmasının olası olmadığını işaret etmektedir.

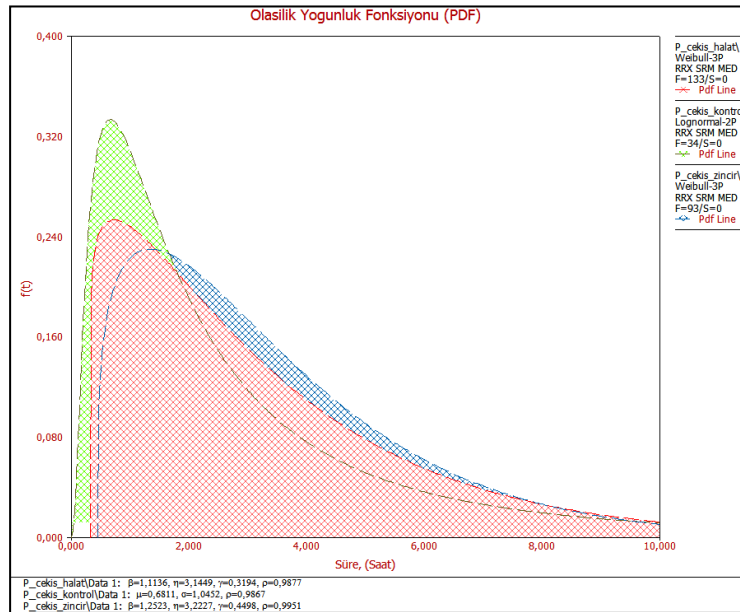
Tablo 54. Çekiş ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------------|--------------|-------------------|----------|--------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Halat | Weibull-3P | β | 1,114 | Lognormal-2P | μ' | 1,158 |
| | | η | 3,145 | | σ' | 0,886 |
| | | γ | 0,319 | | LK Değeri | -117,014 |
| | | LK Değeri | -277,349 | | Rho | 0,981 |
| | | Rho | 0,988 | | | |
| Zincir ve Pimi | Weibull-3P | β | 1,252 | Lognormal-2P | μ' | 0,840 |
| | | η | 3,223 | | σ' | 0,576 |
| | | γ | 0,450 | | LK Değeri | -111,388 |
| | | LK Değeri | -191,857 | | Rho | 0,992 |
| | | Rho | 0,995 | | | |
| Çekiş Kontrol | Lognormal-2P | μ' | 0,681 | Lognormal-2P | μ' | 1,010 |
| | | σ' | 1,045 | | σ' | 1,127 |
| | | LK Değeri | -71,723 | | LK Değeri | -165,065 |
| | | Rho | 0,987 | | Rho | 0,981 |

Tablo 54'deki parametreleri verilen olasılık yoğunluk fonksiyonlarının grafiksel gösterimleri Şekil 107 ve 108'de yer almaktadır. Bileşenlerin dağılım değerlerine göre hesaplanan ortalama onarım sürelerinin 90 % güven aralığındaki ($MTTR \pm 2\sigma_T$) değerleri Tablo 55'de verilmektedir. Hesaplamalara göre en uzun onarım süresi hem Marion hem de Page yerkazarları için çekiş kontrol parçasıdır. En kısa sürede çalışabilir konuma getirilen parça Marion için zincir ve pimi, Page için ise halat bileşenidir.



Şekil 107. Marion çekiş ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları



Şekil 108. Page çekiş ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Tablo 55. Çekiş ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat)

| Üniteler | PAGE | | MARION | |
|----------------|-----------|------|-----------|------|
| Halat | Alt Sınır | 2,96 | Alt Sınır | 3,82 |
| | MTTR | 3,34 | MTTR | 4,71 |
| | Üst Sınır | 3,79 | Üst Sınır | 5,82 |
| Zincir ve Pimi | Alt Sınır | 3,04 | Alt Sınır | 2,43 |
| | MTTR | 3,45 | MTTR | 2,73 |
| | Üst Sınır | 3,92 | Üst Sınır | 3,07 |
| Çekiş Kontrol | Alt Sınır | 2,54 | Alt Sınır | 4,12 |
| | MTTR | 3,41 | MTTR | 5,18 |
| | Üst Sınır | 4,58 | Üst Sınır | 6,52 |

4.9.2. Çekme Kepçe Kaldırış Ünitesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları

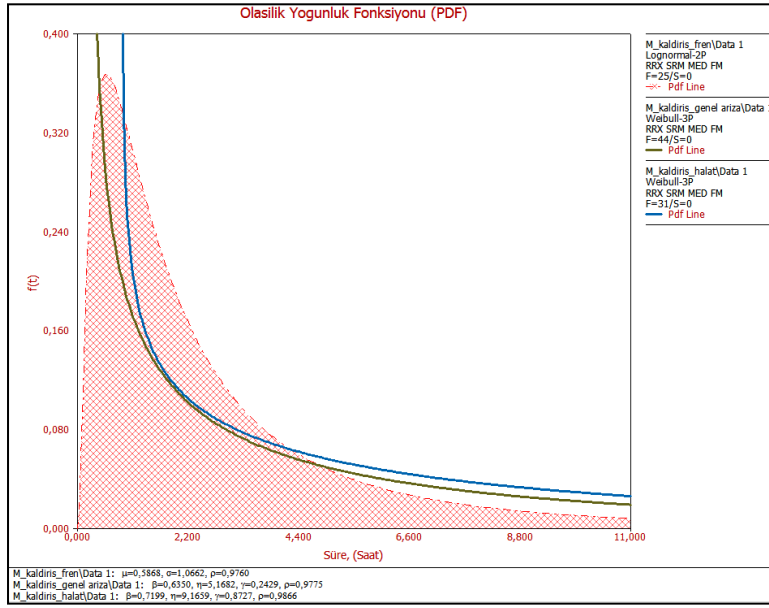
Çekme kepçeli yerkazaların kaldırış ünitelerinin bileşenlerine ait onarım süreleri dağılımı Tablo 56'de verilmektedir. 3 parametrelili ve 2 parametrelili Weibull dağılımları bu ünite bileşenlerinde görülen dağılımlardır.

3 parametrelili dağılımların biçim parametreleri (β) 1'den küçüktür. Bu durum, bileşenlerin üssel dağılıma benzer bir dağılım sergilediği ve farklı büyüklüklerde onarım sürelerine sahip olduklarını göstermektedir. Özellikle biçim parametresi oldukça küçük olan genel arıza bileşeni, hem kısa süreli hem de uzun süreli onarımların gerçekleştiği enli bir dağılıma sahiptir. Bu dağılımlardaki konum parametresi (γ) bileşenlerin onarımlarının her zaman belli bir sürenin üstünde olduğuna işaret etmektedir. Diğer yandan, 2 parametrelili Weibull dağılımı gösteren Page halat ve fren parçalarında dağılım, biçim parametresinin 1'den büyük olması ve de konum parametresinin olmaması sebebiyle orijinden başlamakta ve konveks bir eğri şekli göstermektedir. Bu dağılım şekli, onarım sürelerinin belirli bir aralıkta yığıldığını, süreler arasında büyük farklılıklar olmadığını ifade eder. Kaldırış ünitesi bileşenlerine ait dağılım fonksiyonları Şekil 109 ve 110'de gösterilmektedir.

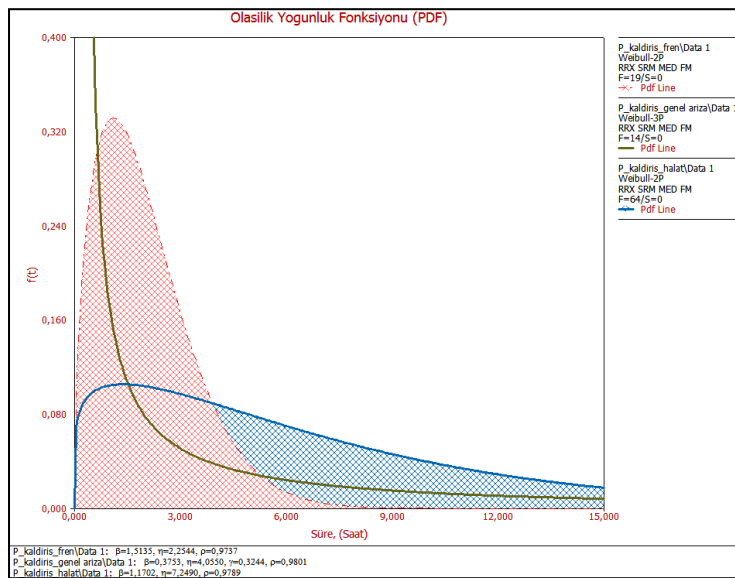
Tablo 56. Kaldırış ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------|------------|-------------------|----------|------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Halat | Weibull-2P | β | 1,170 | Weibull-3P | β | 0,692 |
| | | η | 7,249 | | η | 10,274 |
| | | LK Değeri | -188,510 | | γ | 0,880 |
| | | Rho | 0,979 | | LK Değeri | -108,482 |
| | | | | | Rho | 0,990 |
| Fren | Weibull-2P | β | 1,513 | Weibull-3P | β | 0,720 |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|-----------|---------|------------|-----------|----------|
| | | η | 2,254 | | η | 9,166 |
| | | LK Değeri | -29,144 | | γ | 0,873 |
| | | Rho | 0,974 | | LK Değeri | -100,468 |
| | | | | | Rho | 0,987 |
| Genel Arıza | Weibull-3P | β | 0,375 | Weibull-3P | β | 0,635 |
| | | η | 4,055 | | η | 5,168 |
| | | γ | 0,324 | | γ | 0,243 |
| | | LK Değeri | -34,289 | | LK Değeri | -123,103 |
| | | Rho | 0,980 | | Rho | 0,978 |



Şekil 109. Marion kaldırış ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları



Şekil 110. Marion kaldırış ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Kaldırış üniteleri bileşenlerinin sahip oldukları dağılım parametrelerine göre 90% güven aralığındaki ortalama onarım süreleri Tablo 57’de verilmektedir. Bu üniteye yaşanacak arızaların düzeltilmesinde en kısa süreli onarımlar her iki çekme kepçe için fren bileşeninde, en uzun onarımlar ise Page için genel arıza, Marion için halat ünitesinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 57. Kaldırış ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat)

| Üniteler | PAGE | | MARION | |
|-------------|-----------|-------|-----------|-------|
| Halat | Alt Sınır | 5,70 | Alt Sınır | 8,00 |
| | MTTR | 6,86 | MTTR | 12,18 |
| | Üst Sınır | 8,27 | Üst Sınır | 18,81 |
| Fren | Alt Sınır | 1,55 | Alt Sınır | 2,24 |
| | MTTR | 2,03 | MTTR | 3,17 |
| | Üst Sınır | 2,67 | Üst Sınır | 4,51 |
| Genel Arıza | Alt Sınır | 4,86 | Alt Sınır | 5,16 |
| | MTTR | 16,56 | MTTR | 7,49 |
| | Üst Sınır | 58,43 | Üst Sınır | 10,94 |

4.9.3 Çekme Kepçe Terazi Ünitesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları

Çekme kepçelerin terazi ünitesi bileşenleri Weibull, Loglojistik, Lognormal olmak üzere 3 farklı dağılımlar sergilemektedir (Tablo 58). 3 parametrelili Weibull dağılımı gösteren bileşenlerden Page halat ve halat makarası bileşenleri ile Marion halat makarası bileşeni, konveks eğri şekli göstermektedir. Aynı dağılımı gösteren Marion halat soketi ve Page mapapimi ise üssel dağılıma benzer yayılım göstermektedir. Lognormal dağılım gösteren Marion halat bileşeni 0.36 log-ortalımalı bir dağılıma sahiptir. Diğer bir dağılım olan Loglojistik Page halat soketinde görülmektedir. Loglojistik dağılım şekil olarak lognormal dağılımı andırmakla beraber, uç kısımları üssel bir bitiş sergilemektense sonsuza doğru gidebilmektedir (heavier tailed). 2 parametrelili olan Loglojistik dağılımın yoğunluk fonksiyonu (PDF) ve diğer belirleyici değerler bağıntı 46-51’de gösterilmektedir. Bağıntılardaki μ ölçek (scale), σ biçim (shape) parametresidir. Mevcut dağılımlara ait PDF grafikleri Şekil 111 ve 112’de verilmektedir.

$$f(t) = \frac{e^z}{\sigma t(1+e^z)^2} \quad (46)$$

$$z = \frac{t' - \mu}{\sigma} \quad (47)$$

$$\text{Dağılımın Ortalaması (MTTR)} = e^{\mu} \Gamma(1 + \sigma) \Gamma(1 - \sigma) \quad (48)$$

$$\text{Dağılımın Orta Değeri} = \tilde{T} = e^{\mu} \quad (49)$$

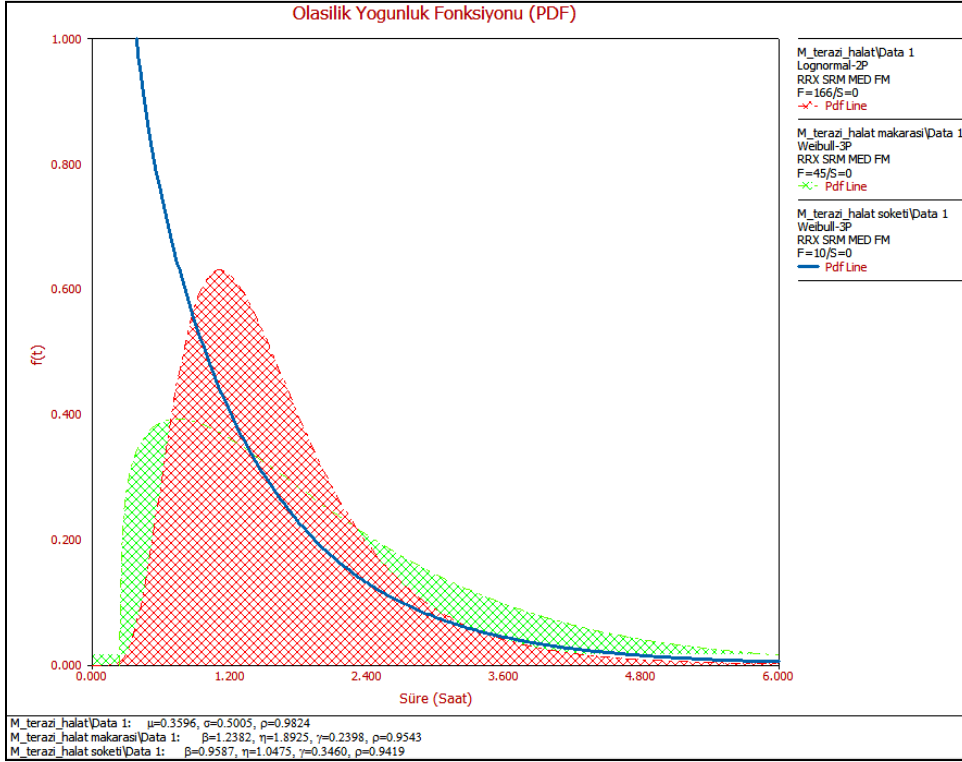
$$\text{Dağılımın Tepe Noktası} = \tilde{T} = e^{\mu + \sigma \ln\left(\frac{1-\sigma}{1+\sigma}\right)} \quad (50)$$

$$\text{Dağılım Standart Sapması} = \sigma_T = e^{\mu} \sqrt{\Gamma(1+2\sigma)\Gamma(1-2\sigma) - (\Gamma(1+\sigma)\Gamma(1-\sigma))^2} \quad (51)$$

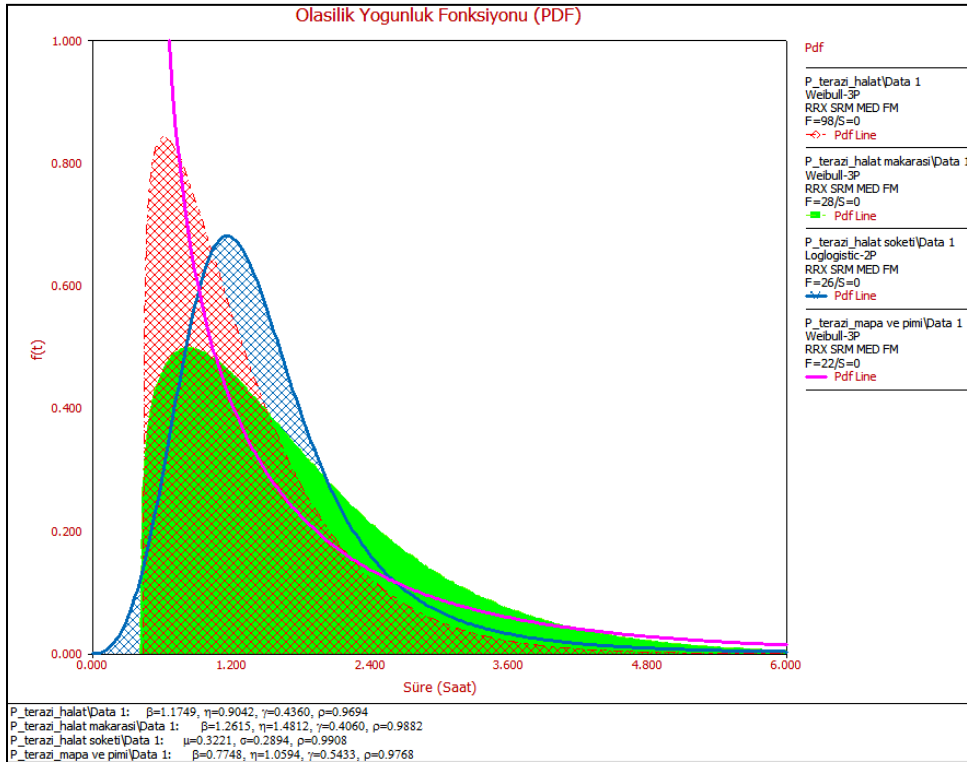
Yerkazırların kepçe kaldırış hareketlerini gerçekleştiren mekanik parçalara ait dağılım parametrelerine göre $MTTR \pm 2\sigma_t$ yani 90 % güven aralığındaki onarım süreleri Tablo 59'da verilmektedir. Kaldırış ünitelerinde yaşanan arızalar diğer ünitelere nispeten daha kısa sürede (1.3-2 saat) giderilebilmektedir. Ünite bileşenlerine bakıldığında en uzun süreli onarımlar her iki çekme kepçeli yerkazar için halat makarası olmaktadır.

Tablo 58. Terazi ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|-----------------------|-------------|-------------------|---------|--------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Halat | Weibull-3P | β | 1.175 | Lognormal-2P | Mean | 0.360 |
| | | η | 0.904 | | Std | 0.501 |
| | | γ | 0.436 | | LK Değeri | -181.164 |
| | | LK Değeri | -80.233 | | Rho | 0.982 |
| | | Rho | 0.969 | | | |
| Halat Soketi | Loglogistic | μ | 0.322 | Weibull-3P | β | 0.959 |
| | | σ | 0.289 | | η | 1.047 |
| | | LK Değeri | -26.678 | | γ | 0.346 |
| | | Rho | 0.991 | | LK Değeri | -9.813 |
| | | | | | Rho | 0.942 |
| Halat Makarası | Weibull-3P | β | 1.261 | Weibull-3P | β | 1.238 |
| | | η | 1.481 | | η | 1.893 |
| | | γ | 0.406 | | γ | 0.240 |
| | | LK Değeri | -33.845 | | LK Değeri | -67.081 |
| | | Rho | 0.988 | | Rho | 0.954 |
| Mapa ve Pimi | Weibull-3P | β | 0.775 | | | |
| | | η | 1.059 | | | |
| | | γ | 0.543 | | | |
| | | LK Değeri | -24.769 | | | |
| | | Rho | 0.977 | | | |



Şekil 111. Marion terazi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları



Şekil 112. Page terazi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Tablo 59. Terazi ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat)

| Üniteler | PAGE | | MARION | |
|----------------|-----------|--------|-----------|--------|
| Halat | Alt Sınır | 1.1708 | Alt Sınır | 1.5233 |
| | MTTR | 1.2914 | MTTR | 1.6239 |
| | Üst Sınır | 1.4317 | Üst Sınır | 1.7310 |
| Halat Soketi | Alt Sınır | 1.3441 | Alt Sınır | 0.9311 |
| | MTTR | 1.5902 | MTTR | 1.4134 |
| | Üst Sınır | 1.8814 | Üst Sınır | 2.2931 |
| Halat Makarası | Alt Sınır | 1.4574 | Alt Sınır | 1.6645 |
| | MTTR | 1.7827 | MTTR | 2.0063 |
| | Üst Sınır | 2.2085 | Üst Sınır | 2.4300 |
| Mapa ve Pimi | Alt Sınır | 1.3070 | | |
| | MTTR | 1.7724 | | |
| | Üst Sınır | 2.5213 | | |

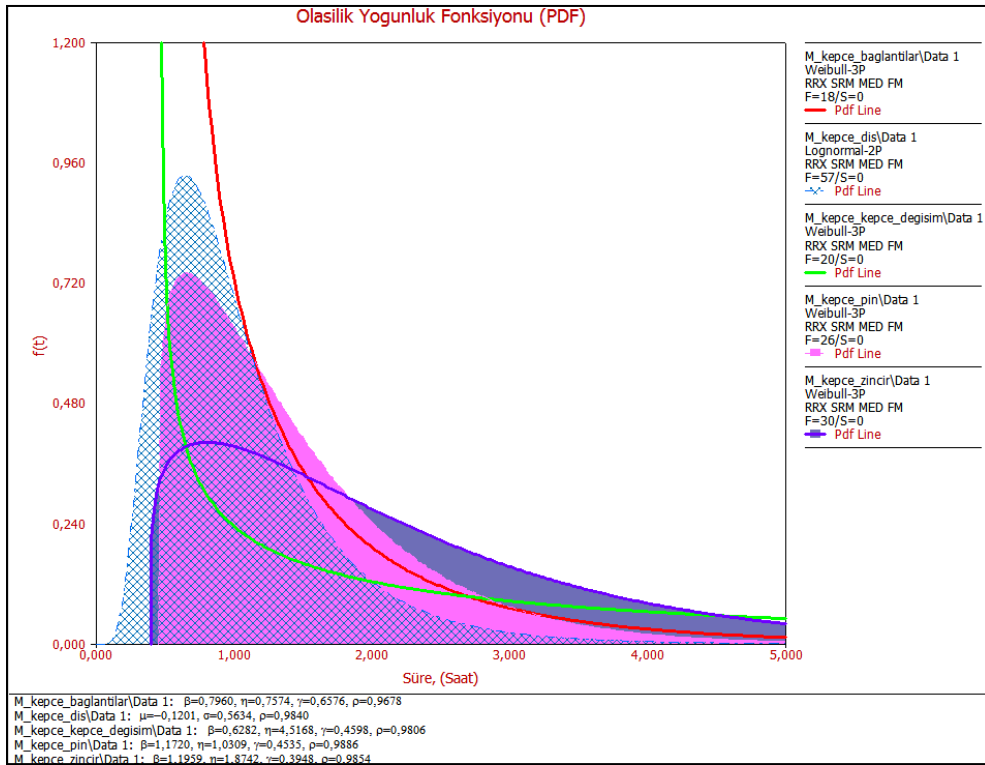
4.9.4 Çekme Kepçe Kepçe Ünitesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları

Yerkazırların zemin ile etkileşimin yaşandığı kepçe ünitesi elemanları sık ama genellikle kısa süreli onarımların ardından eski işlevsel hallerine geri getirilmektedirler. Bileşenlerde 3 parametrelili Weibull ve 2 parametrelili lognormal dağılımları yaygın olarak görülmektedir (Tablo 60). Weibull dağılımı gösteren parçalardan özellikle kepçe ana gövdesi bileşeni düşük biçim parametresiyle onarım sürelerindeki farklılığın en yüksek görüldüğü bileşendir. Kepçe ünitesi elemanlarından Page için bağlantılar bileşeni, Marion için ise dış bileşeni sadece 2 parametrelili Lognormal dağılımı gösterirler. Dağılımların birbirine göre konum ve biçimleri Şekil 113 ve 114'den incelenebilir.

Tablo 60. Kepçe ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri

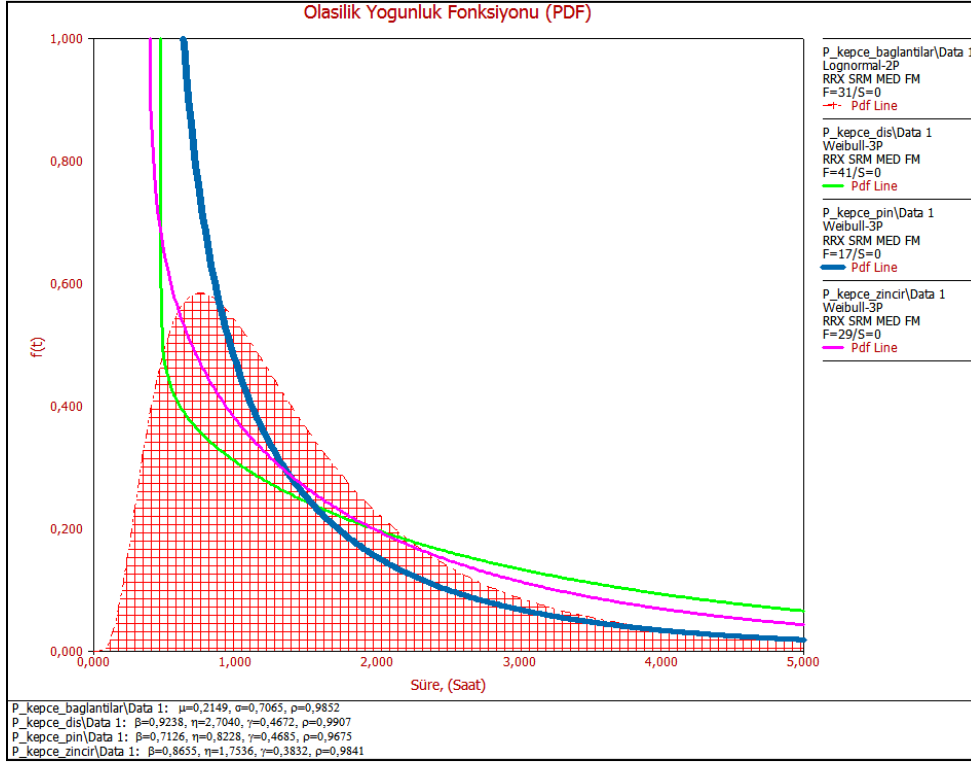
| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------|------------|-------------------|---------|--------------|-------------------|---------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Dış | Weibull-3P | β | 0.924 | Lognormal-2P | Mean | -0.120 |
| | | η | 2.704 | | Std | 0.563 |
| | | γ | 0.467 | | LK Değeri | -40.447 |
| | | LK Değeri | -81.234 | | Rho | 0.984 |
| | | Rho | 0.991 | | | |
| Zincir | Weibull-3P | β | 0.865 | Weibull-3P | β | 1.196 |
| | | η | 1.754 | | η | 1.874 |
| | | γ | 0.383 | | γ | 0.395 |
| | | LK Değeri | -44.764 | | LK Değeri | -44.726 |
| | | Rho | 0.984 | | Rho | 0.985 |
| Pim | Weibull-3P | β | 0.713 | Weibull-3P | β | 1.172 |
| | | η | 0.823 | | η | 1.031 |
| | | γ | 0.469 | | γ | 0.454 |
| | | LK Değeri | -15.106 | | LK Değeri | -23.693 |
| | | | | | | |

| | | | | | | |
|------------------------|--------------|-----------|---------|------------|-----------|---------|
| | | Rho | 0.967 | | Rho | 0.989 |
| Kepçe Ana Gövde | Weibull-3P | β | 0.564 | Weibull-3P | β | 0.628 |
| | | η | 3.374 | | η | 4.517 |
| | | γ | 0.484 | | γ | 0.460 |
| | | LK Değeri | -44.124 | | LK Değeri | -52.152 |
| | | Rho | 0.978 | | Rho | 0.981 |
| Bağlantılar | Lognormal-2P | Mean | 0.215 | Weibull-3P | β | 0.796 |
| | | Std | 0.707 | | η | 0.757 |
| | | LK Değeri | -38.733 | | γ | 0.658 |
| | | Rho | 0.985 | | LK Değeri | -14.282 |
| | | | | | Rho | 0.968 |



Şekil 113. Marion kepçe ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Kepçe ünitelerine ait ortalama tamir süreleri, kepçe ana gövdesi bileşeni dışında genellikle kısa sürelidir (Tablo 61). Her iki çekme kepçeli yer kazar için de kepçe ana gövdesi 6-7 saat aralığıyla en uzun süreli bakım işleminin yaşandığı bileşendir. Bu ünitenin bileşenlerinin yaşam dağılımları dış bileşeni haricinde itibariyle birbiriyle uyumaktadır. Dış bileşenin onarımı Page için ortalama 3.3 saat, Marion için ise ortalama 1 saat sürmektedir.



Şekil 114. Page kepçe ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Tablo 61. Kepçe ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (Saat)

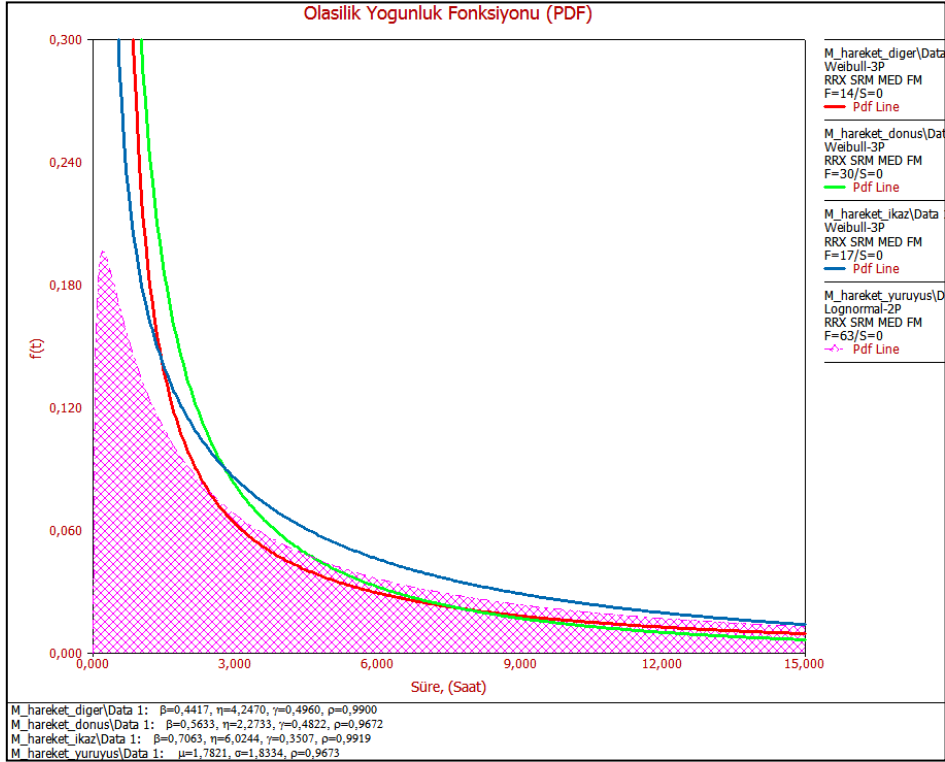
| Üniteler | PAGE | | MARION | |
|------------------------|-----------|-------|-----------|-------|
| Diş | Alt Sınır | 2.55 | Alt Sınır | 0.92 |
| | MTTR | 3.27 | MTTR | 1.04 |
| | Üst Sınır | 4.25 | Üst Sınır | 1.18 |
| Zincir | Alt Sınır | 1.66 | Alt Sınır | 1.74 |
| | MTTR | 2.27 | MTTR | 2.16 |
| | Üst Sınır | 3.16 | Üst Sınır | 2.71 |
| Pim | Alt Sınır | 1.04 | Alt Sınır | 1.18 |
| | MTTR | 1.49 | MTTR | 1.43 |
| | Üst Sınır | 2.32 | Üst Sınır | 1.77 |
| Kepçe Ana Gövde | Alt Sınır | 3.18 | Alt Sınır | 3.90 |
| | MTTR | 6.02 | MTTR | 6.88 |
| | Üst Sınır | 11.81 | Üst Sınır | 12.42 |
| Bağlantılar | Alt Sınır | 1.29 | Alt Sınır | 1.17 |
| | MTTR | 1.59 | MTTR | 1.52 |
| | Üst Sınır | 1.96 | Üst Sınır | 2.09 |

4.9.5 Çekme Kepçe Hareket Ünitesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları

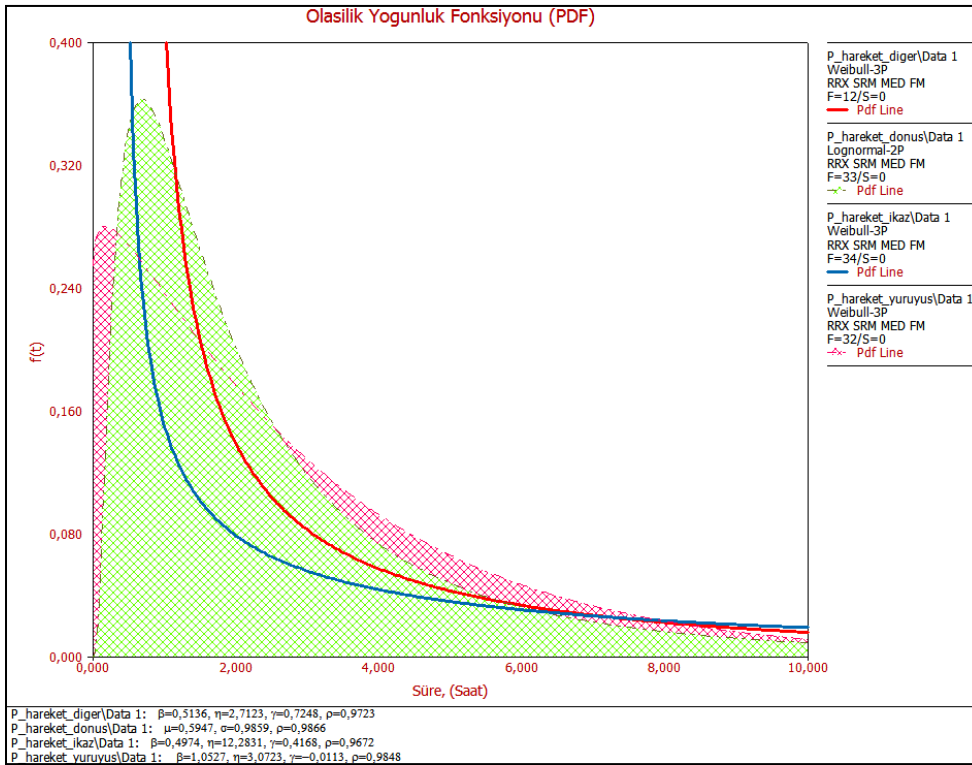
Yerkazırların dönüş, yürüyüş ve ikaz gibi temel konumlanma hareketlerini yerine getiren parçalara ait onarım süreleri dağılımları Tablo 62'da verilmektedir. Kepçe ünitesinde olduğu gibi bu ünite de 3 parametrelili Weibull ve 2 parametrelili Lognormal dağılımları bileşenlerin sürelerini tahmin etmede en uygun dağılım şekilleridir. Page yürüyüş bileşeni dışındaki diğer Weibull dağılımı sağlayan bileşenler üssel dağılıma yakın bir dağılım sergilemektedir. Lognormal dağılım sergileyen Page dönüş ünitesi 0.6, Marion yürüyüş ünitesi ise 1.78'lik logaritmik ortalamalı bir dağılım izlerler. Dağılımların konumları ve yoğunlaşma noktaları Şekil 115 ve 116'den incelenebilir.

Tablo 62. Hareket ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri

| Üniteler | PAGE | | | MARION | | |
|----------|--------------|-------------------|----------|--------------|-------------------|----------|
| | Dağılım | Dağılım Birimleri | | Dağılım | Dağılım Birimleri | |
| Dönüş | Lognormal-2P | Mean | 0.595 | Weibull-3P | β | 0.563 |
| | | Std | 0.986 | | η | 2.273 |
| | | LK Değeri | -64.796 | | γ | 0.482 |
| | | Rho | 0.987 | | LK Değeri | -58.725 |
| | | | | | Rho | 0.967 |
| Yürüyüş | Weibull-3P | β | 1.053 | Lognormal-2P | Mean | 1.782 |
| | | η | 3.072 | | Std | 1.833 |
| | | γ | -0.011 | | LK Değeri | -240.100 |
| | | LK Değeri | -66.410 | | Rho | 0.967 |
| | | Rho | 0.985 | | | |
| İkaz | Weibull-3P | β | 0.497 | Weibull-3P | β | 0.706 |
| | | η | 12.283 | | η | 6.024 |
| | | γ | 0.417 | | γ | 0.351 |
| | | LK Değeri | -123.879 | | LK Değeri | -48.286 |
| | | Rho | 0.967 | | Rho | 0.992 |
| Diğer | Weibull-3P | β | 0.514 | Weibull-3P | β | 0.442 |
| | | η | 2.712 | | η | 4.247 |
| | | γ | 0.725 | | γ | 0.496 |
| | | LK Değeri | -25.233 | | LK Değeri | -35.420 |
| | | Rho | 0.972 | | Rho | 0.990 |



Şekil 115. Marion hareket ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları



Şekil 116. Marion hareket ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Hareket ünitesi bileşenlerinin 90% güven aralığındaki ortalama onarım süreleri Tablo 63'de gösterilmektedir. Bileşenlerin ortalama süre değerleri Page için yaklaşık 3-6 saat, Marion için 4-32 saat arasında değişmektedir. Süreler incelendiği zaman, Marion hareket ünitesinde yer alan arızanın Page'e göre daha uzun sürede tamir edilebildiği, bu sürenin yürüyüş ünitesinde 32 saate kadar çıkabildiği görülmektedir.

Tablo 63. Hareket ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat)

| Üniteler | PAGE | | MARION | |
|----------------|-----------|-------|-----------|-------|
| Dönüş | Alt Sınır | 2.22 | Alt Sınır | 2.65 |
| | MTTR | 2.95 | MTTR | 4.22 |
| | Üst Sınır | 3.91 | Üst Sınır | 6.91 |
| Yürüyüş | Alt Sınır | 2.23 | Alt Sınır | 21.82 |
| | MTTR | 3.00 | MTTR | 31.90 |
| | Üst Sınır | 4.03 | Üst Sınır | 46.65 |
| İkaz | Alt Sınır | 2.22 | Alt Sınır | 4.39 |
| | MTTR | 2.95 | MTTR | 7.91 |
| | Üst Sınır | 3.91 | Üst Sınır | 14.51 |
| Diğer | Alt Sınır | 2.59 | Alt Sınır | 4.13 |
| | MTTR | 5.89 | MTTR | 11.48 |
| | Üst Sınır | 15.02 | Üst Sınır | 33.70 |

4.9.6 Çekme Kepçe Makine Dairesi Alt Bileşenlerinin Onarım Süresi Dağılımları

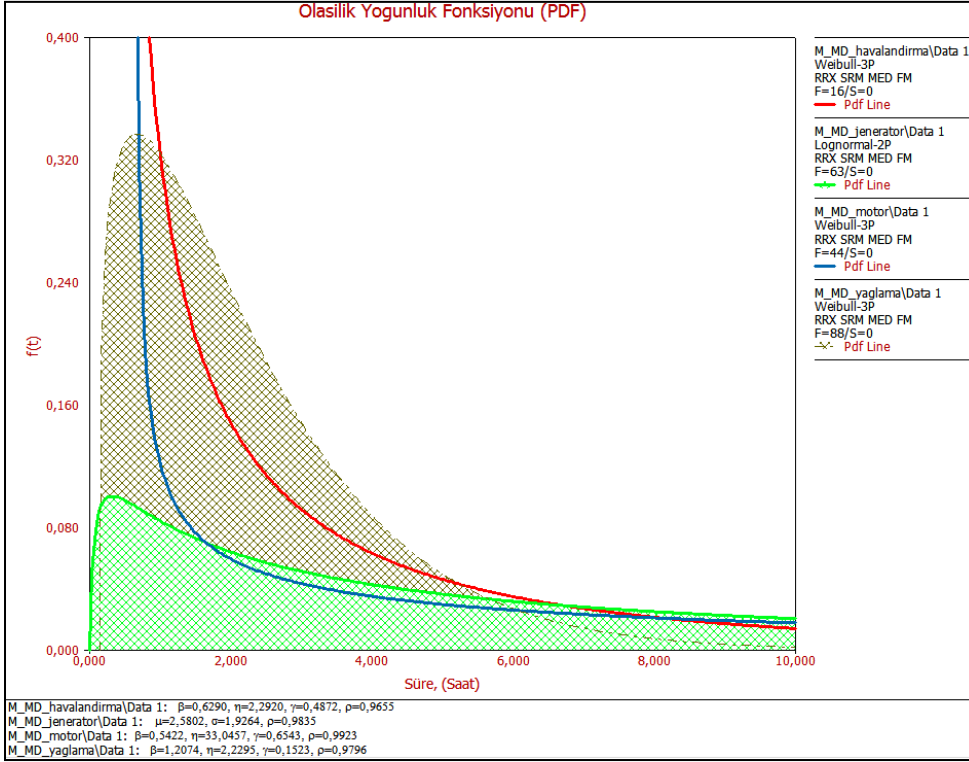
Yerkazarların tüm operasyonel hareketlerinin kontrol edildiği, motor, jeneratör ve yağlama bileşeni gibi önemli parçaları barındıran makine dairesi ünitesinin onarım süreleri dağılım parametreleri Tablo 64'de verilmektedir. İlgili bileşenler 2 ve 3 parametrelili Weibull ve 2 parametrelili Lognormal dağılımlarına uyan onarım sürelerinde tamir edilmektedir. Weibull dağılımı gösteren bileşenlerden sadece Page jeneratör bileşeni 2 parametrelidir. Bu dağılım, onarımın çok kısa bir sürede de bitirilebileceğini göstermektedir. Marion yağlama bileşeni dışındaki diğer Weibull dağılımları üssel dağılım benzeri bir dağılım sergilemektedirler. Lognormal dağılım gösteren Page yağlama ve Marion jeneratör bileşenlerinde sırasıyla 0.09 ve 2.58 logaritmik ortalamalı dağılım görülmekte olup konveks şekilli bir dağılım göstermektedirler. Bu dağılımların birbiriyle konumları Şekil 117 ve 118'de verilmektedir.

Tablo 64. Makine dairesi ünitesi bileşenlerine ait onarım sürelerinin dağılım parametreleri

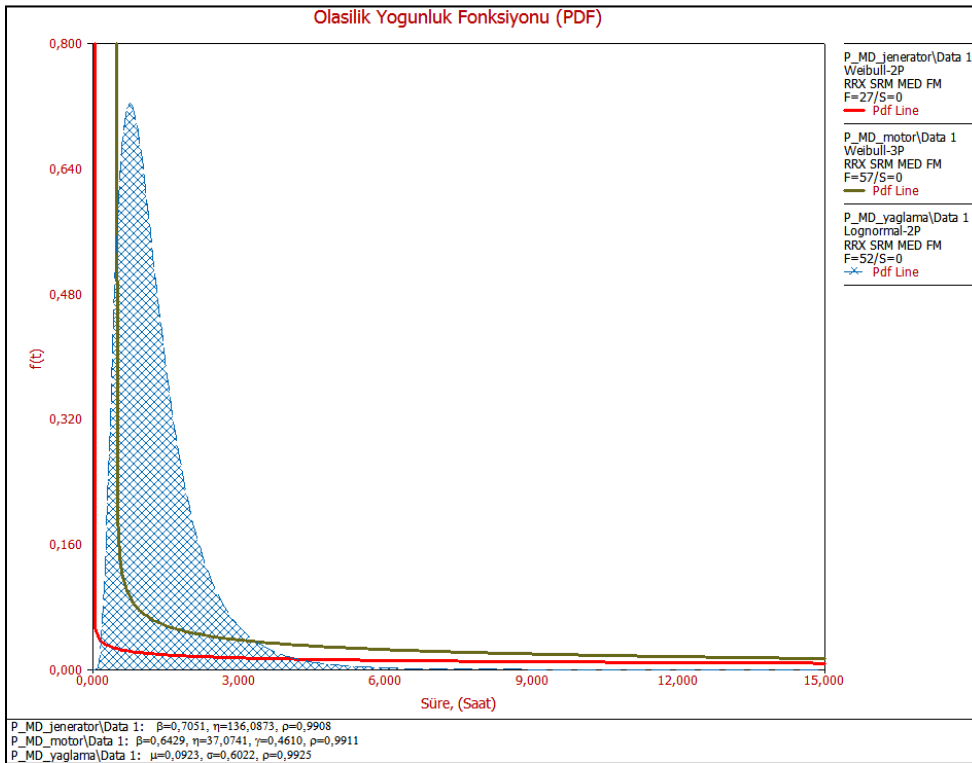
| Üniteler | PAGE | MARION |
|----------|------|--------|
|----------|------|--------|

| | Dağılım | Dağılım Birimleri | Dağılım | Dağılım Birimleri | | |
|---------------------|--------------|-------------------|----------|-------------------|-----------|----------|
| Yağlama | Lognormal-2P | μ' | 0.092 | Weibull-3P | β | 1.207 |
| | | σ' | 0.602 | | η | 2.230 |
| | | LK Değeri | -50.846 | | γ | 0.152 |
| | | Rho | 0.992 | | LK Değeri | -148.642 |
| | | | | | Rho | 0.980 |
| Jeneratör | Weibull-2P | β | 0.705 | Lognormal-2P | μ' | 2.580 |
| | | η | 136.087 | | σ' | 1.926 |
| | | LK Değeri | -161.637 | | LK Değeri | -292.457 |
| | | Rho | 0.991 | | Rho | 0.984 |
| Motor | Weibull-3P | β | 0.643 | Weibull-3P | β | 0.542 |
| | | η | 37.074 | | η | 33.046 |
| | | γ | 0.461 | | γ | 0.654 |
| | | LK Değeri | -268.080 | | LK Değeri | -201.684 |
| | | Rho | 0.991 | | Rho | 0.992 |
| Havalandırma | | | | Weibull-3P | β | 0.629 |
| | | | | | η | 2.292 |
| | | | | | γ | 0.487 |
| | | | | | LK Değeri | -31.083 |
| | | | | | Rho | 0.966 |

İlgili dağılım parametrelerine göre hesaplanan 90 % güven aralığındaki ($MTTR \pm 2\sigma_T$) ortalama onarım süresi değerleri Tablo 65'deki gibidir. Bu ünite, jeneratör ve motor gibi elektronik ve mekanik aksamı iç içe barındıran parçalarda, arızalar diğer ünite bileşenlerine göre daha uzun sürede tamir edilmektedirler. Page'de 171, Marion'da ise ortalama 84 saate kadar bu ünitelerdeki arızaların onarımına yönelik duraksamalar olmaktadır. Her iki çekme kepçeli yerkarar için en uzun süreli onarım süresi jeneratörlere aittir. Aşağıdaki Tablo 65'de de görüldüğü üzere, Page havalandırma bileşenine dair bir arıza kaydı tutulmamış, bu bileşene dair bir hesaplama yapılmamıştır.



Şekil 117. Marion makine dairesi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları



Şekil 118. Page makine dairesi ünitesi bileşenlerinin onarım süreleri yoğunluk fonksiyonları

Tablo 65. Makine dairesi ünitesi bileşenlerinin ortalama onarım süreleri (saat)

| Üniteler | PAGE | | MARION | |
|--------------|-----------|--------|-----------|--------|
| Yağlama | Alt Sınır | 1.15 | Alt Sınır | 1.94 |
| | MTTR | 1.31 | MTTR | 2.25 |
| | Üst Sınır | 1,51 | Üst Sınır | 2.60 |
| Jeneratör | Alt Sınır | 106.07 | Alt Sınır | 56.63 |
| | MTTR | 171.09 | MTTR | 84.41 |
| | Üst Sınır | 275.96 | Üst Sınır | 125.83 |
| Motor | Alt Sınır | 36.32 | Alt Sınır | 35.66 |
| | MTTR | 51.74 | MTTR | 58.18 |
| | Üst Sınır | 73.81 | Üst Sınır | 95.20 |
| Havalandırma | | | Alt Sınır | 2.12 |
| | | | MTTR | 3.74 |
| | | | Üst Sınır | 6.96 |

4.10 Çekme-Kepçeli Yerzarlara Yönelik Önleyici Bakım Onarım Politikalarının Oluşturulması

Tüm mekanik ve elektronik sistemler, bakım yapılabilirlik durumlarına göre onarılabılır ve onarılamaz sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Onarılamaz sistemlerde, yaşam süresi bitiminde sistemin eski haline getirilmesi mümkün değildir. Onarım, tamir ve parça değiştirme gibi bozulan ve ya bozulması muhtemel parçaların eski fonksiyonel hallerine geri döndürülmesini amaçlayan aktiviteler, sadece onarılabılır sistemler için geçerlidir. Maden makinaları, önleyici ve düzeltici bakım politikalarıyla operasyon esnasındaki arızaları giderilen ve ya yaşam süreleri uzatılmaya çalışılan onarılabılır sistemlerdir. Bu makinalarda olabildiğince yüksek kullanılabilirlik oranına ulaşmak, plansız duraksamaları en aza indirmek için önleyici bakımın, genel bakım politikaları arasındaki yerinin ve bu bakım türüne ayrılan bütçenin artırılması gerekmektedir. Böylelikle, plansız arızalarda yaşanması muhtemel olan yedek parça yetersizliği ve bakım elemanlarının görev dağılımlarındaki aksamaların sebep olduğu duraksama süreleri azaltılabilir. Aynı zamanda, sistem bileşenlerinde olması muhtemel arızalar önceden öngörülerek, hem bu bileşende yaşanacak arızalar hem de bu arızaların diğer bileşenler üzerindeki dolaylı etkileri arıza olmadan giderilebilir.

Maden makinasının yaşı, tasarımı, kullanım şartları ve kullanıma uygunluğu, bakım-onarım politikasındaki hatalar, yönetimsel eksiklikler gibi faktörler önleyici bakım politikalarının oluşturulmasında olumlu ve ya olumsuz katkı sunarlar. Bu makinalarda, “arızalandığı zaman tamir et” gibi sadece düzeltici bakım politikasının uygulanması, sistemin kullanılabilirlik yaşını azaltacak, arıza sıklığını arttırırken, onarım sürelerini de uzatacaktır. Güvenilirlik analizi

tabanlı önleyici bakım politikalarıyla, sistem ve alt bileşenlerinin zamana göre değişen güvenilirlik değerleri tahmin edilir ve belirlenen sınır güvenilirlik değerlerine uygun olarak bozulması en muhtemel parçalar belirlenir. Bu parçaların hangi sürelerde bakım yapılması gerektiği planlanır. Ünitelerin değişen güvenilirlik oranlarına göre arızalanma süreleri Tablo 66'da verilmektedir. Örneğin, hareket ünitesinin 70 % güvenilirlikte çalışabilmesi için en geç 95 saatte bir bakım yapılması gerekmektedir. Herhangi bir üniteye bakım yapılması durumunda, mevcut güvenilirlik değerlerinde değişimler olacaktır. Tablonun son sütununda “sistem” başlığı altındaki değerler ise, hiçbir üniteye bakım yapılmaması durumunda, sistemin geneline kaç saatte bir bakım yapılması gerektiği gösterir.

Ünitelere yönelik önleyici bakım politikalarının oluşturulması, üniteler için kritik çalışma saatlerinin tahmin edilmesi ve ünite bileşenlerinin bakım-onarım öncelik sıralamasının oluşturulması olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Kritik çalışma saatlerinin tahmini Tablo 66'da verilen güvenilirlik – saat eşleşmelerine göre tayin edilebilir. Bir makinanın ve alt ünitelerin ne kadar güvenilirlikte çalışacağı ve parçaların arıza yapabilirlik toleransları, işletmenin yönetsel birimleri ve de bakım elemanları tarafından ortaklaşa belirlenmeli, bu süreç oluşturulurken önleyici bakımın getireceği ek masraflar ile düzeltici bakım ve operasyonel duraksamalardaki azalmalardan sağlanacak faydalar karşılaştırılarak tayin edilmelidir. Belirlenecek çok yüksek güvenilirlik oranları, makinanın gereğinden fazla önleyici bakım amacıyla duraksatılmasına ve gereğinden fazla bakım onarım masrafına neden olabilir. Tablo 66'de belirtilen güvenilirlik değerlerinden 90 % ünitenin çok yüksek güvenilirlik ve az arıza oranıyla çalıştığına işaret etmektedir. 70 % ortalama güvenilirlik, 50 % ise riskli operasyon sürecini belirtmektedir. Ünitelere uygulanabilecek önleyici bakım aktiviteleri bu güvenilirlik değerleri üzerinden belirlenecektir.

Tablo 66. Ünitelerin güvenilirlik değerlerine göre arızalanma süreleri (saat)

| | Güvenilirlik | Hareket | Kaldırış | Kepçe | Makina Dairesi | Terazi | Çekiş | SİSTEM |
|--------|--------------|---------|----------|-------|----------------|--------|-------|--------|
| Marion | 0.9 | 23.9 | 13.4 | 15.9 | 22.2 | 58.8 | 28.2 | 2.4 |
| | 0.8 | 52.0 | 26.1 | 33.6 | 42.3 | 103.1 | 58.0 | 8.2 |
| | 0.7 | 95.2 | 56.6 | 51.8 | 67.5 | 144.9 | 91.3 | 13.7 |
| | 0.6 | 156.1 | 109.9 | 73.5 | 98.7 | 188.4 | 130.0 | 17.6 |
| | 0.5 | 234.0 | 195.2 | 99.4 | 137.5 | 236.4 | 176.3 | 23.5 |
| Page | 0.9 | 29.7 | 27.1 | 19.5 | 11.3 | 23.2 | 26.4 | 2.4 |
| | 0.8 | 64.0 | 62.2 | 30.9 | 36.6 | 63.4 | 52.9 | 8.1 |
| | 0.7 | 107.6 | 123.8 | 44.0 | 73.7 | 112.2 | 85.1 | 13.1 |
| | 0.6 | 164.0 | 211.8 | 60.5 | 123.8 | 169.8 | 123.8 | 18.7 |
| | 0.5 | 239.1 | 327.2 | 81.3 | 190.5 | 238.0 | 170.7 | 24.2 |

4.10.1 Çekme Kepçe Çekiş Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Çekiş üniteleri için uygulanması gereken bakım politikalarının belirlenmesinde, öncelikle belirlenen hedef güvenilirlik değerlerine karşılık gelen bakım-onarım periyotları bulunmuştur. Tablo 66'da verildiği gibi, Marion marka yerkazarların çekiş ünitelerinin 90%, 70% ve 50% güvenilirlikte çalışabilmeleri için, sırasıyla 28.2, 91.3, ve 176.3 saatte bir bakıma girmeleri gerekmektedir. Bu değerler Page için sırasıyla 26.4, 85.1, ve 170.7 saattir. Bu değerler, ilgili güvenilirlik değerlerinin korunabilmesi için yapılacak azami bakım-onarım aralıklarını göstermektedir. Bu saatlik diliminin sonunda uygulanacak bir bakımda, bakım önceliğinin hangi ünite bileşenine verileceğini bulmak için arıza ve kullanılabilirlik (availability) simülasyonları yapılmış ve Tablo 67'deki değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 67. Çekiş ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| | Çekiş Ünitesi | Arıza Kritiklik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilici Bakım Sayısı | | |
|--------|---------------|-----------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. |
| MARION | Halat | 5.50 | 11.92 | 15.45 | 0.999 | 0.998 | 0.998 | 0.006 | 0.044 | 0.106 |
| | Zincir ve Pin | 54.13 | 41.19 | 33.09 | 0.995 | 0.996 | 0.997 | 0.059 | 0.152 | 0.227 |
| | Kontrol | 40.37 | 46.88 | 51.46 | 0.995 | 0.991 | 0.989 | 0.044 | 0.173 | 0.353 |
| PAGE | Halat | 59.60 | 49.00 | 47.49 | 0.993 | 0.994 | 0.994 | 0.059 | 0.172 | 0.321 |
| | Zincir ve Pin | 40.40 | 43.30 | 40.83 | 0.996 | 0.994 | 0.994 | 0.040 | 0.152 | 0.276 |
| | Kontrol | 0.00 | 7.69 | 11.69 | 1.000 | 0.999 | 0.999 | 0.000 | 0.027 | 0.079 |

Tabloda yer alan arıza kritiklik endeksi, üniteye oluşan arızalarda bileşenlerin payını yüzdelik değerlerle veren karşılaştırmalı bir endekstir. Tabloda mevcut olan diğer bir tanım, ortalama kullanılabilirlik değeridir. Kullanılabilirlik değeri, bir parçanın herhangi bir zamanda kullanılabilir olma ihtimalini vermektedir. Nokta kullanılabilirlik (point availability) ve ortalama kullanılabilirlik (mean availability) yaygın olarak kullanılan kullanılabilirlik değerleridir. Nokta kullanılabilirlik sistemin tam olarak belirli bir zamandaki kullanılabilirliğini verir. Bu değer bağıntı 52'deki gibi hesaplanabilir. Bağıntılarda yer alan $X(t)$, ikili (binary) değer veren bir fonksiyon olup çalışır olma ($X(t) = 1$) ve olmama ($X(t) = 0$) durumunu açıklamaktadır.

$$A(t) = \Pr(X(t) = 1) = E((X(t))) \quad (52)$$

Ortalama kullanılabilirlik ise sistemin belirli bir zaman aralığındaki ortalama kullanılabilirlik değerini vermektedir. Bu değer bağıntı 53'den bulunabilir. Sistemin onarımdan sonra başarılı olarak çalışabilir duruma getirildiği durumlarda bağıntı 54'deki formül kullanılabilir.

Eşitliklerdeki MTTF arızalar arasındaki ortalama süreyi yani ortalama aralıksız çalışma değerini, MTTR ise ortalama bakım-onarım süresini vermektedir.

$$A(0, \tau) = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} A(t) dt \quad (53)$$

$$A_{\infty} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (54)$$

Tabloda değerleri verilen sonuncu tanım olan “düzeltici bakım sayısı”, belirlenen zaman dilimi içerisinde ünite bileşeninin yaşaması muhtemel arıza sayısını vermektedir. Bu tanımlanan üç tanım için, her bir ünite bileşeninin 50%, 70% ve %90 güvenilirlik oranlarındaki değerleri verilmiştir.

Tablo 67’deki bu değerlere göre, Marion çekiş ünitesinin 90 % güvenilirliğini koruyabilmek için yapılan bakımda öncelik zincir ve pin bileşenine verilmelidir. Çizelge incelendiği zaman, güvenilirlikteki düşüşle birlikte çekiş kontrol bileşeni zincir ve pin bileşeninden daha önemli daha gelmekte, kullanılabilirlik değeri zincir ve pin bileşenine göre daha hızlı düşmektedir. Halat bileşeni ise diğer iki bileşene göre belirlenen süreler içerisinde daha az arıza daha yüksek kullanılabilirlik değerine sahiptir.

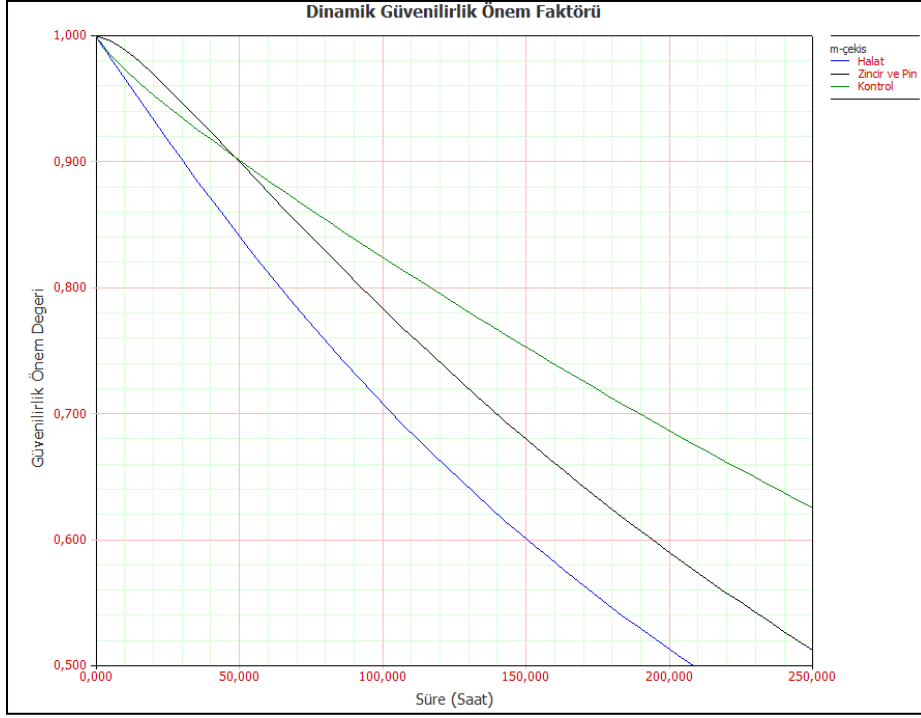
Page yerkazarı çekiş ünitesi, Marion’a göre tam ters bir öncelik sıralamasına sahiptir. Bu yerkazardan çekiş kontrol bileşeni belirlenen süreçler içerisinde, diğer bileşenlere göre nadir arıza yapmakta, halat bileşeni ise en az kullanılabilirlik oranına ve en yüksek arızalanma değerine sahip bileşen olarak görülmektedir. Halat bileşeni tüm güvenilirlik değerlerinde, en öncelikli bakım ihtiyacı olan bileşen olarak durmaktadır.

Sistem içindeki bileşenlerin bakım-onarım önceliğini bulabilmek için kullanılacak diğer bir parametre ise güvenilirlik önem faktörüdür (Reliability Importance – RI). Bu faktör, belirli zamandaki sistem güvenilirliğinin bileşen güvenilirliğine oranıdır (Bağıntı 55). Sistem güvenilirliği, belirlenmiş süre için sabit olduğundan, paydada yer alan bileşen güvenilirliği düşük oldukça RI artmaktadır.

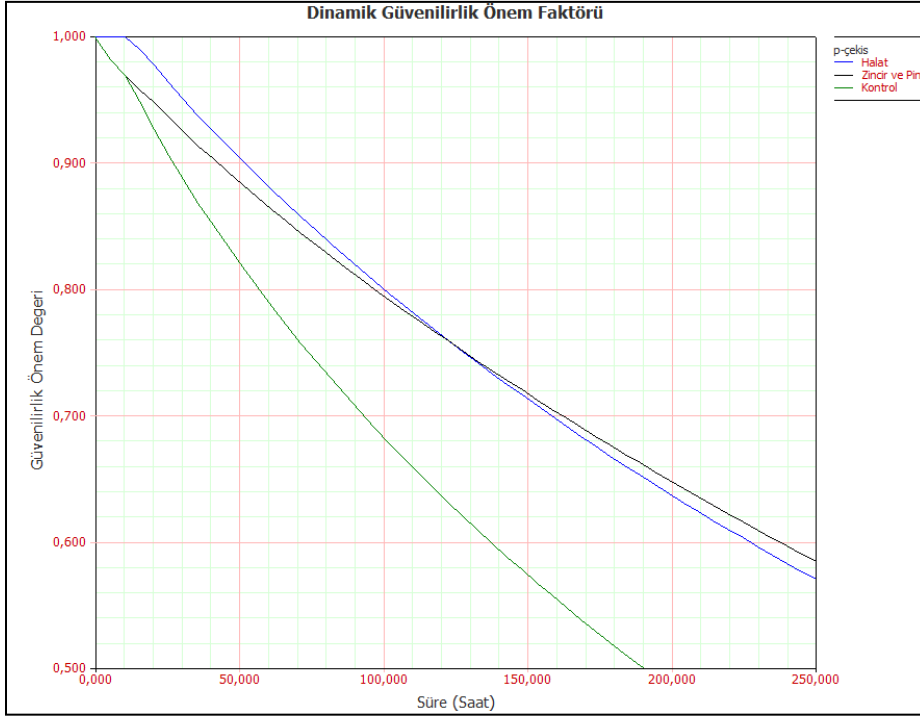
$$RI = \frac{R_s}{R_b} \quad (55)$$

Marion ve Page çekiş ünitesi bileşenleri RI değerlerinin 250 saatlik süreye bağlı değişimleri Şekil 119 ve 120’de verilmektedir. Tablo 67’deki hesaplamalarla uyumlu olarak, Marion çekiş

ünitesindeki zincir ve pin bileşeni önemini zaman içinde kaybetmekte yerini çekiş kontrol bileşenine bırakmaktadır. Page bileşenlerinde ise halat 250 saatlik süre boyunca önemini korumaktadır. Fakat zincir ve pin bileşenindeki güvenilirlik düşüşüne bağlı olarak, bu bileşenin RI değeri artan bir ivmeyle yükselmektedir.

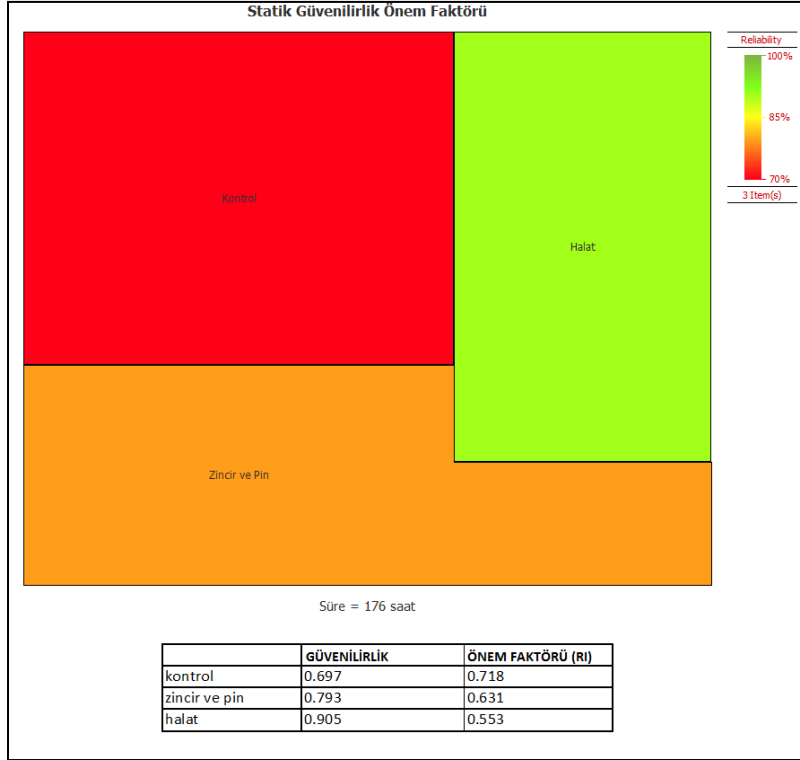


Şekil 119. Marion çekiş ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri



Şekil 120. Page çekiş ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

Şekil 119 ve Şekil 118'deki dinamik önem değerlerinin yanı sıra, hedef güvenilirlik değerleri için statik güvenilirlik değerlerinin saptanması, bileşen önem sırasının belirlenmesi için yararlı olabilir. Şekil 119 ve 120'da Marion ve Page çekiş ünitelerinin bileşenlerin 50% güvenilirlik değerindeki yani 176 ve 171. saatler için RI değerleri verilmektedir. Şekillerde tematik olarak gösterilen bileşenlerin önem değerleri, kapladıkları alanlarla doğru orantılıdır. Kullanılan lejantlar 70%-100% güvenilirlik aralığını renklendirmektedir. Şekil 121'da Marion çekiş ünitesinin 50% güvenilirliğinin altına düşmemesi için 176 saatte bir, çekiş kontrol bileşeni öncelikli olmak şartıyla (RI=0.718) önleyici bakım-onarım çalışmaları yapılmalıdır. Benzer olarak, Şekil 122'de gösterildiği gibi, Page çekiş ünitesinde 171. saatin sonunda (50% güvenilirlik), halat ve zincir-pin bileşenleri yakın önem değerlerine sahip olmaktadır. Bu sebepten, önleyici bakım-onarım çalışmalarında her iki bileşene de aynı önem verilmesi gerekmektedir. Çekiş ünitesi önleyici bakım-onarım çalışmalarına ait 70% ve 90% güvenilirlik seviyesindeki bileşen önem faktörleri Ek D1-D4'de mevcuttur.



Şekil 121. Marion çekiş ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (176. saat) önem faktörleri

4.10.2 Çekme Kepçe Kaldırış Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Marion ve Page yerkazarının kaldırış ünitelerinde güvenilirlik değerlerine göre değişen arıza ve kullanılabilirlik değerleri Çizelge 16'da verilmektedir. Mevcut veriler incelendiğinde, Marion halat bileşeni hedef güvenilirlik değerlerinde en sorunsuz çalışan bileşen olarak görülmektedir. Diğer iki bileşenden yüksek güvenilirlikteki genel arıza bileşeninin ünite içerisindeki arıza oranı çok yüksekten, düşük güvenilirlik seviyelerinde fren ve genel arıza bileşenleri aynı arıza oranlarını sergilemektedirler. Page yerkazarı için fren bileşeni ünitenin en sorunlu bileşeni olarak görülmektedir. Azalan güvenilirlik değerlerinde bile arıza oranı ve kritiklik endeksine göre bakım-onarım önceliğini korumaktadır.

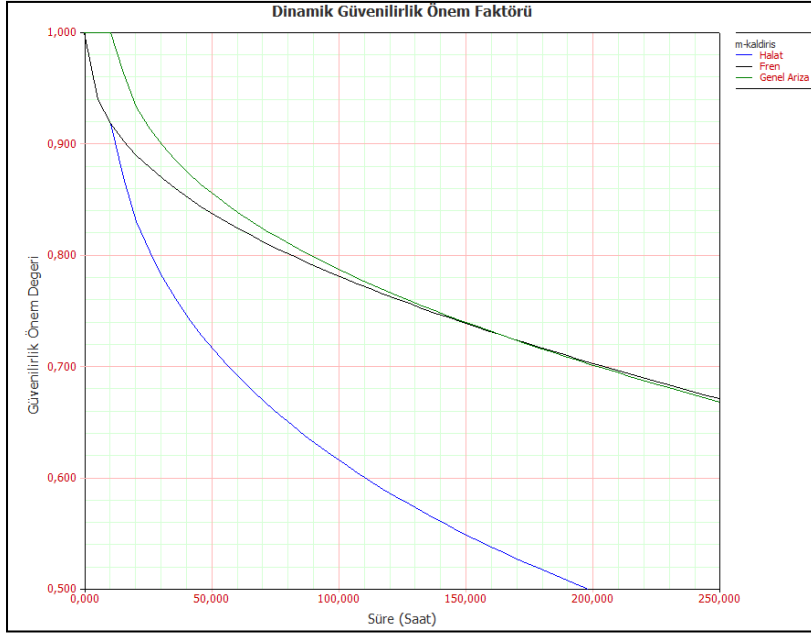


Şekil 122. Page çekiş ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (171. saat) önem faktörleri

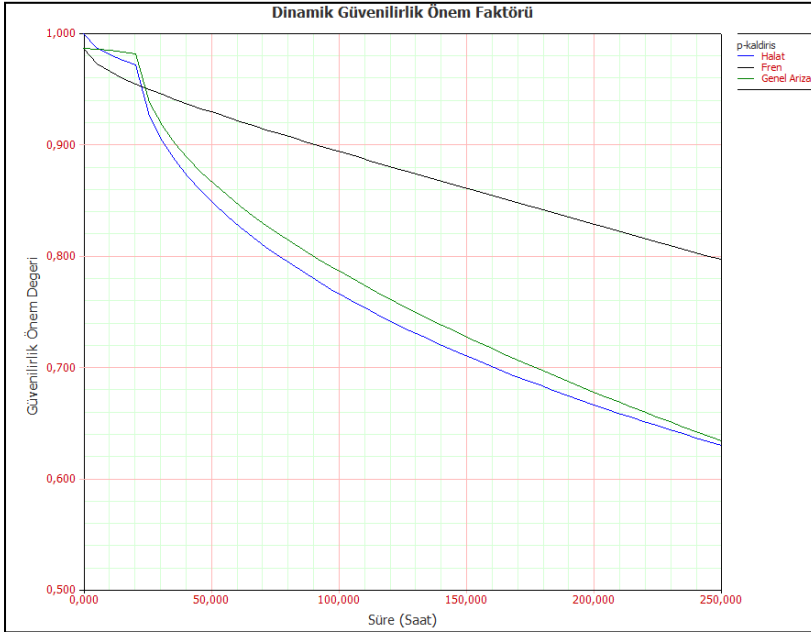
Tablo 68. Kaldırış ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| | | Arıza Kritik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilici Bakım Sayısı | | |
|--------|------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. |
| MARION | Kaldırış Ünitesi | | | | | | | | | |
| | Halat | 0.00 | 0.00 | 0.56 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 |
| | Fren | 0.00 | 46.59 | 49.58 | 1.000 | 0.992 | 0.995 | 0.000 | 0.171 | 0.357 |
| | Genel Arıza | 100.00 | 53.41 | 49.86 | 0.968 | 0.982 | 0.987 | 0.108 | 0.196 | 0.359 |
| PAGE | Halat | 23.08 | 15.47 | 20.28 | 0.994 | 0.997 | 0.997 | 0.024 | 0.058 | 0.147 |
| | Fren | 47.12 | 61.87 | 60.83 | 0.997 | 0.996 | 0.997 | 0.049 | 0.232 | 0.438 |
| | Genel Arıza | 29.81 | 22.67 | 18.89 | 0.996 | 0.992 | 0.997 | 0.031 | 0.085 | 0.136 |

Arıza ve bakım verilerinden elde edilen bulguların yanı sıra, sistem güvenilirliğinin bileşen güvenilirliğine oranıyla bulunan zaman bağlı güvenilirlik önem faktörü (RI) Şekil 123 ve 124'den incelenebilir. Şekil 123'de yer alan karşılaştırmalı endeksler incelendiğinde, Page çekiş ünitesi içerisinde halat bileşeni diğer bileşenlere göre devamlı azalan bir önem faktörüne sahipken, fren bileşeni ise devamlı artan bir faktör sergilemektedir. Marion için halat ve genel arıza bileşenleri azalan bir önem faktörüne sahipken, fren bileşeni diğer bileşenlerle olan önem faktörü oranını süregelen olarak arttırmaktadır (Şekil 124).



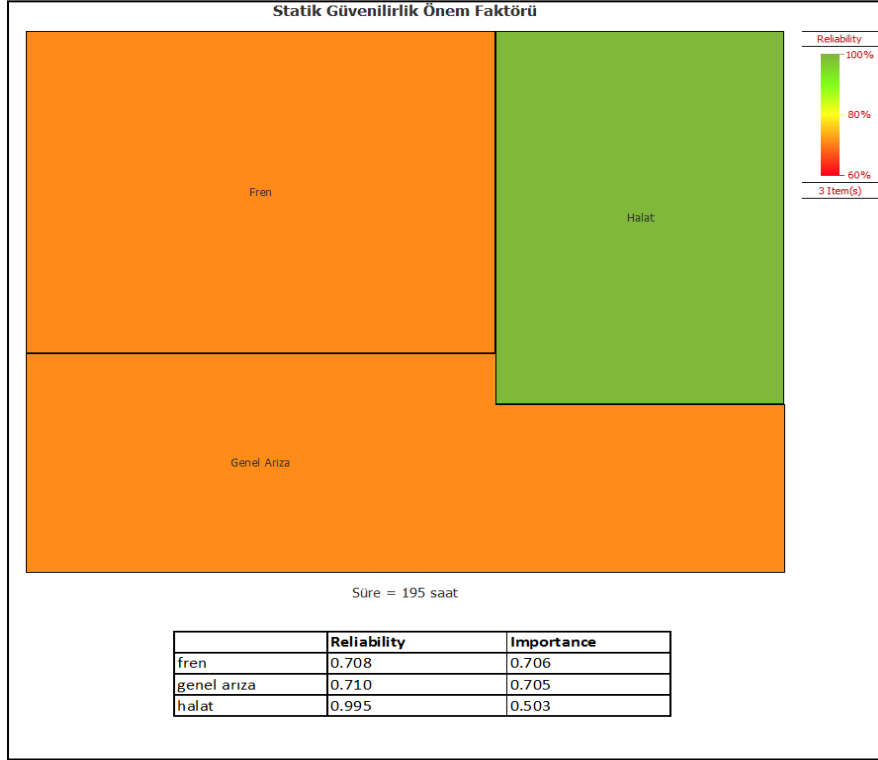
Şekil 123. Marion kaldırış ünitesi bileşenlerinin zaman bağılı RI değerleri



Şekil 124. Page kaldırış ünitesi bileşenlerinin zaman bağılı RI değerleri

Dinamik önem faktörlerine ek olarak, Marion ve Page kaldırış ünitelerin 50% güvenilirliği için sınır süre değerleri olan 195. ve 327. saatlere ait olan önem faktörü dağılımı Şekil 125 ve 126'de verilmektedir. Bu ünitelerin 50% güvenilirliğin altına düşmesinin istenmediği durumlarda, bu çalışma saatleri aşılmayacak şekilde önleyici bakım çalışmaları yapılmalıdır. Bu durumda, Page için fren ve genel arıza bileşenleri aynı öncelik sıralamasına sahipken,

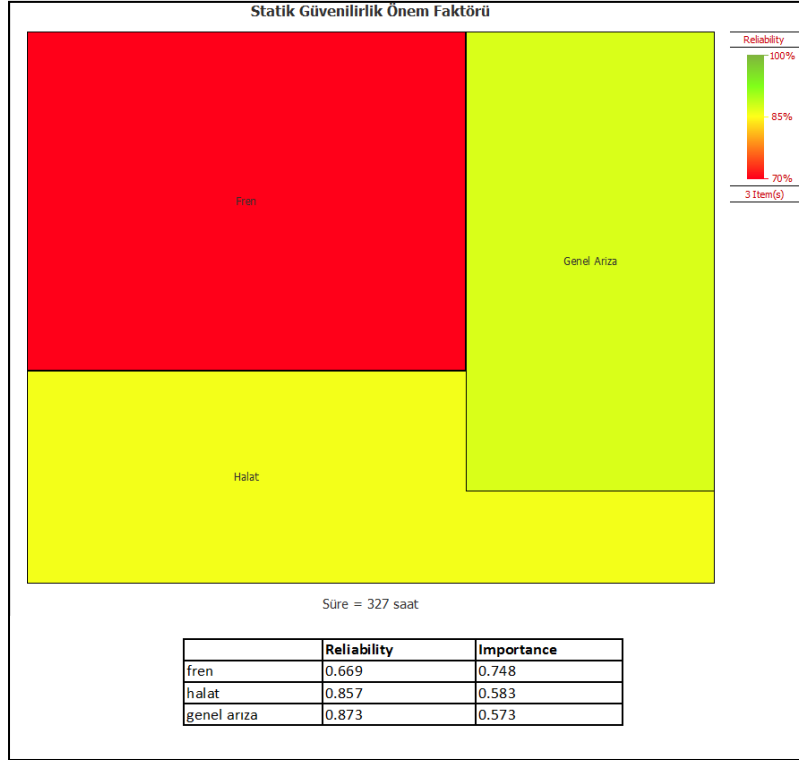
Marion için fren bileşenine öncelikli bakım-onarım yapılması diğer bileşenlere göre yüksek oranda önemlidir. Bu ünitenin 70% ve 90% güvenilirlik için yapılması gereken bakım-onarımdaki parça önceliklerini araştırmak için Ek D5-D8'deki şekiller incelenebilir.



Şekil 125. Marion kaldırış ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (195. saat) önem faktörleri

4.10.3 Çekme Kepçe Terazı Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Kepçe kepçeli yerkazarların kepçe kısımlarının çekiş ve kaldırış üniteleri arasındaki bağlantısını sağlayan, malzeme dolum ve boşaltım hareketlerine yardımcı olan terazi ünitesi bileşenlerinin arıza- bakım istatistikleri Çizelge 17'de verilmektedir. Bu çizelge incelendiğinde, Marion makara bileşeninin yüksek güvenilirlik seviyesinde (90%) bakım-onarım önceliği olduğu, ilerleyen zaman ve düşen güvenilirlik durumlarında halattaki arızalanma oranının bu bileşenin önüne geçtiği görülmektedir. İşletmelerdeki idari birimler tarafından belirlenen güvenilirlik seviyelerine göre bileşenlerdeki önleyici bakım-onarım önem sıraları değişebilir. Aynı şekilde Page terazi ünitesi için hesaplanan verilerde, yüksek güvenilirliğinin korunması istenilen durumlarda sokette oluşan arıza yoğunluğunun, bu bileşeni diğer bileşenlerden daha önemli konuma getirdiği görülmektedir, fakat düşük güvenilirlik ve fazla çalışma durumlarında halat, soket ve makara bileşenlerinin yakın arızalanma oranları dolayısıyla yakın öneme sahip oldukları görülmektedir.

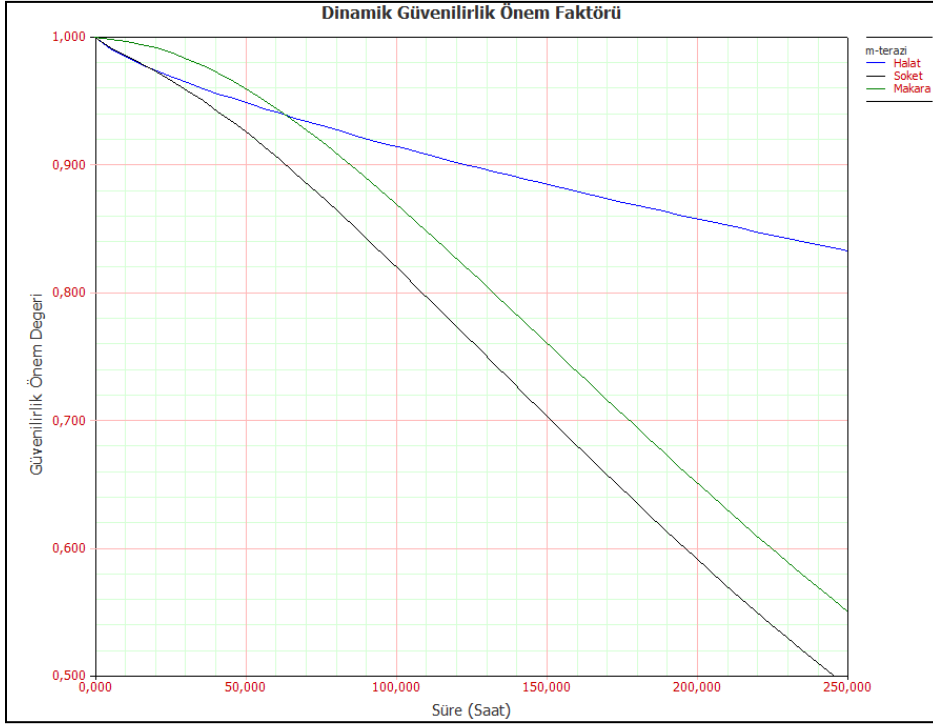


Şekil 126. Page kaldırış ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (327. saat) önem faktörleri

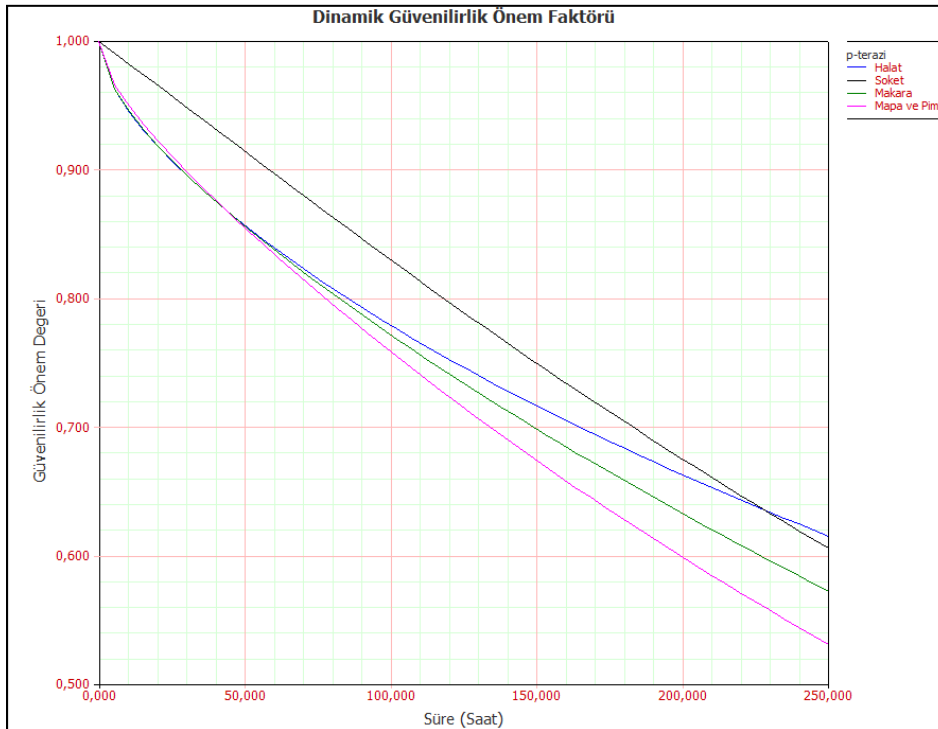
Tablo 69. Terazi ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| | | Arıza Kritik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilici Bakım Sayısı | | |
|--------|----------------|--------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. |
| MARION | Terazi Ünitesi | | | | | | | | | |
| | Halat | 40.35 | 64.69 | 74.11 | 0.999 | 0.998 | 0.997 | 0.046 | 0.218 | 0.458 |
| | Soket | 8.77 | 7.72 | 4.05 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.010 | 0.026 | 0.025 |
| | Makara | 50.88 | 27.60 | 21.84 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 0.058 | 0.093 | 0.135 |
| PAGE | Halat | 8.85 | 22.13 | 29.09 | 1.000 | 0.999 | 0.999 | 0.010 | 0.081 | 0.210 |
| | Soket | 61.06 | 43.99 | 32.13 | 0.995 | 0.998 | 0.998 | 0.069 | 0.161 | 0.232 |
| | Makara | 15.04 | 21.31 | 23.96 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.017 | 0.078 | 0.173 |
| | Mapa ve Pimi | 15.04 | 12.57 | 14.82 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.017 | 0.046 | 0.107 |

Güvenilirlik oranlarından belirlenen Tablo 69'daki karşılaştırmanın yanı sıra, çalışma saatine göre değişen önem sıralaması Şekil 127 ve 128'den incelenebilir. Marion için hem grafik hem de sayısal sonuçlarda görüldüğü gibi, karşılaştırmalı RI değerleri halat soketi için devamlı artış gösterirken, makara ve halat bileşenleri önceliklerini kaybetmektedir. Şekil 128'de ise Page çekiş ünitesinde soket bileşeninin uzun süreli bir öncelik sırasına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 127. Marion terazi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri



Şekil 128. Page terazi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

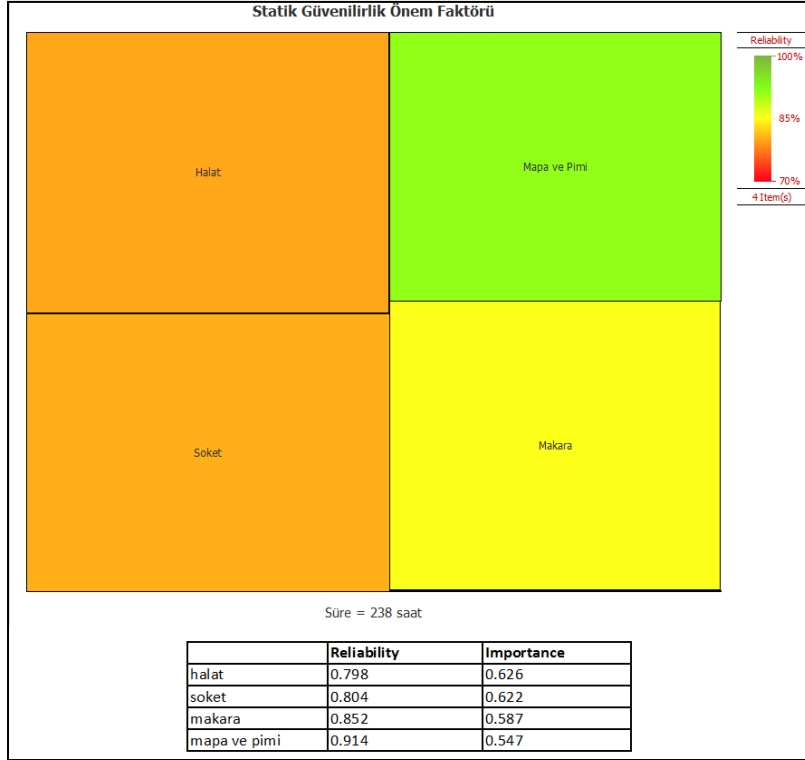
Şekil 129 ve 130'da terazi üniteleri için kritik güvenilirlik oranı olan 50%'deki (236. ve 238. saatler) güvenilirlik önem faktörleri verilmektedir. Şekil 129'da Marion terazi halatının bu kadarlık bir çalışma süresi sonunda bakım-onarım önceliği olduğu görülmektedir. Şekil 130'da ise Page terazi ünitesinde halat ve soket bileşenleri aynı güvenilirlik önem faktörlerine ve bakım-onarım önceliğine sahiptirler. 70% ve % 90 güvenilirlik değerlerine göre oluşturulmuş terazi ünitesi bakım önceliği değerleri Ek D9-D12'de verilmiştir.



Şekil 129. Marion terazi ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (236. saat) önem faktörleri

4.10.4 Çekme Kepçeli Yerkazarın Kepçe Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Kepçe ünitesi, arıza frekansı yüksek fakat genellikle kısa süreli bakım-onarım aktiviteleri ile çalışabilir duruma getirilen unsurları içermektedir. Bu unsurların birbirlerine göre arıza ve bakım oranları Çizelge 18'de verilmektedir. Güvenilirlik değerlerine, yani zamana göre önem faktörünü değişiminin yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin, Marion bağlantılar ve pin bileşenleri için güvenilirlik düştükçe bakım-onarım önemi artmaktadır, kepçe ana gövdesi zamanla önem değerinde düşüş gösterse de %50 güvenilirlikte bile öncelik sırasında 2. durumdadır. Page için ise ana gövdenin bakıma ihtiyaç duymadığını, pin ve diş bileşenlerinin yüksek güvenilirlikte bakım-onarım önceliğine sahip olduğu görülmektedir. Düşük güvenilirlik değerlerinde is bağlantıların ve pin bileşenlerinin bakım-onarım için öncelikli duruma geldikleri görülmektedir.



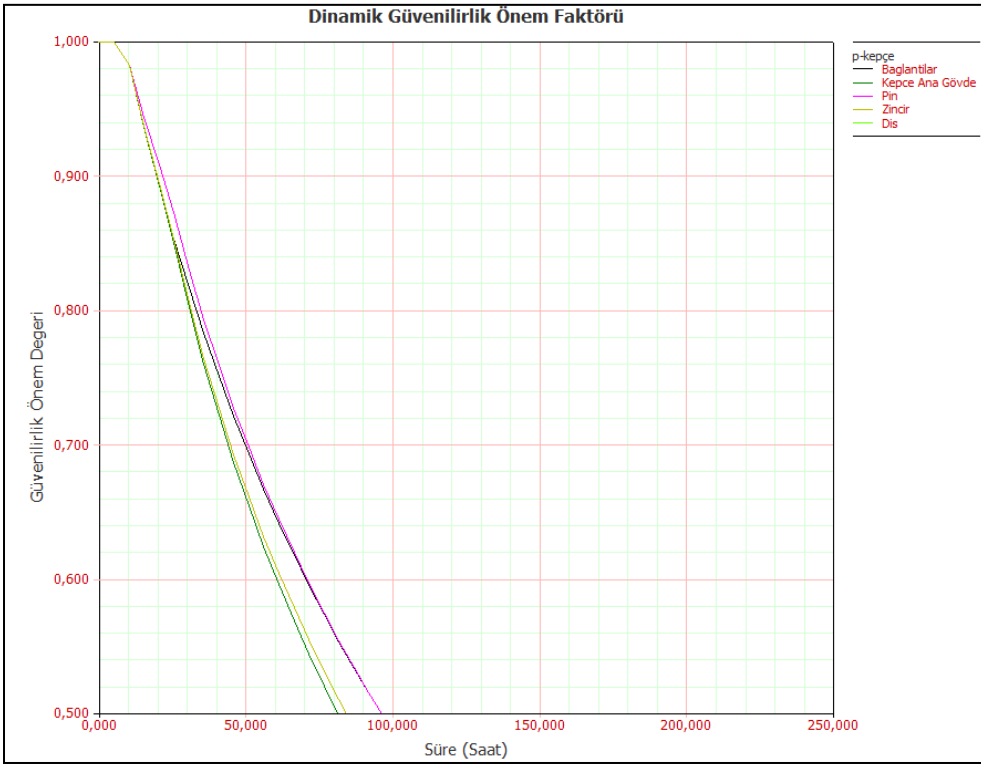
Şekil 130. Page terazi ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (238. saat) önem faktörleri

Tablo 70. Kepçe ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| | Kepçe Ünitesi | Arıza Kritik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilici Bakım Sayısı | | |
|---------------|---------------|--------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. |
| MARION | Bağlantılar | 0.00 | 22.93 | 23.27 | 1.000 | 0.999 | 0.998 | 0.000 | 0.061 | 0.121 |
| | Ana Gövde | 53.19 | 26.32 | 25.38 | 0.985 | 0.994 | 0.991 | 0.050 | 0.070 | 0.132 |
| | Pin | 24.47 | 27.44 | 36.92 | 0.998 | 0.998 | 0.997 | 0.023 | 0.073 | 0.192 |
| | Zincir | 20.21 | 20.68 | 13.65 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.019 | 0.055 | 0.071 |
| | Diş | 1.06 | 0.75 | 0.38 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.038 | 0.113 | 0.160 |
| PAGE | Bağlantılar | 0.00 | 32.16 | 34.44 | 1.000 | 0.998 | 0.998 | 0.000 | 0.055 | 0.114 |
| | Ana Gövde | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Pin | 17.65 | 26.90 | 28.40 | 0.999 | 0.999 | 0.998 | 0.012 | 0.046 | 0.094 |
| | Zincir | 0.00 | 1.75 | 9.67 | 1.000 | 1.000 | 0.999 | 0.000 | 0.003 | 0.032 |
| | Diş | 14.71 | 10.53 | 6.95 | 0.986 | 0.986 | 0.989 | 0.124 | 0.209 | 0.284 |



Şekil 131. Marion kepçe ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

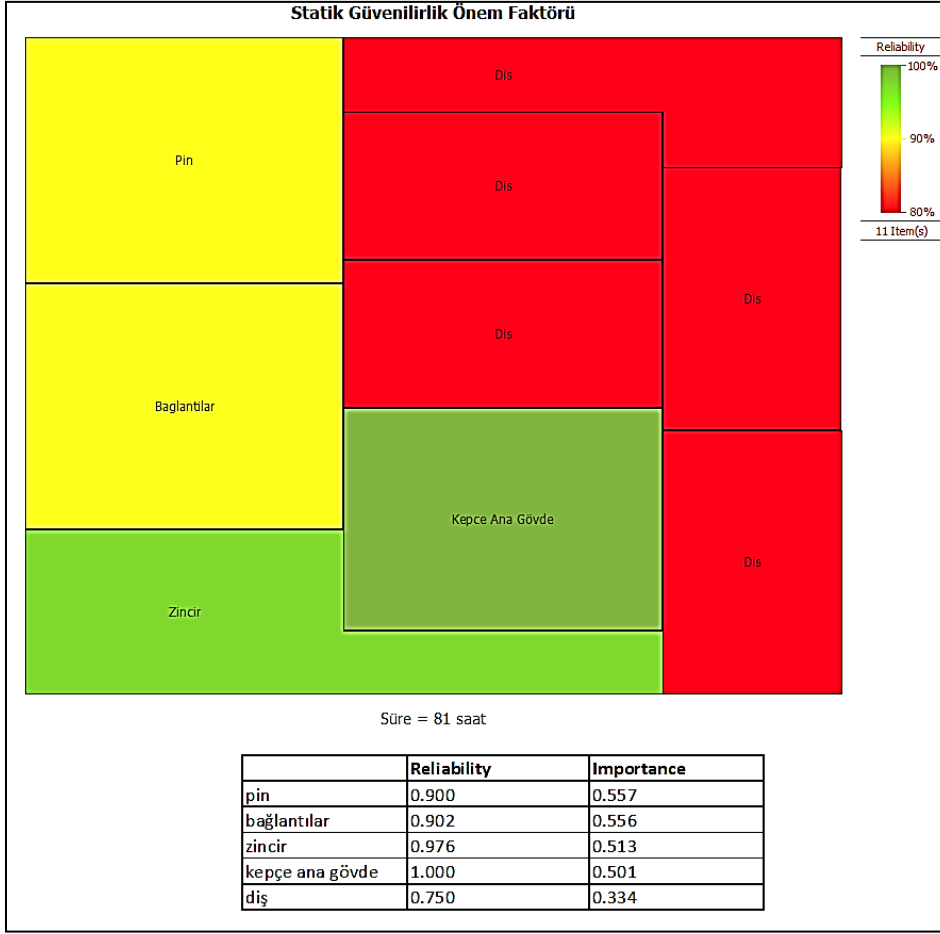


Şekil 132. Page kepçe ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

Marion kepçe ünitesi 100. saat, Page kepçe ünitesi ise 81. saatte 50% güvenilirliğin altına düşmektedir. Bu sınır saatlerde yapılması planlanan bir bakım-onarım çalışmasında, hangi bileşenlerin öncelikli olarak bakıma sokulması gerektiğine dair bilgiler Şekil 133 ve 134'de verilmektedir. Her iki çekme kepçeli yerkarar için pin bileşenleri bakım-onarım önceliğine sahiptirler. Şekillerdeki lejantlar 80%-100% güvenilirlik önemi renklendirmektedir. Şekillerde fark edileceği üzere, diş bileşeni düşük güvenilirlik değerine sahip olmasına rağmen yüksek bir önem faktörüne sahip değildir. Bunun sebebi kepçede bulunan 5 dişin 2'sinin bozulması durumunda diş bileşeninin arızalı olarak görüleceği varsayılmış, bu durum 1 dişte meydana gelebilecek arızanın diğer 4 diş tarafından telafi edileceği görülmüştür. Diğer güvenilirlik değerleri (70% ve 90%) için bakım-onarım politikalarına Ek D13-D16'dan bakılabilir.



Şekil 133. Marion kepçe ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (100. saat) önem faktörleri



Şekil 134. Page kepçe ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (81. saat) önem faktörleri

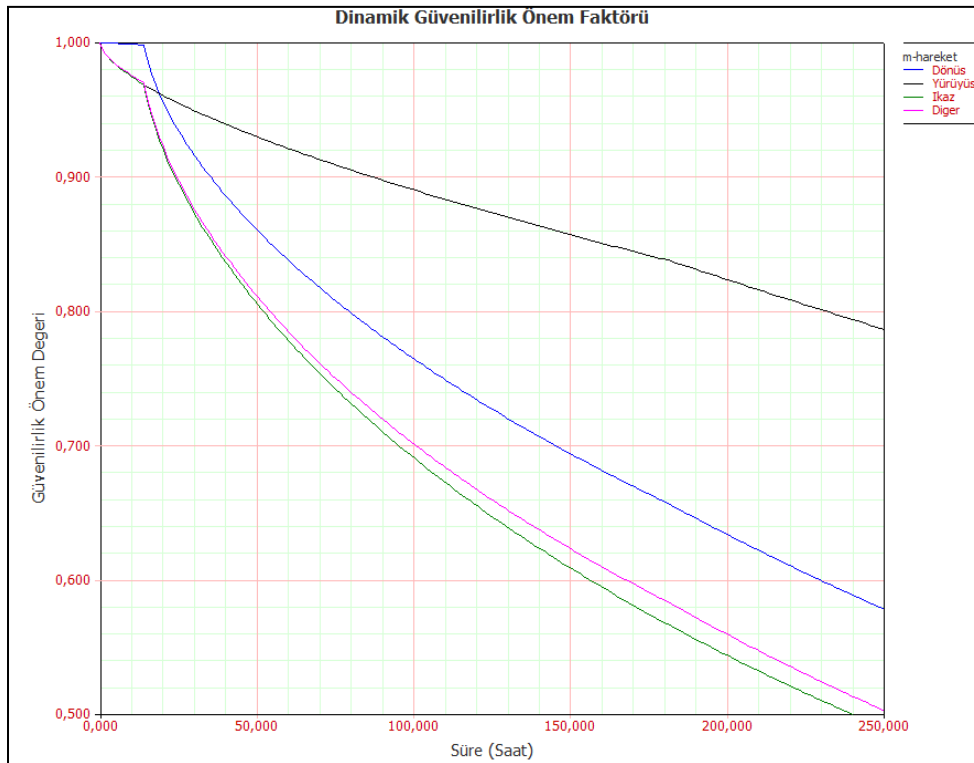
4.10.5 Çekme Kepçe Hareket Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Yerkazırların yürüyüş-dönüş işlemleri ve bu konumlanma aktivitelerinin güvenli şekilde gerçekleşmesini sağlayan unsurları içeren hareket ünitesine ait 50 %, %70, ve %90 güvenilirlik oranları için hesaplanmış arıza ve bakım verileri Çizelge 19'da verilmektedir. Çizelge incelendiği zaman, Marion için yürüyüş, Page için ise dönüş bileşenlerinde arıza kritiklik endeksi diğer bileşenlere göre süregelen olarak fazladır. Marion ünitesi içerisindeki arızaların 60 %'dan fazlasının yürüyüş ünitesinde olması muhtemeldir. Page dönüş bileşeni için bu oran 45%'den yüksektir. Aynı zamanda, Marion ikaz bileşenindeki düşük arızalanma oranının Page'de dikkate değer derecede yüksek olduğu, önleyici bakım-onarım çalışmalarında bu bileşene de önem verilmesi gerektiği görülmektedir.

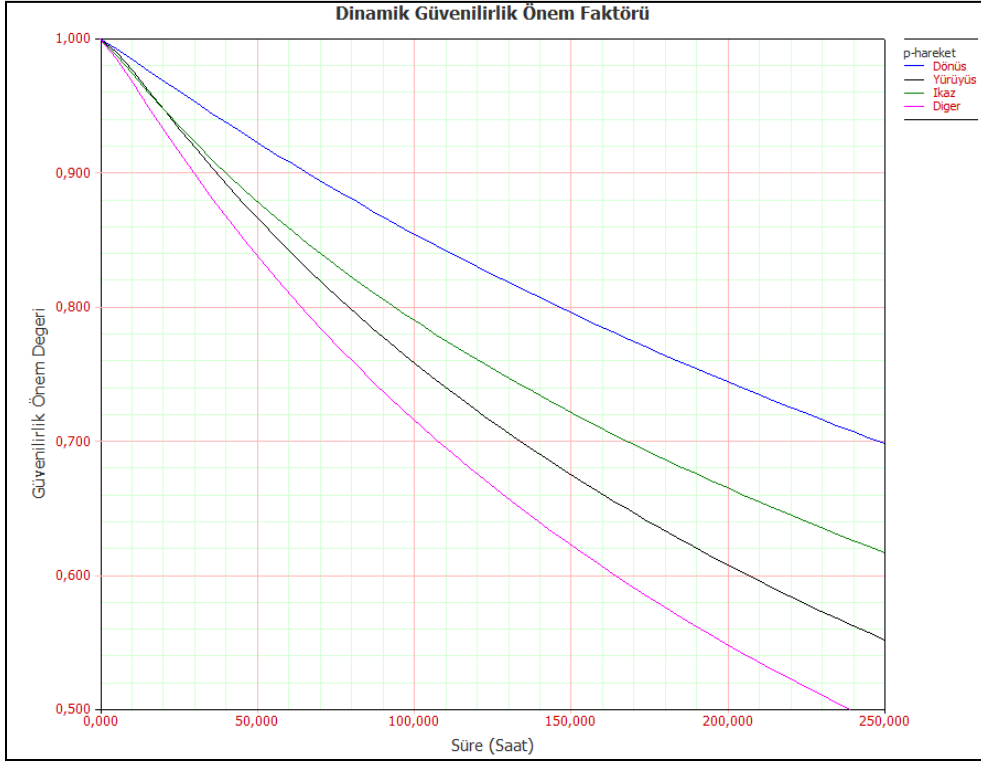
Tablo 71. Hareket ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| Hareket Ünitesi | Arıza Kritik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilici Bakım Sayısı | | | |
|-----------------|--------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|-------|
| | 90% GÜV. | 70% GÜV. | 50% GÜV. | 90% GÜV. | 70% GÜV. | 50% GÜV. | 90% GÜV. | 70% GÜV. | 50% GÜV. | |
| MARION | Dönüş | 36.04 | 30.15 | 25.18 | 0.994 | 0.991 | 0.992 | 0.040 | 0.101 | 0.179 |
| | Yürüyüş | 62.16 | 67.16 | 66.39 | 0.986 | 0.969 | 0.968 | 0.069 | 0.225 | 0.472 |
| | İkaz | 0.00 | 0.00 | 2.11 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.015 |
| | Diğer | 1.80 | 2.69 | 6.33 | 1.000 | 0.999 | 0.998 | 0.002 | 0.009 | 0.045 |
| PAGE | Dönüş | 44.76 | 52.21 | 51.69 | 0.996 | 0.996 | 0.996 | 0.047 | 0.177 | 0.352 |
| | Yürüyüş | 28.57 | 19.17 | 17.91 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 0.030 | 0.065 | 0.122 |
| | İkaz | 26.67 | 28.61 | 30.40 | 0.994 | 0.988 | 0.987 | 0.028 | 0.097 | 0.207 |
| | Diğer | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Gerçekleştirilen dinamik simülasyonda da, yürüyüş ve dönüş bileşenlerinin Marion ve Page hareket üniteleri içerisindeki süreğen önemi gözlenmektedir (Şekil 135-136). Şekil 135 incelendiği zaman Marion dönüş bileşeninin başlarda sergilediği güvenilirlik önemi, zamana bağlı güvenilirlik değerlerindeki farklarla birlikte 20. saatten sonra hızlı bir düşüş sergilemektedir.

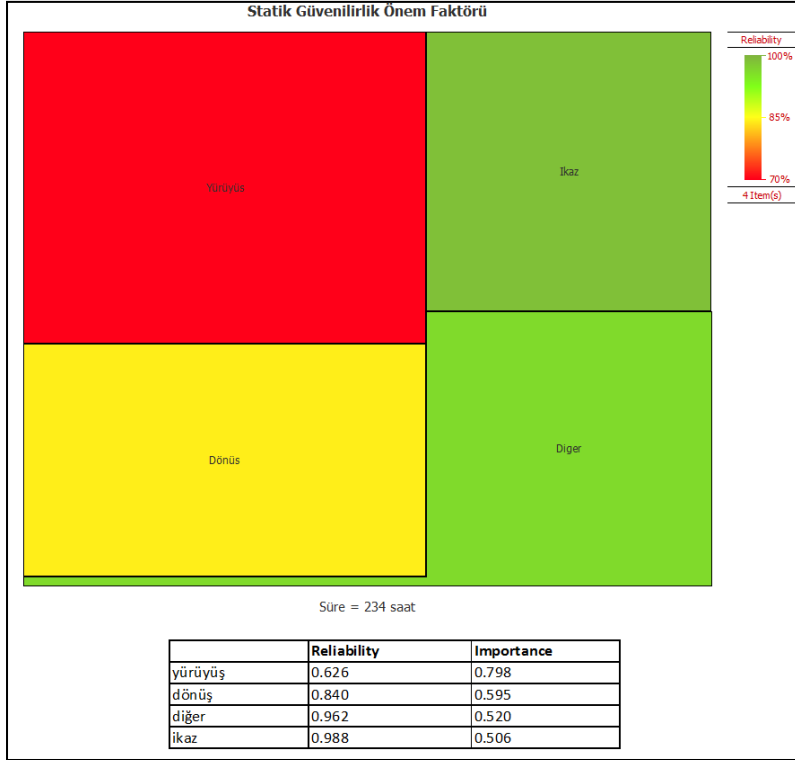


Şekil 135. Marion hareket ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

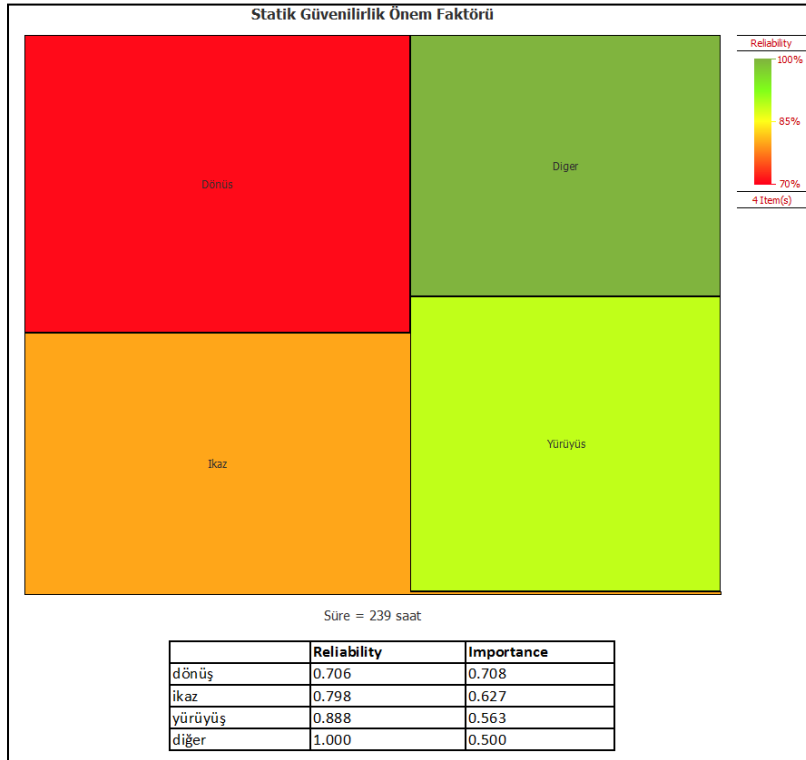


Şekil 136. Page hareket ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

50 % güvenilirlik değeri için gerçekleştirilen bileşen önem sıralaması Şekil 137 ve Şekil 138'de verilmektedir. Marion yerkazarının hareket ünitesinde 234. saatte gerçekleştirilecek bir bakım-onarım aktivitesinde grafiklerde de görüldüğü gibi yürüyüş bileşeni 0.798'lik önem faktörüyle öncelikli olarak işlem görmelidir. Page için ise dönüş bileşeni ve sonrasında ikaz bileşeni bu ünite içerisinde en fazla arıza verme ihtimali olan bileşeler olduğundan, bu kısımlar öncelikli olarak bakıma sokulmalıdır. 70% ve 90% güvenilir değerleri için hazırlanan hareket ünitesi bakım-onarım önceliği şekiller Ek D16-D20'den incelenebilir.



Şekil 137. Marion hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (234. saat) önem faktörleri



Şekil 138. Page hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (239. saat) önem faktörleri

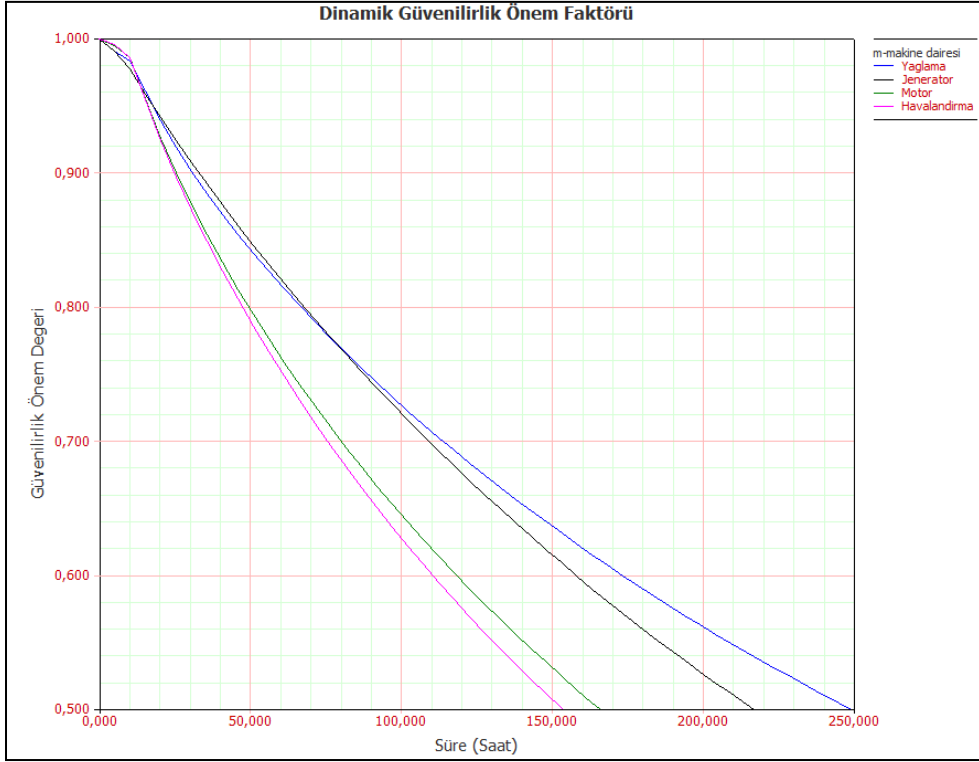
4.10.6 Çekme Kepçe Makine Dairesi Ünitesine Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Çekme kepçeli yerkazarlardaki makine dairesi üniteleri, sistemde en uzun süreli duraksamalara neden olan ünitelerdir. Bu ünite içerisindeki bileşenlere bakım-onarım işlemleri sırasında uygun öncelik sıralarının verilmesi hem ünite hem de sistem için kritik öneme sahiptir. Çizelge 20'deki hesaplamalar incelendiğinde belirlenen güvenilirlik değerleri için, Marion yağlama ve jeneratör bileşenlerinin tüm güvenilirlik değerlerinde yakın arıza endeksi sergiledikleri ve bakım-onarım çalışmaları sırasında öncelik sıralamasından üst konumda oldukları görülmektedir. Page makine dairesi için ise, Marion'un aksine motor bileşeninde arızalanma oranının yüksek olduğu, güvenilirlik önemini daimi olarak koruduğu gözlenmektedir.

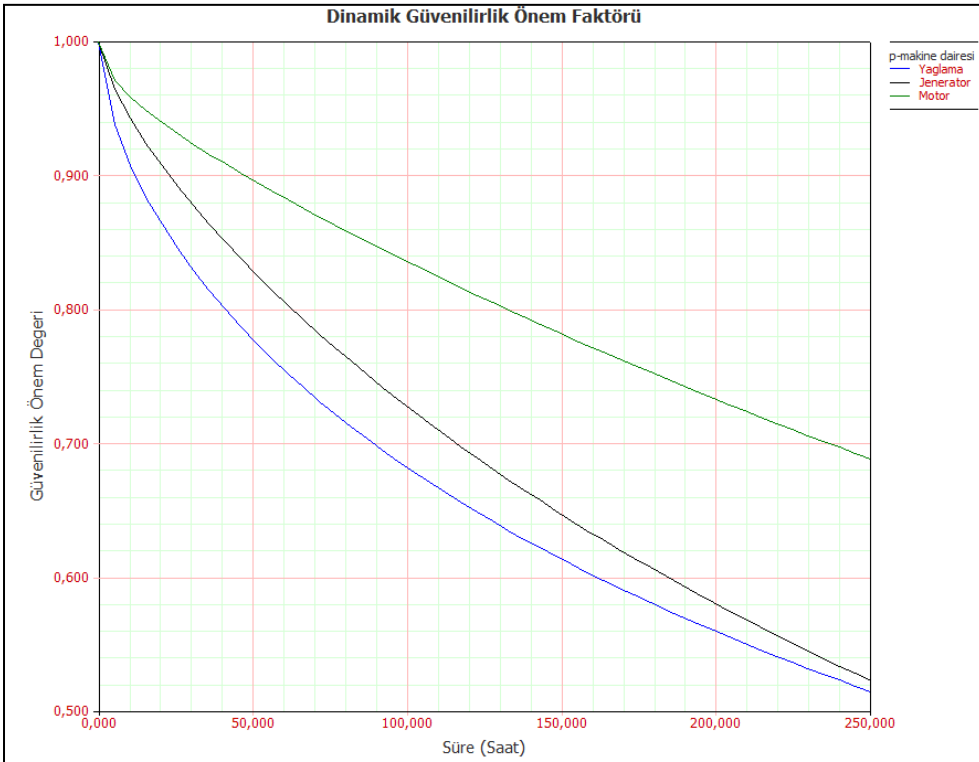
Tablo 72. Makine dairesi ünitesi bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| | Makine Dairesi | Arıza Kritik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilen Bakım Sayısı | | |
|--------|----------------|--------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|
| | | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. |
| MARION | Yağlama | 30.19 | 36.18 | 35.88 | 0.997 | 0.996 | 0.996 | 0.032 | 0.123 | 0.235 |
| | Jeneratör | 40.57 | 40.88 | 40.46 | 0.990 | 0.969 | 0.956 | 0.043 | 0.139 | 0.265 |
| | Motor | 11.32 | 11.76 | 13.13 | 0.994 | 0.988 | 0.985 | 0.012 | 0.040 | 0.086 |
| | Havalandırma | 17.92 | 11.18 | 10.53 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.019 | 0.038 | 0.069 |
| PAGE | Yağlama | 2.00 | 9.48 | 16.21 | 1.000 | 1.000 | 0.999 | 0.002 | 0.031 | 0.101 |
| | Jeneratör | 42.00 | 33.33 | 27.45 | 0.970 | 0.943 | 0.933 | 0.042 | 0.109 | 0.171 |
| | Motor | 56.00 | 57.19 | 56.34 | 0.974 | 0.938 | 0.939 | 0.056 | 0.187 | 0.351 |

Zaman bağlı güvenilirlik önem faktörleri incelendiğinde, Tablo 72'yle tutarlı olarak, ünite içerisindeki bileşenlerin yakın oranlarda düşüş sergilediği ve karşılaştırmalı bir değer olan güvenilirlik önem faktörünün (RI) belirli bileşenler için aynı oranda yüksek olduğu görülebilir (Şekil 139-140).

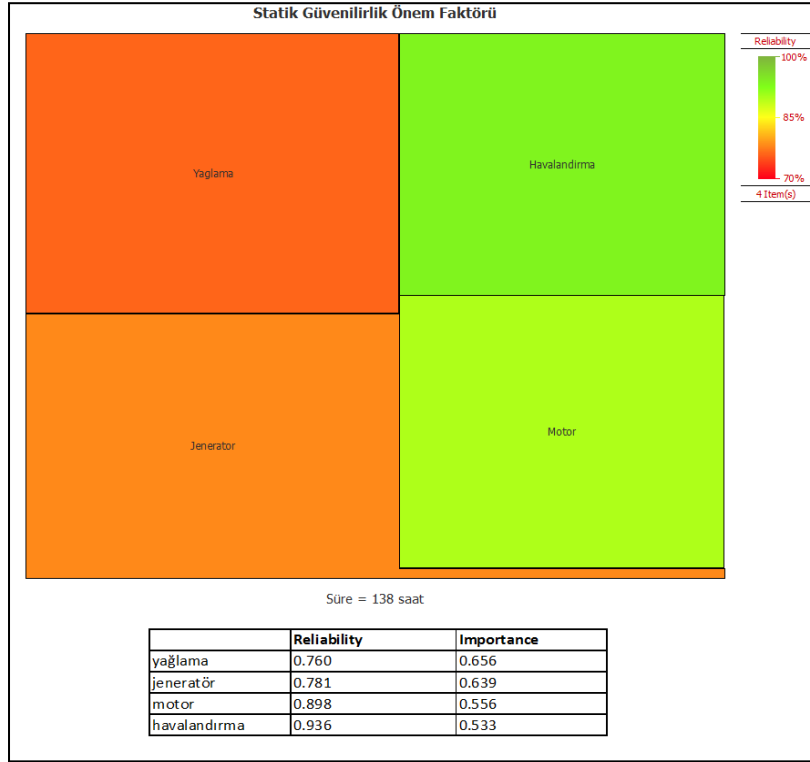


Şekil 139. Marion makine dairesi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri



Şekil 140. Page makine dairesi ünitesi bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

Marion ve Page çekme kepçeli yerkazalarının makine daireleri için 50% güvenilirlik sınır değeri sırasıyla 138 saat ve 191 saattir. Bu çalışma saatlerinden sonra yapılacak bir önleyici bakım-onarım işleminde, Marion için yağlama ve jeneratör, Page için motor bakım önceliğine sahiptir. Şekil 141-142'deki tematik gösterimler 70%-100% güvenilirlik değerlerini kapsamaktadır. Düşük güvenilirlik yani yüksek önem faktörlü bileşenler kırmızıya dönük renktedir. Diğer güvenilirlik değerleri için hazırlanan makine dairesi önleyici bakım öncelik sıraları Ek D21-D24'de yer almaktadır.

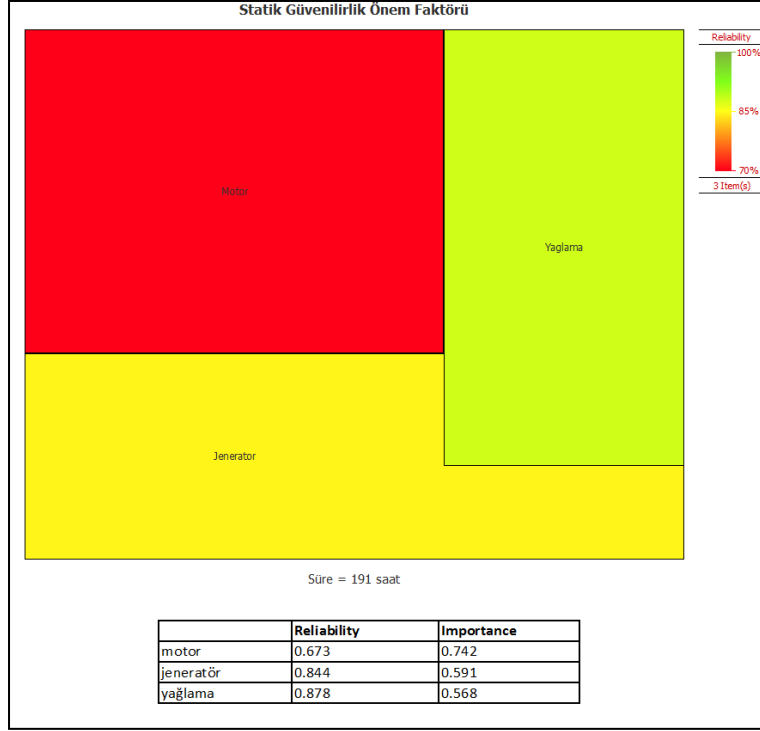


Şekil 141. Page hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (138. saat) önem faktörleri

4.10.7 Çekme Kepçe Sistem Geneline Yönelik Önleyici Bakım Politikası

Çekme kepçeli yerkazalarının ünitelerine periyodik bakım yapılmadığı zamanlarda, sistem güvenilirliği bir bütün olarak ele alınabilir. Bu durumda, sistemi oluşturan tüm ünite bileşenleri birleştirilerek birbirlerine ve sisteme olan etkileri incelenir. Bu tarz bir incelemenin kantitatif sonuçlarla yapılabilmesi için, sistemin genelinin güvenilirlik, arızalanma ve bakım verileri bir arada kullanılmış, bileşenlerin duraksamalara olan katkıları araştırılmıştır. Genel bakım-onarım işlemi sistemin kısa periyotlarla durmasına sebep olabileceği için, bu tarz bir aktivite düzeltici bakımın yapıldığı zorunlu duraksama süreçlerine yaydırılabilir. Genel sistem bakımına ait politikaların belirlenmesi ve uygulanması zordur ama sistemin genelindeki zamana karşı yıpranma paylarını görmek, hangi parçanın öncelikli bakım-onarıma sahip olduğunu irdeleyebilmek için önem taşımaktadır. Tablo 73, her iki çekme kepçeli yerkazar

için, sistem genelinin güvenilirliğinin 50%, 70% ve 90%'nın altına düşmemesinde uygulanacak bakım-onarım işlemlerini ve bileşen öncelik sırasını göstermektedir. Bu seviyelerin korunabilmesi için Marion yerkazarına sırasıyla 23.5, 13.7 ve 2.4 saat aralıklarla bakım yapılması gerekmektedir (Tablo 74). Page için bu değerler sırasıyla 24.2, 13.1, ve 2.4, saattir (Tablo 73).

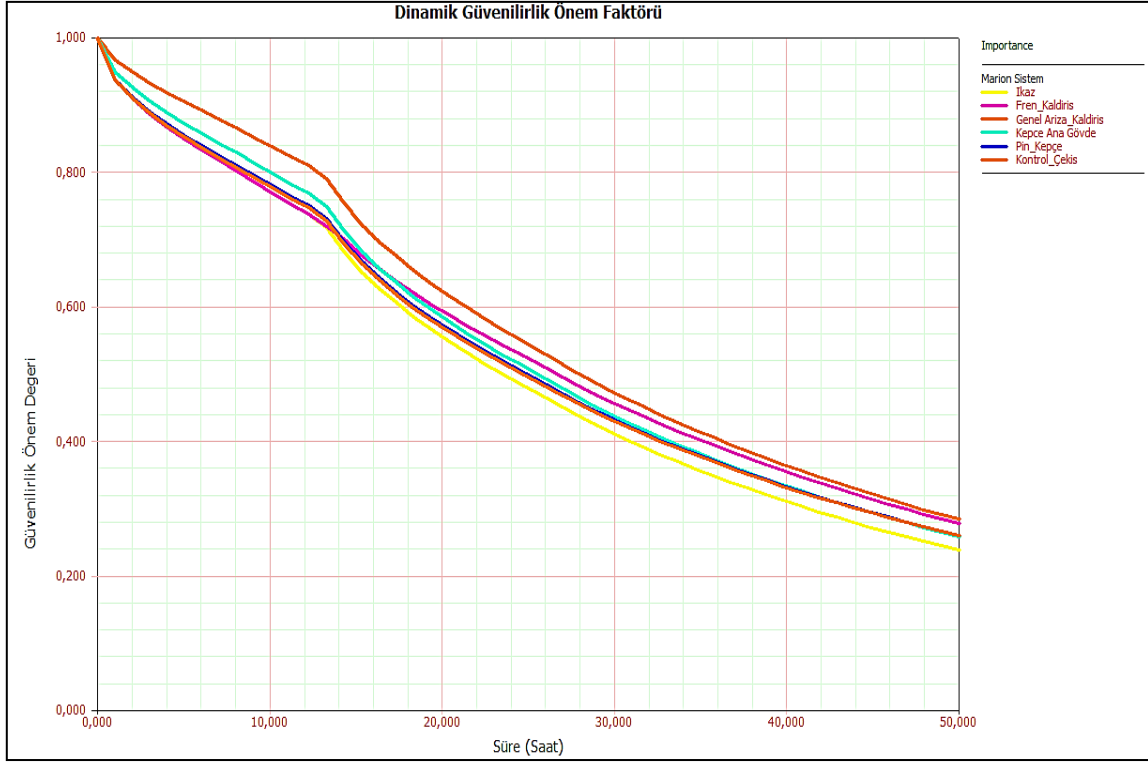


Şekil 142. Page hareket ünitesinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (191. saat) önem faktörleri

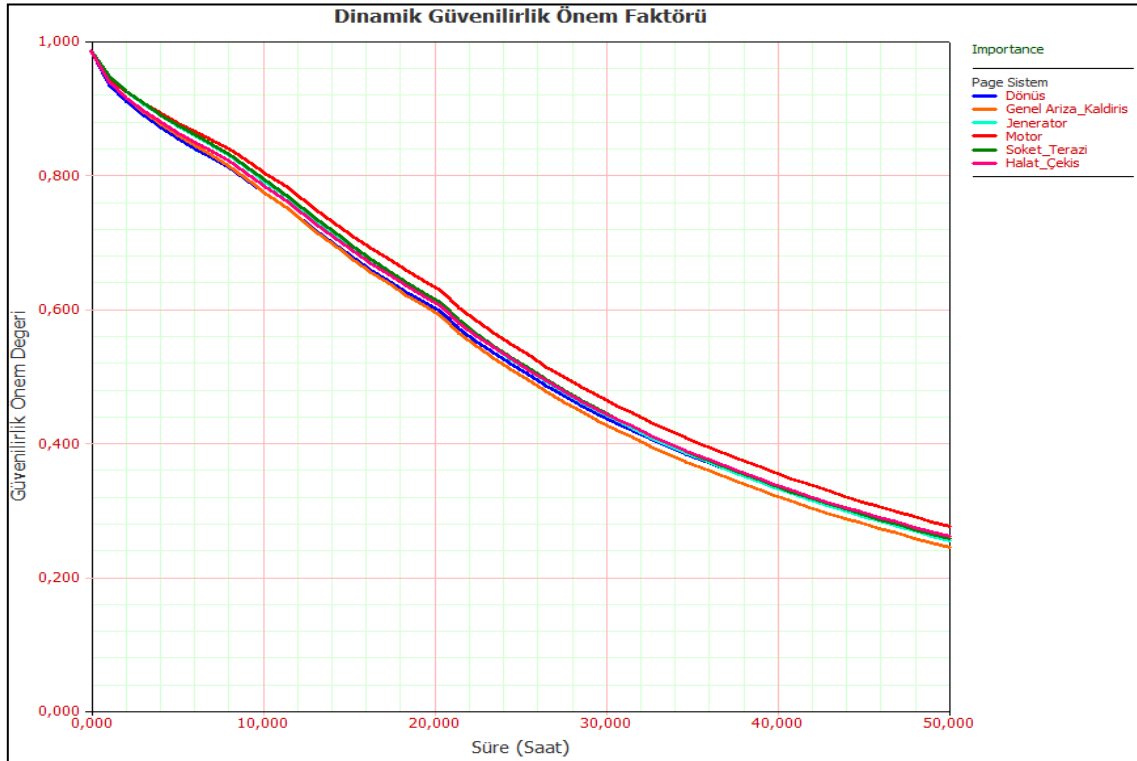
Tablo 73 incelendiği zaman Marion için genel arıza bileşeni, Page için ise motor bileşeni, belirlenen periyotlarda en fazla arıza yapması muhtemel bileşenler olarak görülmektedir. Örneğin her iki çekme kepçeli yerkazarın güvenilirliğinin 50%'nin altına yani kritik seviyeye düştüğü 24. çalışma saatinde, Marion kaldırış ünitesindeki genel arıza bileşeni olması muhtemel arızaların 22%'sini, Page motor bileşeniyle 18%'sini kapsamaktadır. Yüksek güvenilirlik seviyesinde, Marion için genel arıza bileşeni önceliğini korumuştur. Bunlara ek olarak, kaldırış frenine, kepçe ana gövdesine ve çekiş kontrol bileşeni öncelikli olmak şartıyla bakım yapılması gerekmektedir. Page'de düşük güvenilirlikte en sorunlu bileşen olan motor, yüksek güvenilirlik değerlerinde yerini terazi soketine bırakmaktadır. Bu yerkazar için motor, terazi soketi, jeneratör ve çekiş halatı en arızalanması muhtemel bileşenlerdir. Her iki çekme kepçeli yerkazarın sistem geneli için kritik olan ilk 6 bileşene ait zaman bağlı önem faktörü değişimi Şekil 143 ve 144'de verilmektedir. Marion ve Page yerkazarlarının sistem bakımları için önem sıralamasında üst sırada yer alan bileşenlerin önemlerini süregelen olarak devam ettirdikleri görülmektedir.

Tablo 73. Genel sistem bileşenlerinin güvenilirliğe bağlı arıza ve bakım istatistikleri

| | Kaldırış Ünitesi | Arıza Kritik Endeksi (%) | | | Ortalama Kullanılabilirlik | | | Düzeltilici Bakım Sayısı | | |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|
| | | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. | 90% Güv. | 70% Güv. | 50% Güv. |
| MARION | Genel Arıza_ Kaldırış | 21.42 | 27.17 | 32.69 | 0.965 | 0.970 | 0.978 | 0.133 | 0.094 | 0.034 |
| | Fren_ Kaldırış | 10.63 | 5.78 | 0.00 | 0.994 | 0.999 | 1.000 | 0.066 | 0.020 | 0.000 |
| | Kepçe Ana Gövde | 8.86 | 13.01 | 25.00 | 0.988 | 0.992 | 0.983 | 0.055 | 0.045 | 0.026 |
| | Kontrol_ Çekiş | 6.12 | 2.89 | 0.00 | 0.996 | 0.998 | 1.000 | 0.038 | 0.010 | 0.000 |
| | Pin_ Kepçe | 5.96 | 8.38 | 4.81 | 0.998 | 0.997 | 0.999 | 0.037 | 0.029 | 0.005 |
| | Dönüş | 5.80 | 9.83 | 7.69 | 0.994 | 0.992 | 0.997 | 0.036 | 0.034 | 0.008 |
| | Makara_ Terazi | 5.80 | 4.05 | 6.73 | 0.997 | 0.998 | 0.998 | 0.036 | 0.014 | 0.007 |
| | Yürüyüş | 5.64 | 0.00 | 0.00 | 0.995 | 1.000 | 1.000 | 0.035 | 0.000 | 0.000 |
| | Jeneratör | 5.64 | 2.60 | 0.00 | 0.992 | 0.999 | 1.000 | 0.035 | 0.009 | 0.000 |
| | Yağlama | 5.15 | 4.34 | 0.00 | 0.997 | 0.998 | 1.000 | 0.032 | 0.015 | 0.000 |
| | Zincir_ Kepçe | 4.35 | 4.62 | 8.65 | 0.998 | 0.998 | 0.995 | 0.027 | 0.016 | 0.009 |
| | Zincir ve Pin_ Çekiş | 4.19 | 9.25 | 11.54 | 0.997 | 0.995 | 0.995 | 0.026 | 0.032 | 0.012 |
| | Havalandırma | 3.38 | 2.31 | 0.96 | 0.996 | 0.998 | 0.999 | 0.021 | 0.008 | 0.001 |
| | Motor | 3.22 | 3.47 | 0.96 | 0.990 | 0.996 | 0.999 | 0.020 | 0.012 | 0.001 |
| | Halat_ Terazi | 2.25 | 0.58 | 0.00 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 0.014 | 0.002 | 0.000 |
| | Halat_ Çekiş | 0.64 | 0.87 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.004 | 0.003 | 0.000 |
| | Diğer | 0.32 | 0.29 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 |
| | Diş | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.998 | 0.998 | 0.997 | 0.052 | 0.034 | 0.009 |
| | Soket_ Terazi | 0.16 | 0.29 | 0.96 | 1.000 | 1.000 | 0.999 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| | İkaz | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Halat_ Kaldırış | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| Bağlantılar_ Kepçe | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| PAGE | Motor | 17.96 | 16.09 | 10.71 | 0.964 | 0.973 | 0.994 | 0.102 | 0.051 | 0.009 |
| | Soket_ Terazi | 12.85 | 13.88 | 21.43 | 0.995 | 0.994 | 0.992 | 0.073 | 0.044 | 0.018 |
| | Jeneratör | 9.86 | 13.25 | 13.10 | 0.964 | 0.976 | 0.994 | 0.056 | 0.042 | 0.011 |
| | Halat_ Çekiş | 8.10 | 12.62 | 9.52 | 0.994 | 0.993 | 0.996 | 0.046 | 0.040 | 0.008 |
| | Dönüş | 6.87 | 4.42 | 1.19 | 0.995 | 0.998 | 1.000 | 0.039 | 0.014 | 0.001 |
| | Genel Arıza_ Kaldırış | 4.75 | 6.94 | 8.33 | 0.995 | 0.994 | 0.996 | 0.027 | 0.022 | 0.007 |
| | Fren_ Kaldırış | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 0.025 | 0.000 | 0.000 |
| | Halat_ Kaldırış | 3.87 | 5.68 | 22.62 | 0.995 | 0.993 | 0.984 | 0.022 | 0.019 | 0.019 |
| | Pin_ Kepçe | 3.52 | 0.32 | 0.00 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 0.020 | 0.001 | 0.000 |
| | Zincir ve Pin_ Çekiş | 3.52 | 1.58 | 0.00 | 0.998 | 1.000 | 1.000 | 0.020 | 0.005 | 0.000 |
| | İkaz | 3.17 | 4.10 | 1.19 | 0.997 | 0.997 | 0.999 | 0.018 | 0.013 | 0.001 |
| | Mapa ve Pini_ Terazi | 2.64 | 1.89 | 2.38 | 0.999 | 1.000 | 0.999 | 0.015 | 0.006 | 0.002 |
| | Diş | 2.46 | 1.26 | 0.00 | 0.987 | 0.991 | 1.000 | 0.110 | 0.059 | 0.000 |
| | Makara_ Terazi | 2.46 | 2.52 | 1.19 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | 0.014 | 0.008 | 0.001 |
| | Yürüyüş | 2.29 | 2.52 | 8.33 | 0.999 | 0.999 | 0.996 | 0.013 | 0.008 | 0.007 |
| | Yağlama | 1.41 | 0.32 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.008 | 0.001 | 0.000 |
| | Halat_ Terazi | 1.41 | 2.52 | 0.00 | 1.000 | 0.999 | 1.000 | 0.008 | 0.008 | 0.000 |
| | Zincir_ Kepçe | 0.35 | 0.32 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 |
| | Diğer_ Hareket | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | Bağlantılar_ Kepçe | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Kepçe Ana Gövde | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| Kontrol_ Çekiş | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |

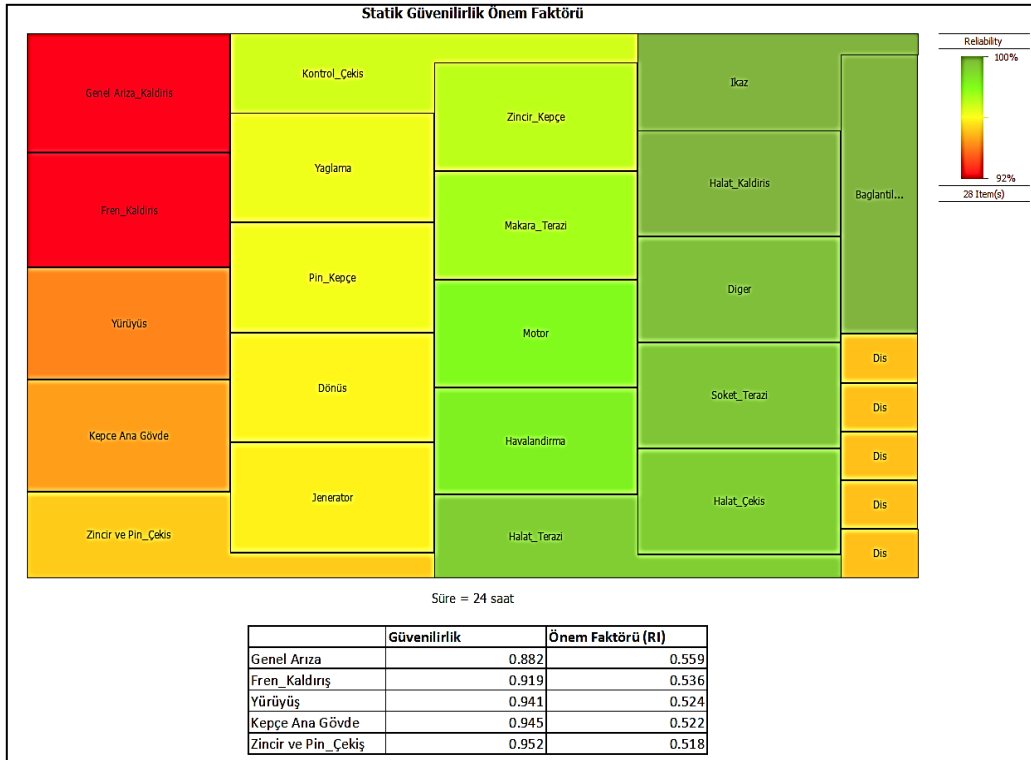


Şekil 143. Marion sistem geneli bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

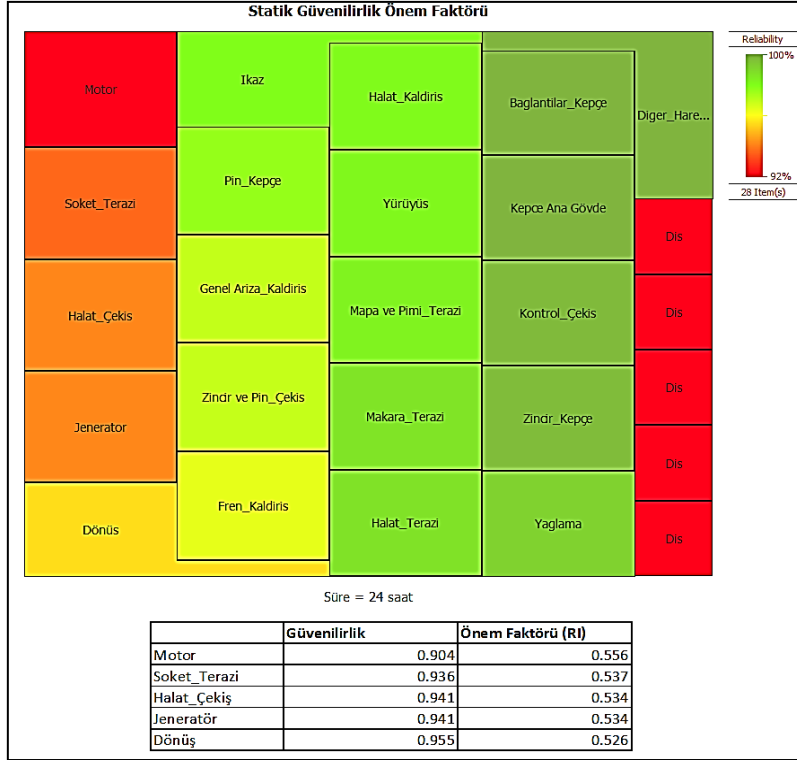


Şekil 144. Page sistem geneli bileşenlerinin zamana bağlı RI değerleri

Page ve Marion çekme kepçeli yerkazalarının 50% güvenilirlikte çalışabilmeleri için sınır değer her iki yerkazar için de yaklaşık 24 saattir. Bu zaman dilimi sonunda yapılacak genel bir müdahalede hangi bileşenlerin öncelikli olarak bakım altına alınması gerektiği Şekil 145 ve 146'de verilmektedir. Diş bileşeni, kepçe ünitesine ait kısımda anlatıldığı gibi, 2/5 dişin bozulma olasılığına göre değerlendirilmektedir. Bu sebepten, onarım önem sıralamasında alt sıralardadır (Tablo 73). Diğer güvenilirlik değerlerine göre bakım-onarım öncelik sıraları Ek D25-D28'den incelenebilir.



Şekil 145. Marion sistem genelinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (24. saat) önem faktörleri



Şekil 146. Page sistem genelinin 50% güvenilirlik seviyesindeki (24. saat) önem faktörleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Projenin yirmidört aylık süresi boyunca proje önerisinde öngörülen işler başarıyla tamamlanmıştır. Bu kapsamda yapılan işler: (i) arazinin seçimi, (ii) çalışılacak yer kazalarının seçimi, (iii) bunlara ait arıza verisinin toplanması, (iv) elde edilen verilerin analiz yapılacak şekilde ön işleme aşamasından geçirilmesi, (v) yer kazalarının alt ünitelere ve bu alt ünitelerin de kendi içinde alt birimlere ayrılması, (vi) sistemi oluşturan alt ünitelere ait verilerden yola çıkılarak olasılık dağılımlarının ve bu dağılımlara ait parametrelerin hesaplanması ve (vii) sistemin bütünü için güvenilirlik eğrilerinin oluşturulmasıdır. Elde edilen güvenilirlik, güvenilmezlik, arıza oranı modelleri her iki yer kazarı için de sistemin bütünü için hesaplanmış olup, alt ünitelerin güvenilirlik eğrileri elde edilmiştir.

Proje çalışmalarının sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır:

- Page 736 en büyük duraksamayı 2007, Marion 7820 ise 2002'de yaşamıştır.
- Her iki çekme kepçeli yer kazarı karşılaştırıldığında Marion 7820'ye göre Page 736'nin güvenilirliği daha yüksektir ve zamana karşı daha yavaş bir ivme ile düşmektedir.
- Marion 7820 için en uygun bulunan dağılım 2 parametrelili Weibull dağılımı iken, Page 736 modeli için bulunan en uygun dağılım Lognormal olarak bulunmuştur.
- 100 saatlik bir dönemde Marion 7820 ve Page 736 çekme-kepçeli yer kazalarının güvenilirlikleri sırasıyla yaklaşık %4 ve %9 olarak tahmin edilmiştir.
- Güvenilirlik değerlerinin %50, %70 ve %90'ın altına düşmemesi için Marion 7820 ve Page 736 için sırasıyla 23.5, 13.7, ve 2.4; ve 24.2, 13.1, ve 2.4 saat aralıklarıyla bakım-onarım yapılması gerektiği bulunmuştur.
- En fazla sayıda arızaya neden olan birimin Page 736 için çekiş (%30), Marion 7820 için yürüyüş (%27) ünitesi olduğu, en uzun süre makineyi servis dışı bırakan ünitelerin de Page 736 için kaldırış (%42), Marion 7820 için de yine yürüyüş (%39) ünitesi olduğu ortaya çıkmıştır.
- Arıza sürelerinin arıza sayılarına oranına bakıldığında Page 736 için en kaldırış (41 saat), Marion 7820 için de bum ünitesi (195 saat) olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da makinalardaki en kritik bölgelerin kaldırış ve bum üniteleri olduğunu göstermektedir.
- Her iki yer kazarı için de güvenilirlik oranları zamana bağlı olarak hızla düşmekte, aynı şekilde güvenilmezlik oranları da hızla yükselmektedir. 80. saatten sonra da güvenilirlik oranı %20'nin altına inmektedir.

Arızalanma olasılığının eşik değere ulaştığı 50% güvenilirlik oranında, çekme kepçeli yerkazarlara ait alt ünitelerde bazı bileşenlerin bakım ve onarımı diğer parçalara göre daha çok önem arz etmektedir. Bu durum, bileşenlerin çalışabilirlik yaşlarının ve zamana bağlı arıza yoğunluklarının birbirlerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bakıma öncelikli alınması gereken kritik bileşenin belirlenmesinde, sistem güvenilirliği ve bileşen güvenilirliği arasındaki oranı veren ($R_{sistem(t)}/R_{bileşen(t)}$) ve karşılaştırmalı bir değer olan güvenilirlik önem faktörü kullanılmıştır. Buna göre, her ünitenin %50 güvenilirlik seviyesindeki en kritik parçaları şu şekilde belirlenmiştir:

1. Çekiş ünitelerinde, Marion 7820 için kontrol bileşeni, Page 736 için ise zincir ve pin bileşeni güvenilirlik önem faktörü en yüksek ve güvenilirliği en düşük bileşenlerdir. Bu bileşenlere bakım sırasında öncelik vermek gerekmektedir.
2. Kaldırış ünitesi için her iki çekme kepçeli yerkazardaki en kritik bileşen frendir.
3. Terazî ünitesinde halat bileşeni, her iki çekme kepçeli yerkazar için en öncelikli bakımı yapılması gereken bileşen olarak görülmektedir.
4. Kepçe ünitesinin en yüksek güvenilirlik önemine sahip bileşeni hem Marion 7820 hem de Page 736 için pin bileşenidir.
5. Hareket ünitelerinde Marion 7820 için yürüyüş, Page 736 için ise dönüş bileşenleri bakım-onarım önceliği en yüksek bileşenlerdir.
6. Makine dairesi alt sisteminde, Marion 7820 için yağlama, Page 736 için motor bileşenleri en yüksek arıza oranına ve en yüksek güvenilirlik önem faktörüne sahiptirler.
7. Sistemin geneli incelendiğinde, güvenilirlik değerinin 50 %'nin altına indiği 24. saatte, genel arıza ve motor bileşenleri, sırasıyla Marion 7820 ve Page 736 için en önem arz eden ve bakım öncelikli bileşenlerdir.

Analizler sonucunda yerkazarların alt ünitelerinin ortalama yaşam süreleri hesaplanmıştır ve en çok ve en az güvenilir üniteler her iki yerkazar için de belirlenmiştir. Ünitelerin ortalama yaşam süreleri ve %90 güven aralığındaki alt ve üst sınırları Tablo 74'de gösterilmiştir. Bu hesaplamalara göre Page 736 marka yerkazarın en güvenilir ünitesi ortalama 747 saat yaşam süresiyle kaldırış ünitesi, Marion 7820 için ise 634 saat yaşam süresiyle yine kaldırış ünitesidir. En arızaya meyilli üniteler Page 736 için 275 saatlik çalışma süresiyle çekiş ünitesi, Marion 7820 için ise 285 saatle terazî ünitesidir. Bu süreler makinaların kullanım yaşına, kullanıldıkları arazi yapısına, zemin gevşetme patlatmalarının yeterliliğine, bakım onarım verimliliğine ve operatörün yetkinliğine göre değişebilir.

Tablo 74. Ünitelerin Ortalama Yaşam Süreleri (Saat)

| | | PAGE MARION | | | | PAGE MARION | |
|-----------------|----------------|-------------|------------|-----------------------|----------------|-------------|-----|
| Çekiş | Üst Sınır | 310 | 398 | Kepçe | Üst Sınır | 519 | 340 |
| | Ortalama Yaşam | 275 | 339 | | Ortalama Yaşam | 436 | 289 |
| | Alt Sınır | 244 | 288 | | Alt Sınır | 366 | 246 |
| Kaldırış | Üst Sınır | 900 | 943 | Hareket | Üst Sınır | 768 | 581 |
| | Ortalama Yaşam | 747 | 634 | | Ortalama Yaşam | 622 | 468 |
| | Alt Sınır | 621 | 426 | | Alt Sınır | 504 | 376 |
| Terazi | Üst Sınır | 483 | 323 | Makine Dairesi | Üst Sınır | 665 | 350 |
| | Ortalama Yaşam | 429 | 285 | | Ortalama Yaşam | 528 | 299 |
| | Alt Sınır | 381 | 252 | | Alt Sınır | 419 | 255 |

Bu çalışmanın devamı niteliğinde olacak bundan sonraki araştırma konuları için öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Optimum bakım onarım planlaması ve güvenilirlik modellerinin güncellenmesi için çekme kepçeli yer kazarların gerçek zamanlı izleme sistemleri ile donatılması ve farklı operatörlerin kullanımları sırasında gerçekleştirilen döngü sayısı, kepçe yükü, üretim ve makinadaki gerilme dağılımları gibi her türlü operasyonel verinin kontrol ofisindeki bilgisayara aktarılması gerekmektedir. Elde edilen bu verilerin geliştirilen güvenilirlik modeli ile bütünleşmesi sağlanarak, bakım-onarım optimizasyonunun güncellenmesi sağlanabilir.
- Geliştirilen modeller sonucunda tahmin edilen optimum-bakım onarım politikası işletmede uygulanarak makinelerin güvenilirliklerinin artırılması yolunda çalışmalar yapılarak üretim artırılmalıdır.
- Stokastik modellere dayalı bakım-onarım modelleri geliştirilmeli ve operatörün arızaya katkısının daha detaylı incelenmesi gerekmektedir.
- Operatörlerin eğitimi amacıyla Illinois Carbondale’de mevcut olan simülatör gibi eğitim simülatörleri geliştirilmeli ve makinanın kullanımından önce bu simülatörlerde operatörlere etkin bir eğitim verilmelidir.
- Madencilik sektöründe yüksek yatırım maliyeti gerektiren ve üretkenliği projenin ekonomik başarısı için önem arz eden karmaşık makineler için güvenilirlik modelleri ve optimum bakım-onarım politikaları geliştirilmeli ve bu modeller üretim planlamasına dahil edilmelidir.

KAYNAKLAR

Afey, I. H. (2010). Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. *Engineering*, 2(11), 863-873.

Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer-Verlag London Limited.

Bertsche, B. (2008). *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Bertsche, B. (2008). *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering*. Berlin: Springer.

Birnbaum, Z. (1975). Reliability and Fault Tree Analysis. Theoretical and Applied Aspects of System Reliability and Safety Assessment. Pennsylvania: Society for Industrial and Applied Mathematics.

Clemens, F. H., Veldhuis, J. A., & van Gelder, P. H. (2011). Quantitative fault tree analysis for urban water infrastructure flooding. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, 809-821.

Clemens, P., & Sverdrup, J. (1993). Fault Tree Analysis (Ders Notu). Tullahoma: Sverdrup Technology.

Dhillon, B. S. (1999). *Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance*. Gulf Professional Publishing.

Dhillon, B. (2008). *Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety*. London: Springer.

Ericson II, C. (1997). FTAB - A New Generation Computer Code for Fault Tree Analysis. Proceedings of the 15th International System Safety Conference, (437-447).

Ericson II, C. (1999). Fault Tree Analysis – A History. Proceedings of The 17th International System Safety Conference. Orlando.

Gilewicz, P. (2000). U.S. Dragline Census. *Coal Age*, 8, 104.

Godfrey, P. (2002). Overall Equipment Effectiveness. *Manufacturing Engineer*, 81(3), 109. doi:10.1049/me:20020302

Guo, H., Liao, H., & Pulido, J. (2011, Temmuz). Failure Process Modeling For Systems With General Repairs. *Reliability Hotwire eMaganize*(125).

Gupta, S., Ramkrishna, N., & Bhattacharya, J. (2006). Replacement and maintenance analysis of longwall shearer using fault tree technique. *Mining Technology*, 49-58.

Halme, J., & Aikala, A. (2012). Fault tree analysis for maintenance needs. *25th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering* (pp. 1-141). IOP publishing.

Hall, R., Daneshmend, L., Lipsett, M., & Wong, J. (2000). Reliability analysis as a tool for surface mining equipment evaluation and selection. *CIM Magazine*, 93(1044), 78-82.

Hartzell, L. A., & Silva, M. G. (2002). *Mems Reliability*. New York: Springer.

Hauptmanns, U. (2010). A Decision-Making Framework For Protecting Process Plants From Flooding Based On Fault Tree Analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 970-980.

Hong, Y.-Y., & Lee, L.-H. (2009). Reliability Assessment Of Generation And Transmission Systems Using Fault-Tree Analysis. *Energy Conversion and Management*, -2810-2817.

Kaminskiy, M. P. (2004). Simple Bounds on Cumulative Intensity Functions of Renewal and G-Renewal Processes with Increasing Failure Rate Underlying Distributions. *Risk Analysis*, 24.

Köse, H., & Yalçın, C. (1985). *Örtü Kazı Yöntemlerinin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi*. İzmir: DEÜ Maden Mühendisliği Bölümü.

Kumar, U., & Barabady, J. (2007). Reliability analysis of mining equipment: A case study of a Crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran. *Reliability Engineering & System Safety*, 647-653.

Lhorente, B., Lugtigheid, D., Knights, P., & Santana, A. (2004). A Model for Optimal Armature Maintenance in Electric Haul Truck Wheel Motors: A Case Study. *Reliability Engineering and System Safety*, 84, 209-218.

Limnios, N. (2007). *Fault Trees*. London: ISTE Publishing Ltd.

Louit, D., Pascual, R., & Jardine, A. (2009). A practical procedure for the selection of time-to-failure models based on the assessment of trends in maintenance data. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, 1618-1628.

Mettas, A., & Zhao, W. (2005). Modeling and Analysis of Repairable Systems with General Repair. 2005 Annual Reliability and Maintainability Symposium Proceedings Book. Virginia: IEEE Publications.

Misra, K. B. (2008). Performability Engineering: An Essential Concept in the 21st Century. In K. B. Misra, *Handbook of Performability Engineering* (pp. 1-12). Springer-Verlag London Limited.

Mishra, R. C., & Pathak, K. (2004). *Maintenance Engineering and Management*. Prentice-Hall of India Pvt.Ltd.

Mobley, R. K. (2002). *An introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier Science (USA)

Mobley, R. K. (2004). *Maintenance Fundamentals*. Butterworth-Heinemann.

Murthy, D., Bulmer, M., & Eccleston, J. (2004). Weibull model selection for reliability modelling. *Reliability Engineering and System Safety*, 86, 257-267.

Öktem, R. (2006). Hata Ağacı Analizinin Kısaca Tanıtımı Ve Örnek Uygulamalar. Türk Tabipleri Birliği.

Roy, S., Bhattacharyya, M., & Naikan, V. (2001). Maintainability and Reliability Analysis of a Fleet of Shovels. *Mining Technology*, 110(3), 163-171.

Samanta, B., Sarkar, B., & Mukherjee, S. (2002). Reliability Assessment Of Hydraulic Shovel System Using Fault Trees. *Mining Technology*, 129-135(7).

Samanta, B., Sarkar, B., & Mukherjee, S. (2004). Reliability Modelling and Performance Analysis of an LHD System in Mining. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 104(1), 1-8.

Smith, R. (2007). *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*. Butterworth-Heinemann

Stapelberg, R. F. (2009). *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*. Springer-Verlag London Limited.

Sullivan, T. (2004). Mining's Wild Ride. *CIM Magazine*, 97(1081).

U.S. Department of Energy . (2010, August). Retrieved July 5, 2013, from Energy Efficiency and Renewable Energy: http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/omguide_complete.pdf

Uzgören, N., & Elevli, S. (2010). Homojen Olmayan Poisson Süreci: Bir Maden Makinesinin Güvenilirlik Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 827-837.

Uzgören, N., Elevli, S., Elevli, B., & Uysal, Ö. (2010). Reliability Analysis of Draglines' Mechanical Failures. *Maintenance and Reliability*, 23.

Uzun, A., & Özdoğan, A. (2011). Güvenilirlik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlaması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 303-320.

Vesely, W., Dugan, J., Minarick III, J., & Railsback, J. (2002). *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington, D.C.: NASA Office of Safety and Mission Assurance Publication

Vesely, W., Goldberg, F., Roberts, N., & Haasl, D. (1981). *Fault Tree Handbook*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

Wang, L. (2010). Fault Tree Analysis for Oil Tank Fire and Explosion. *Emergency Management and Management Sciences*, (488-491). Langfang.

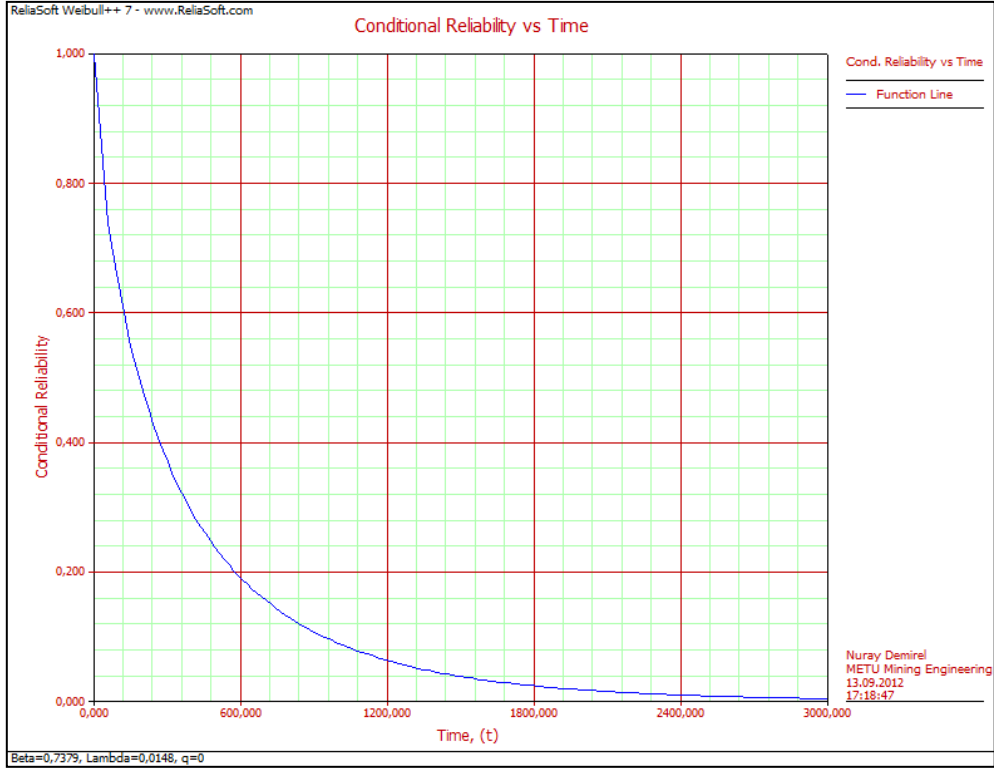
Xing, L. (2004). Maintenance-Oriented Fault Tree Analysis of Component Importance. *Reliability and Maintainability*, (pp. 534-539).

Zacks, S. (1992). *Introduction to Reliability Analysis: Probability Models and Statistical Methods*. New York: Springer-Verlag.

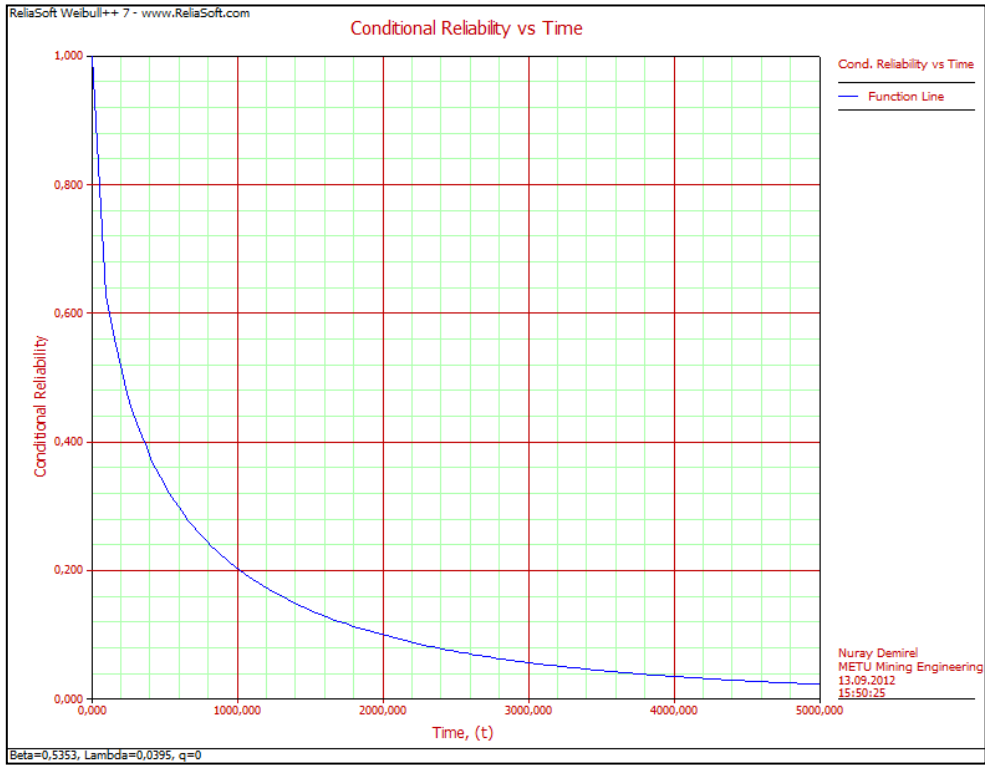
Zio, E. (2009). Reliability Engineering: Old Problems and New Challenges. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, 125-141.

EK-A

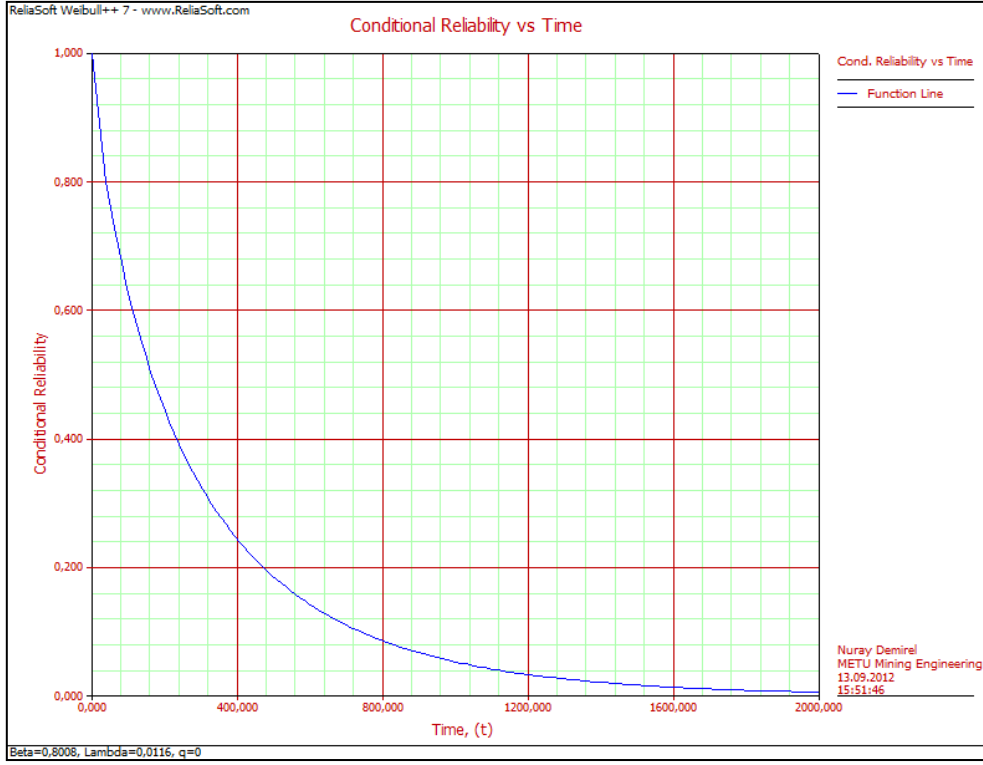
Zamana Bağlı Güvenilirlik Analizleri



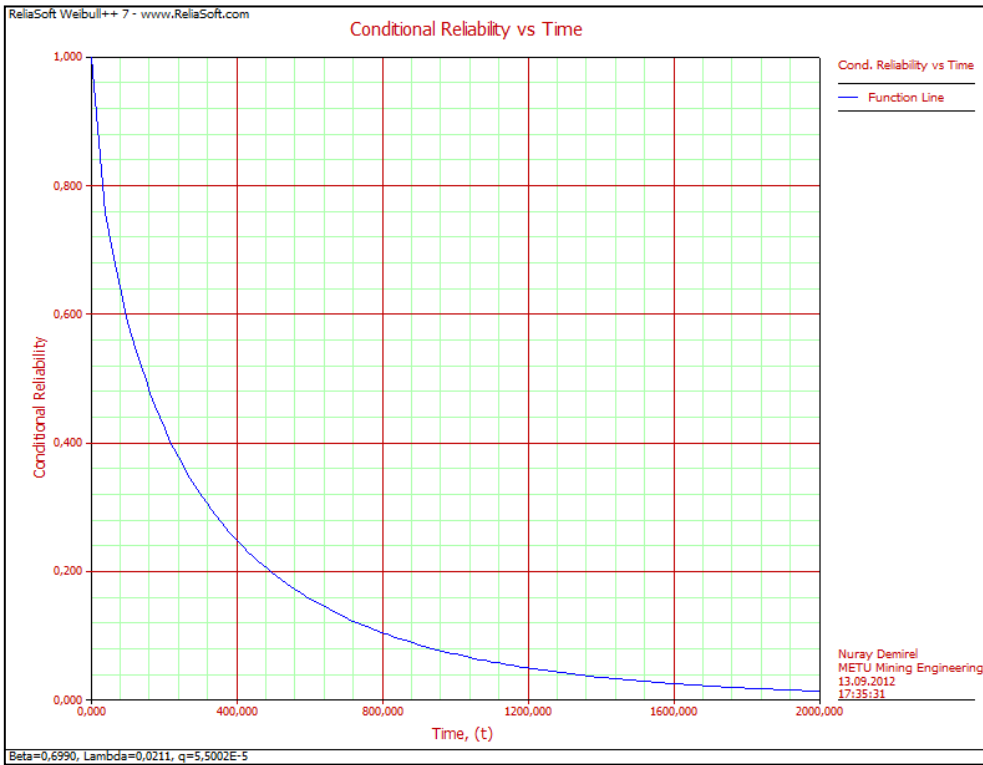
Şekil A1. Marion 7820 çekiş ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



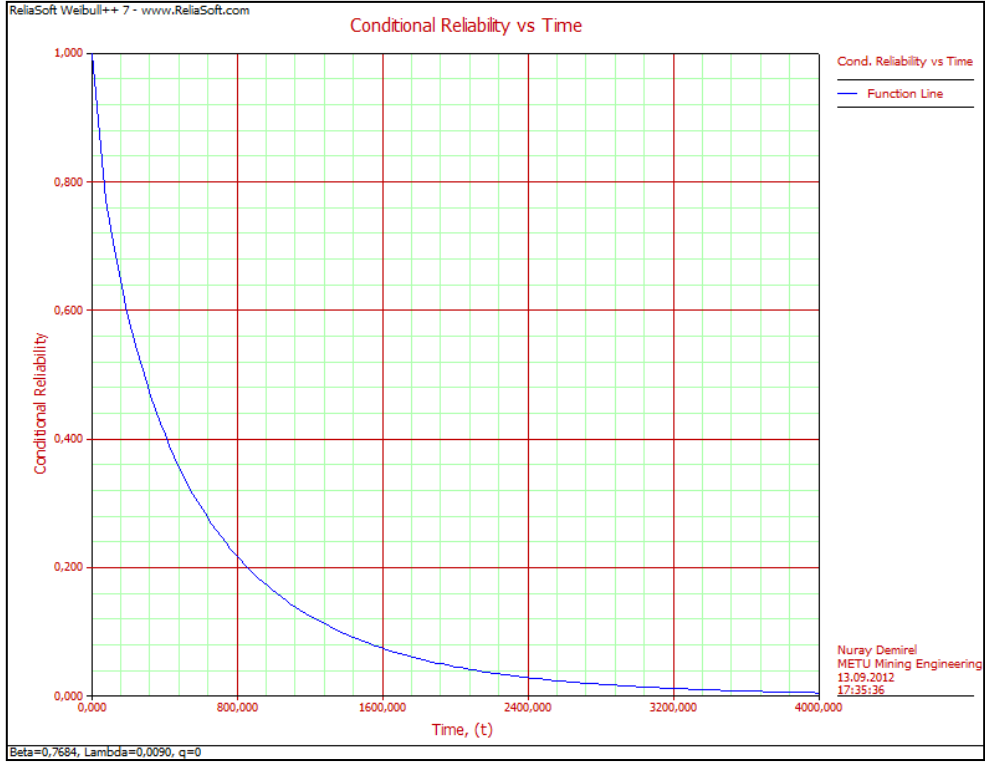
Şekil A2. Marion 7820 kaldırış ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



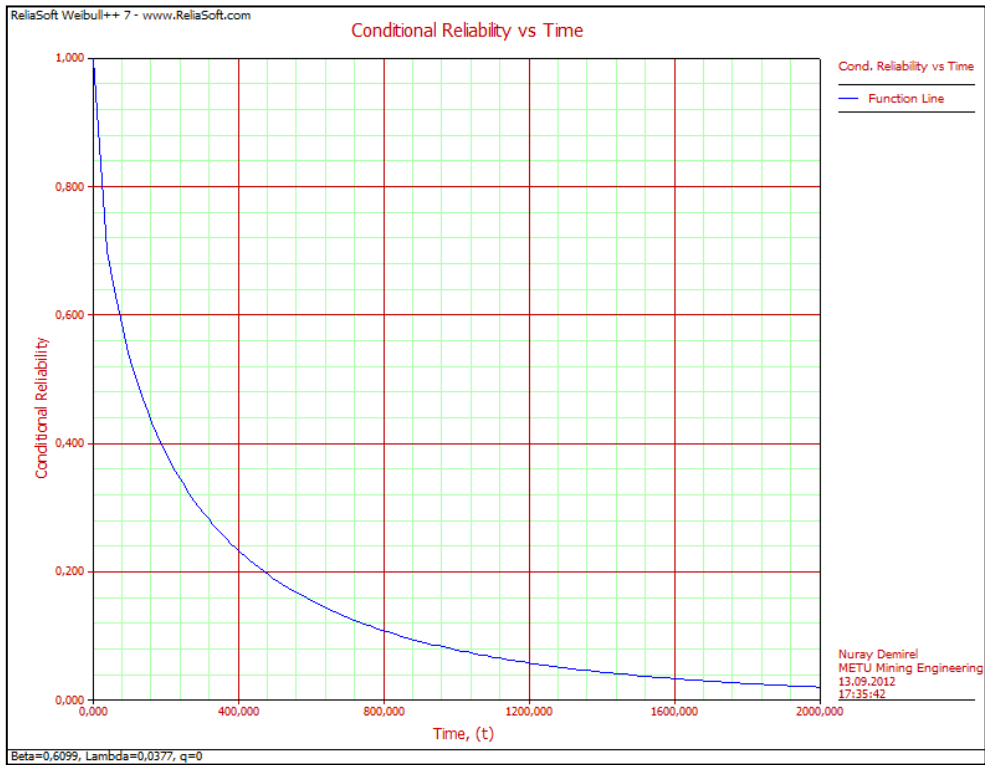
Şekil A3. Marion 7820 terazi ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



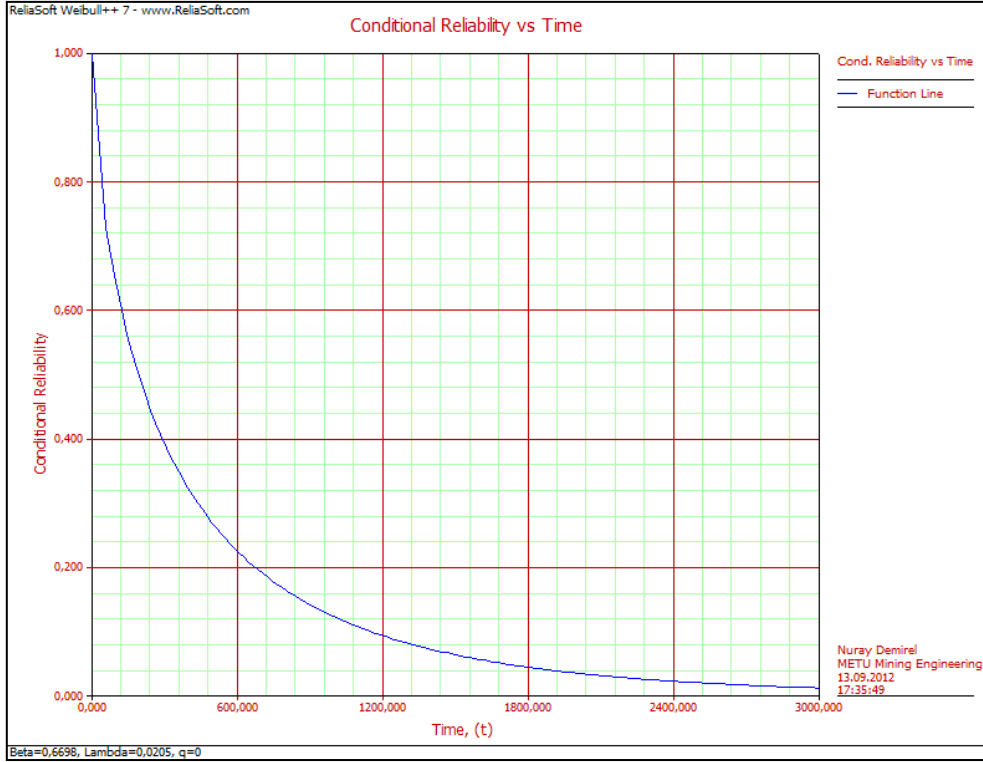
Şekil A4. Marion 7820 kepçe ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



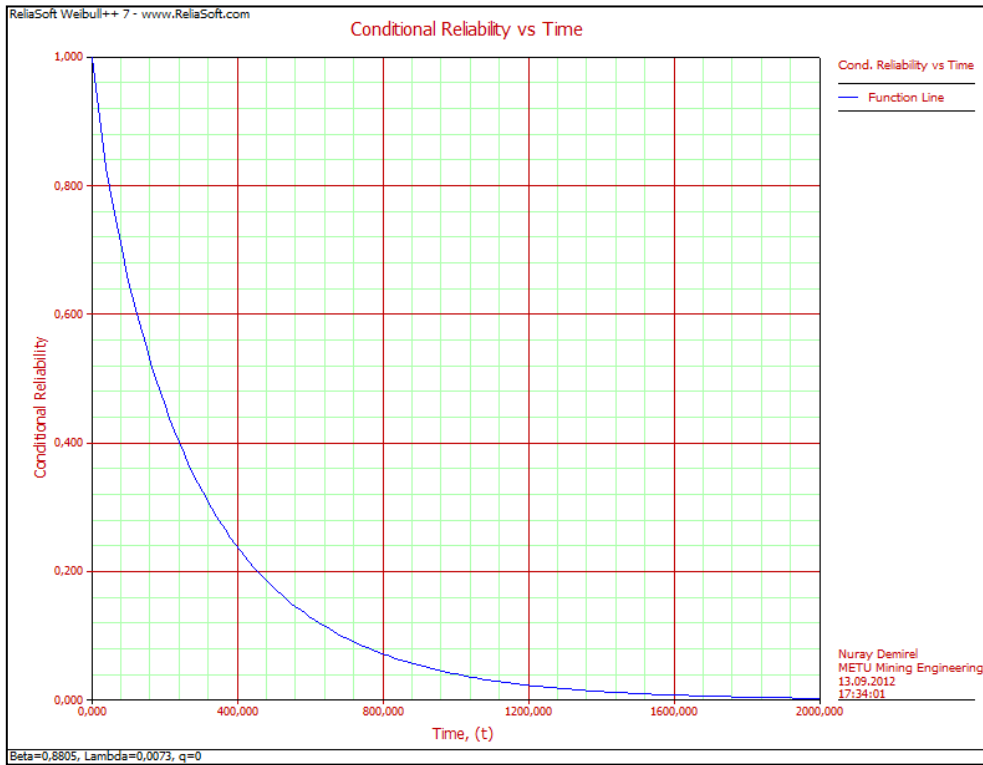
Şekil A5. Marion 7820 hareket ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



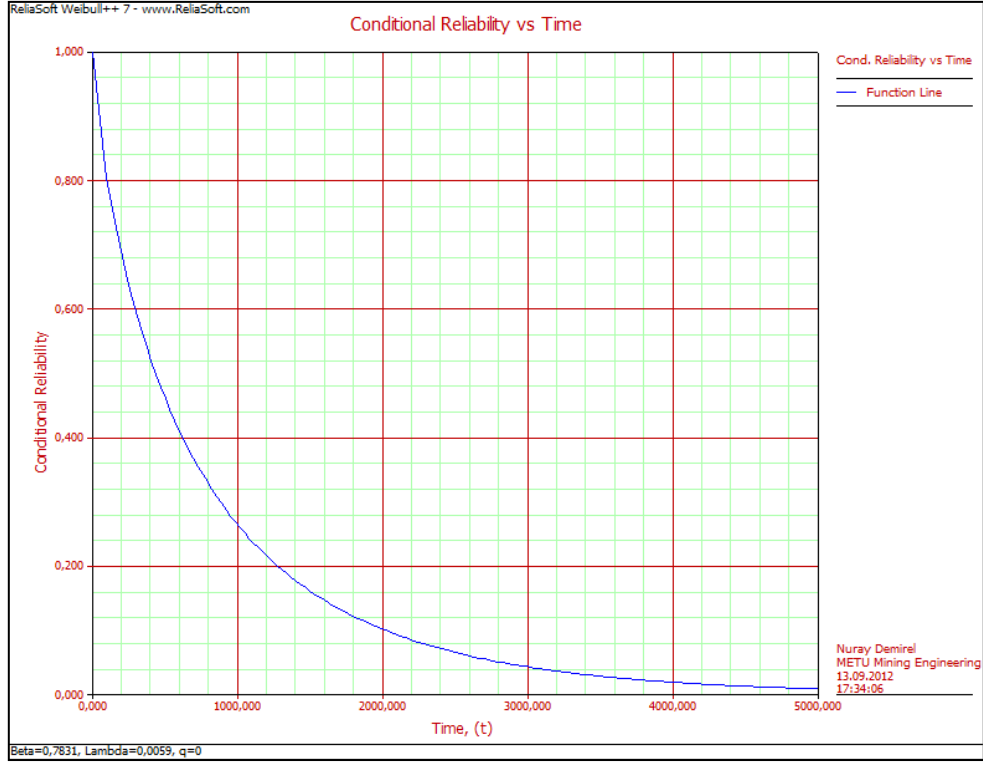
Şekil A6. Marion 7820 makine dairesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



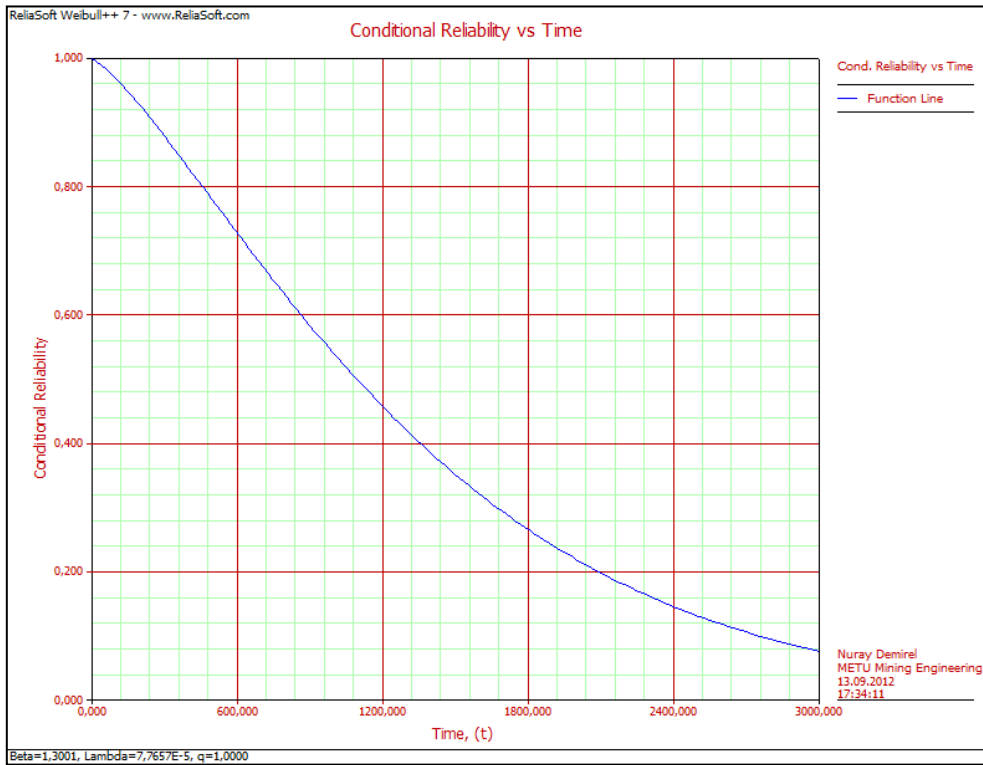
Şekil A7. Marion 7820 elektrik kaynağı biriminin zamana bağlı güvenilirlik değişimi



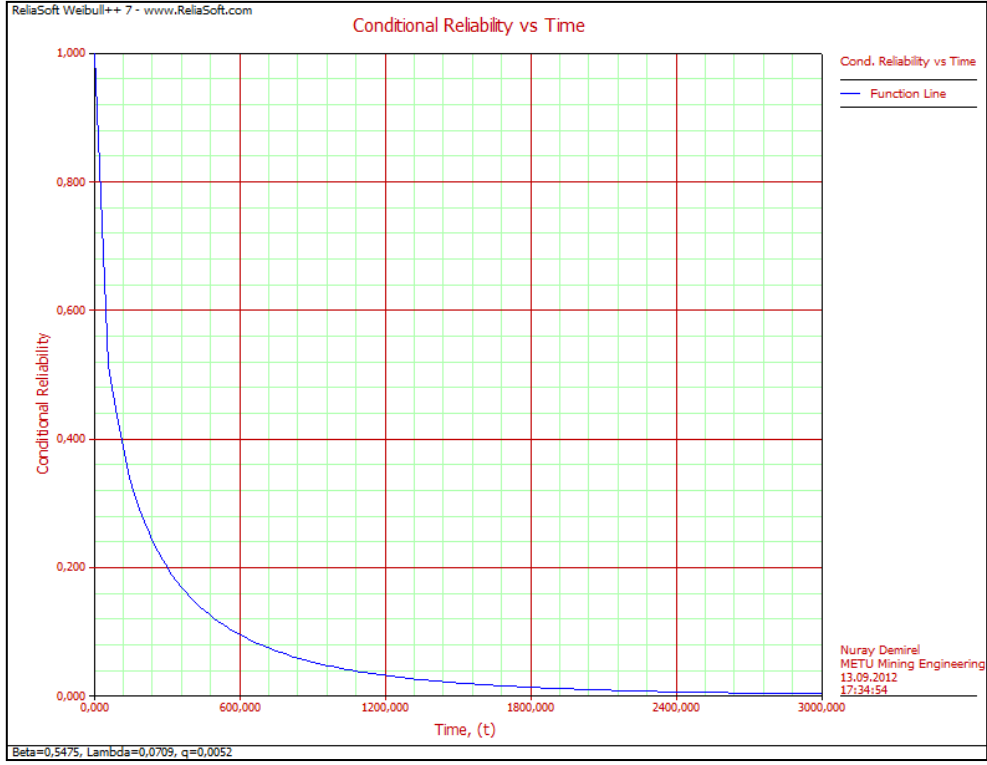
Şekil A8. Page 736 çekiş ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



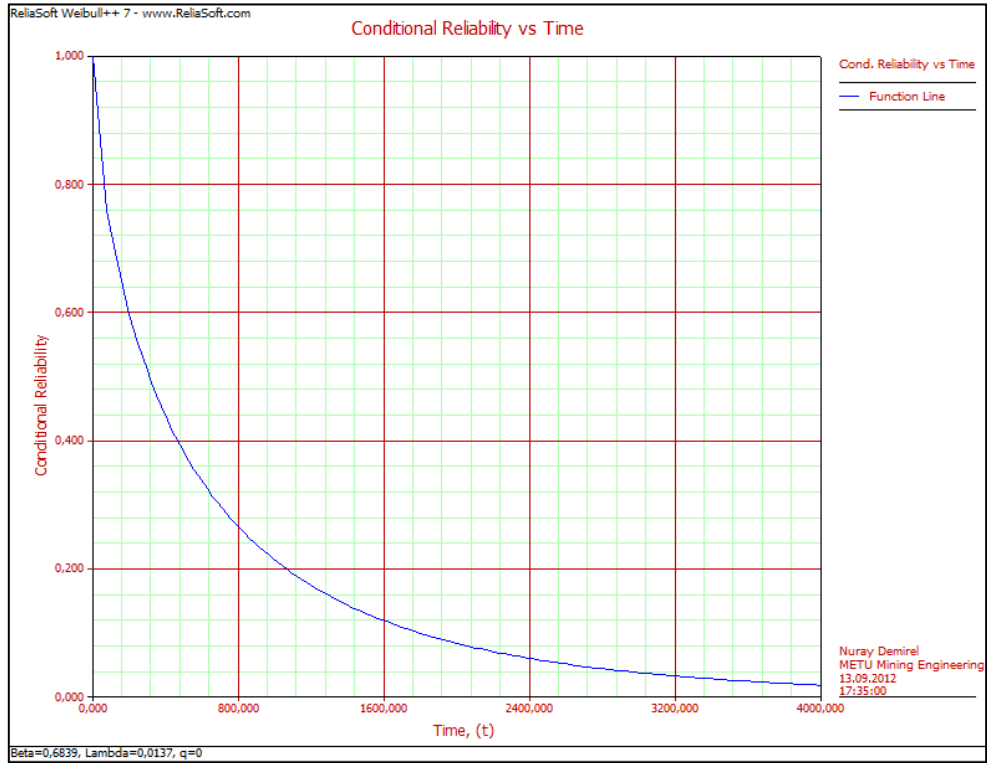
Şekil A9. Page 736 kaldırış ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



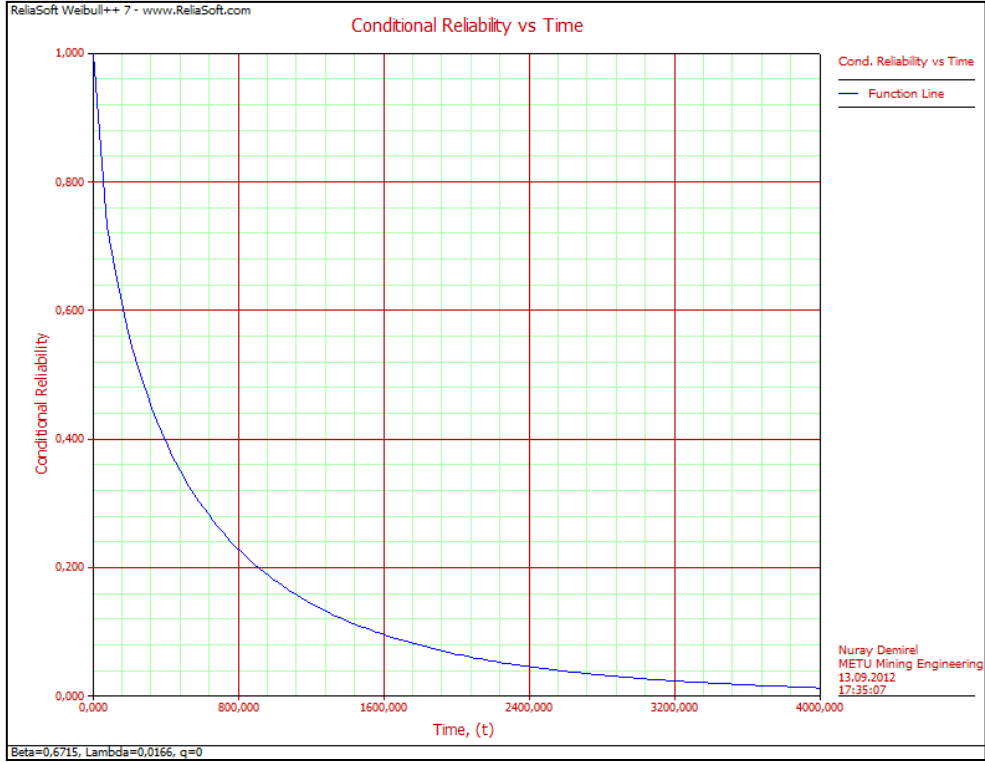
Şekil A10. Page 736 terazi ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



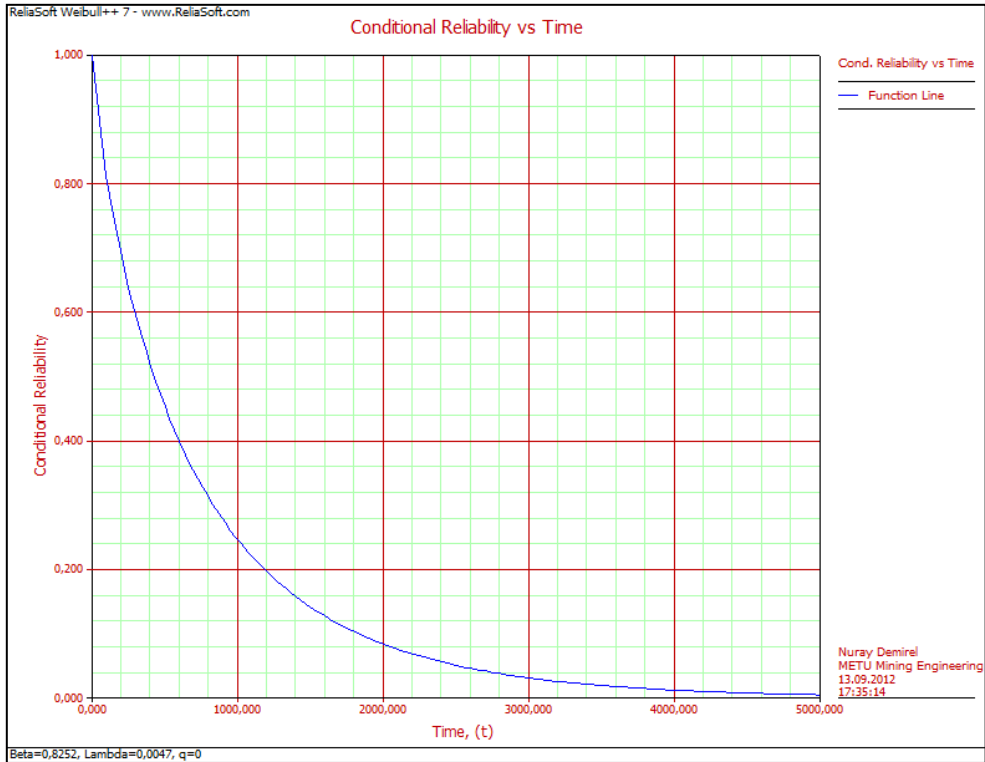
Şekil A11. Page 736 kepçe ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



Şekil A12. Page 736 hareket ünitesi zamana bağlı güvenilirlik değişimi



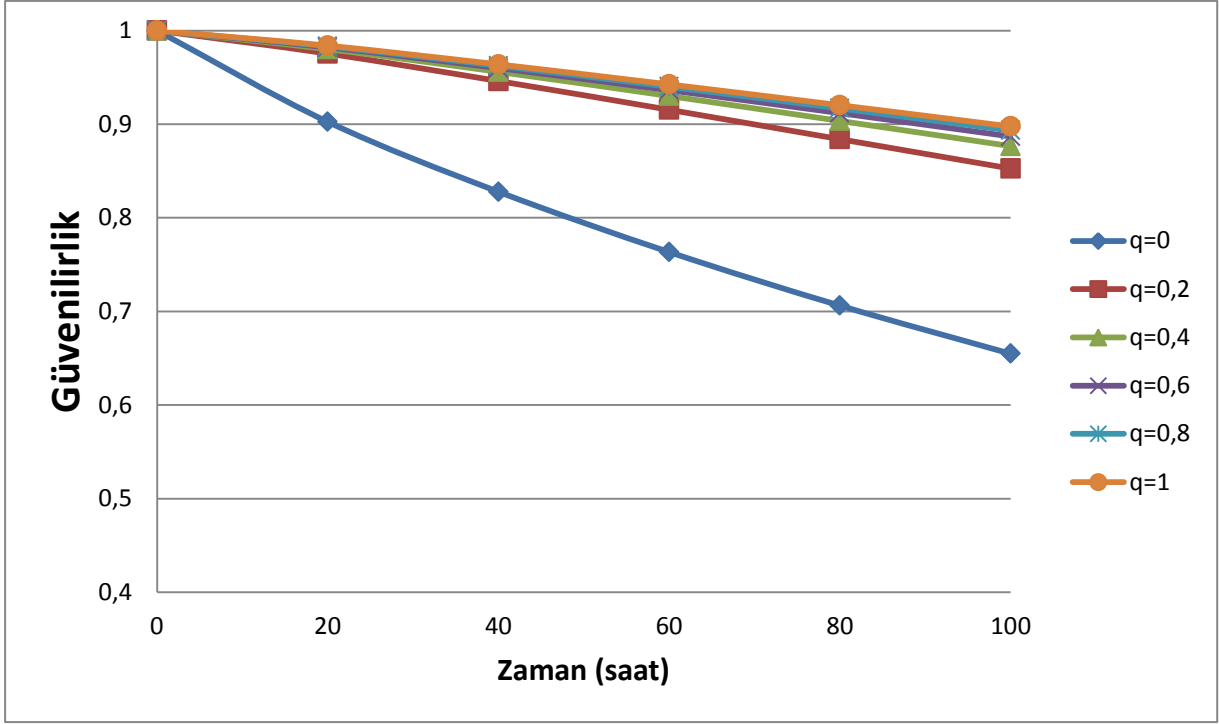
Şekil A13. Page 736 makine dairesinin zamana bağlı güvenilirlik değişimi



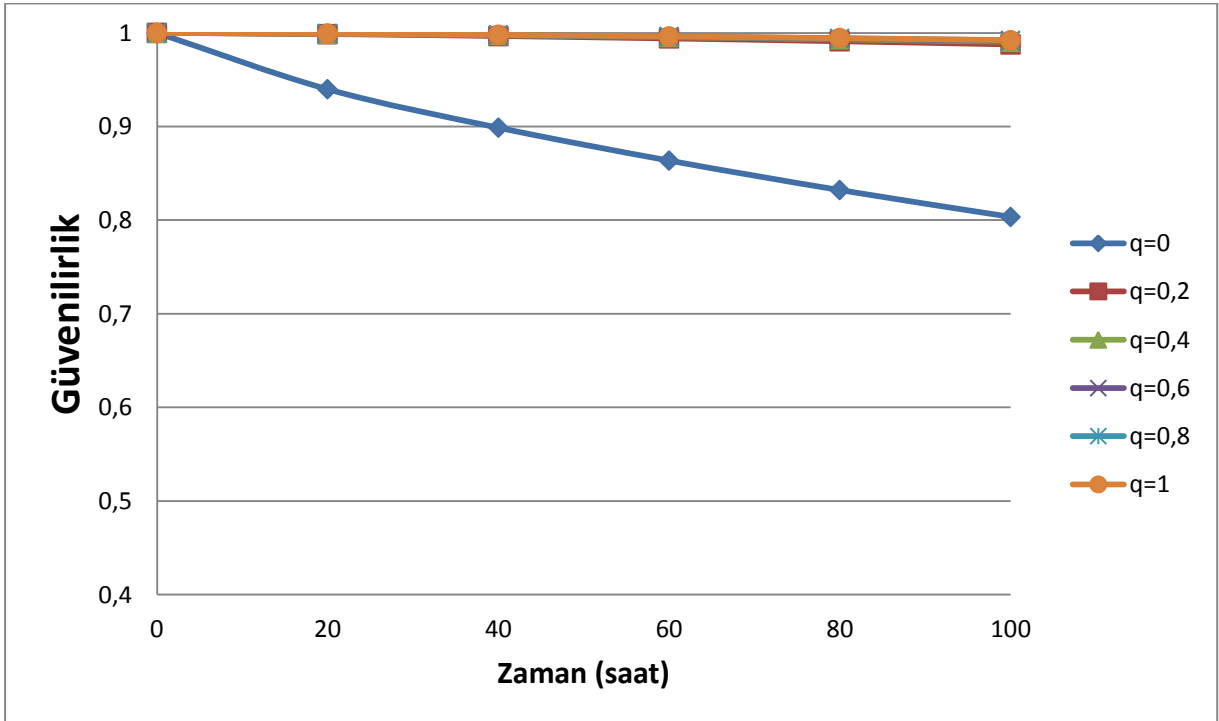
Şekil A12. Page 736 elektrik kaynağı biriminin zamana bağlı güvenilirlik değişimi

EK-B

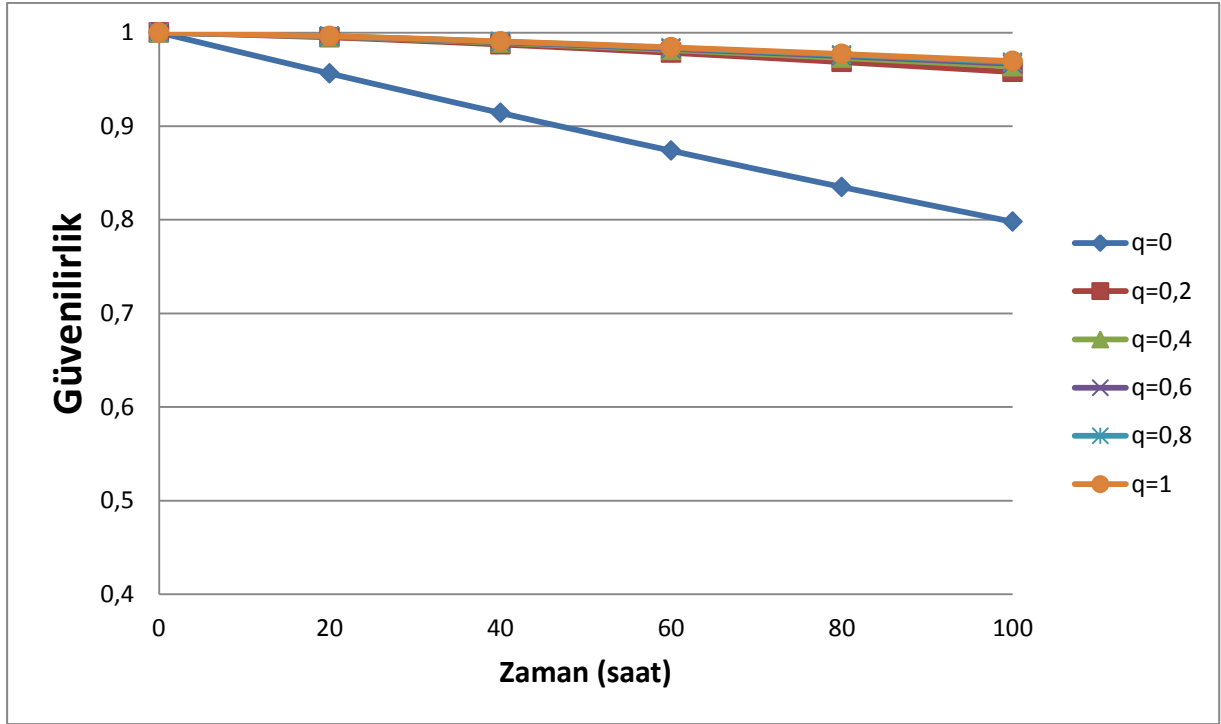
Farklı q Değerleri İle Yapılmış Güvenilirlik Analizleri



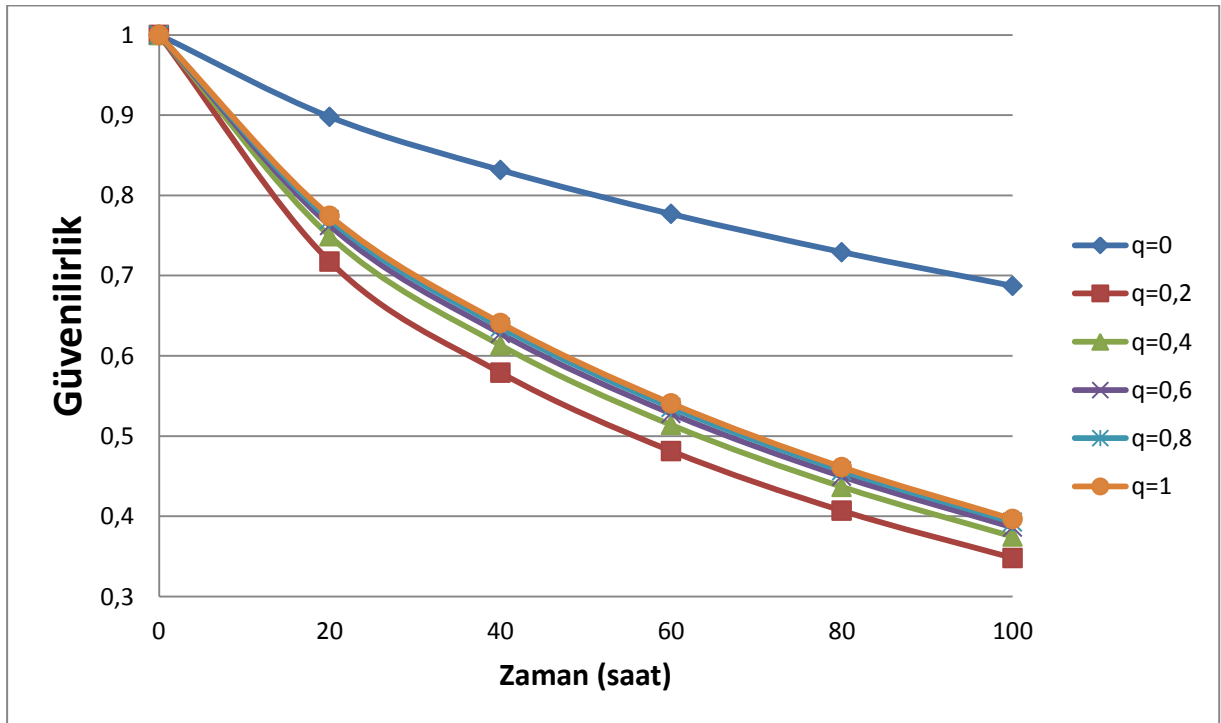
Şekil B1. Page 736 çekiş ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



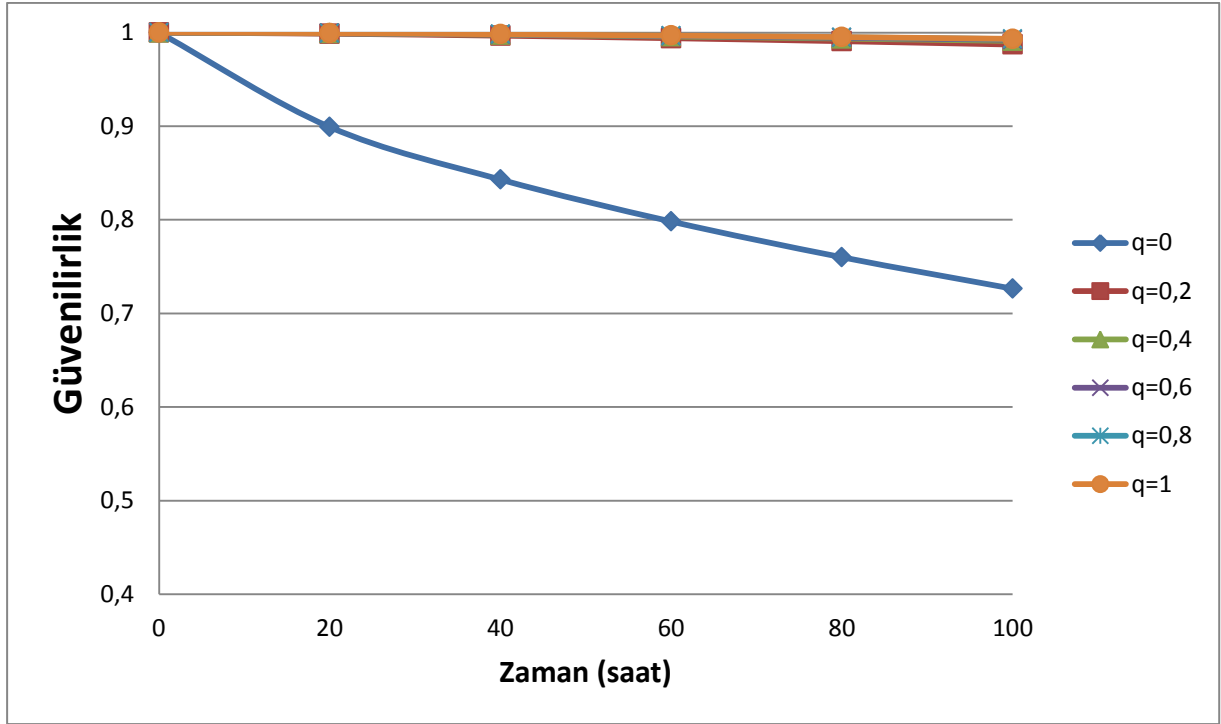
Şekil B2. Page 736 kaldırış ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



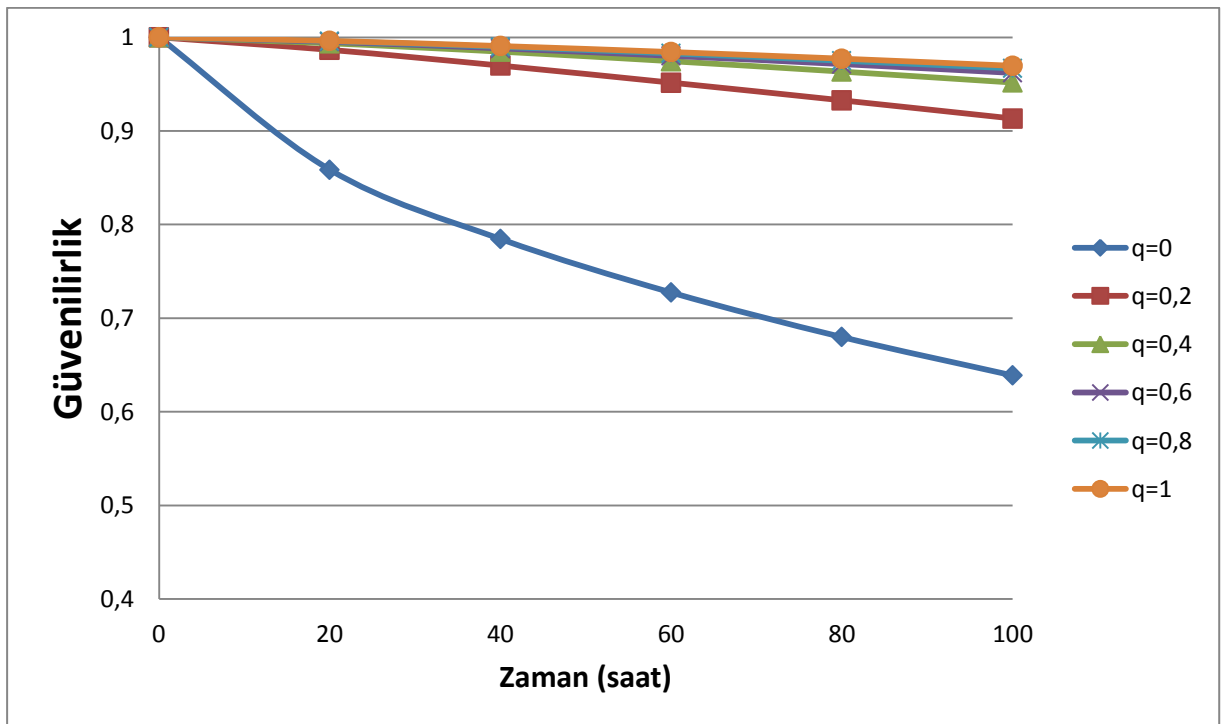
Şekil B3. Page 736 terazi ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



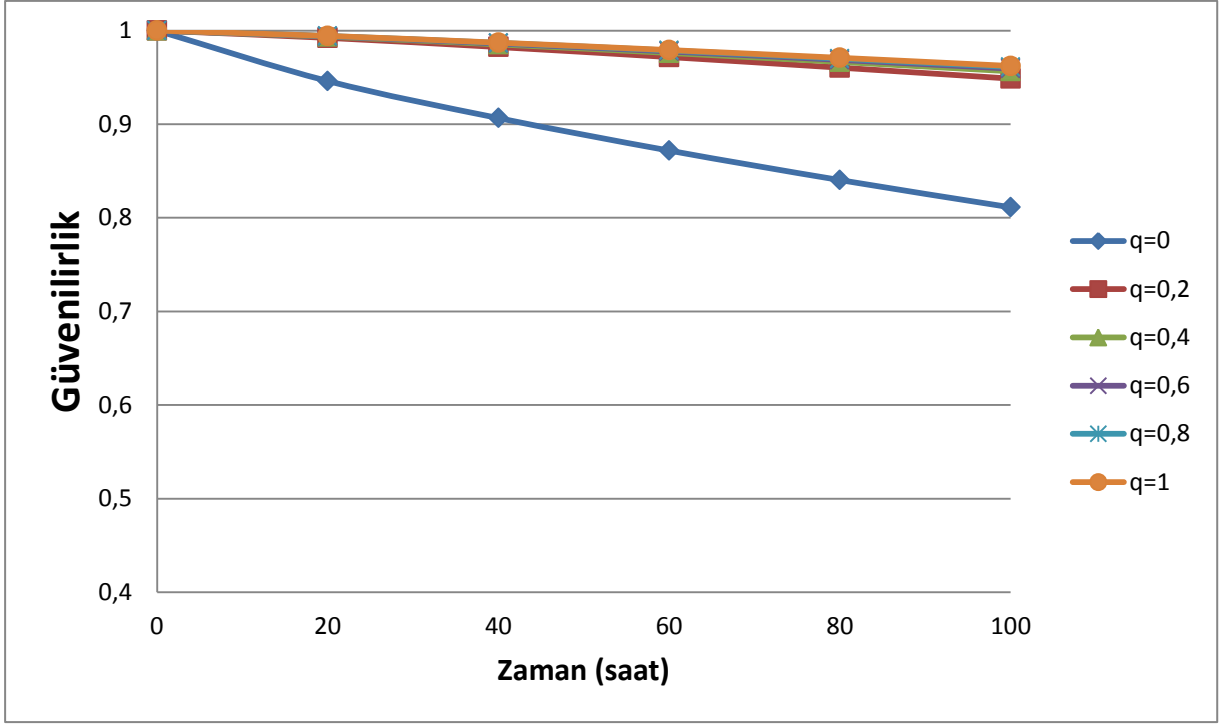
Şekil B4. Page 736 kepçe ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



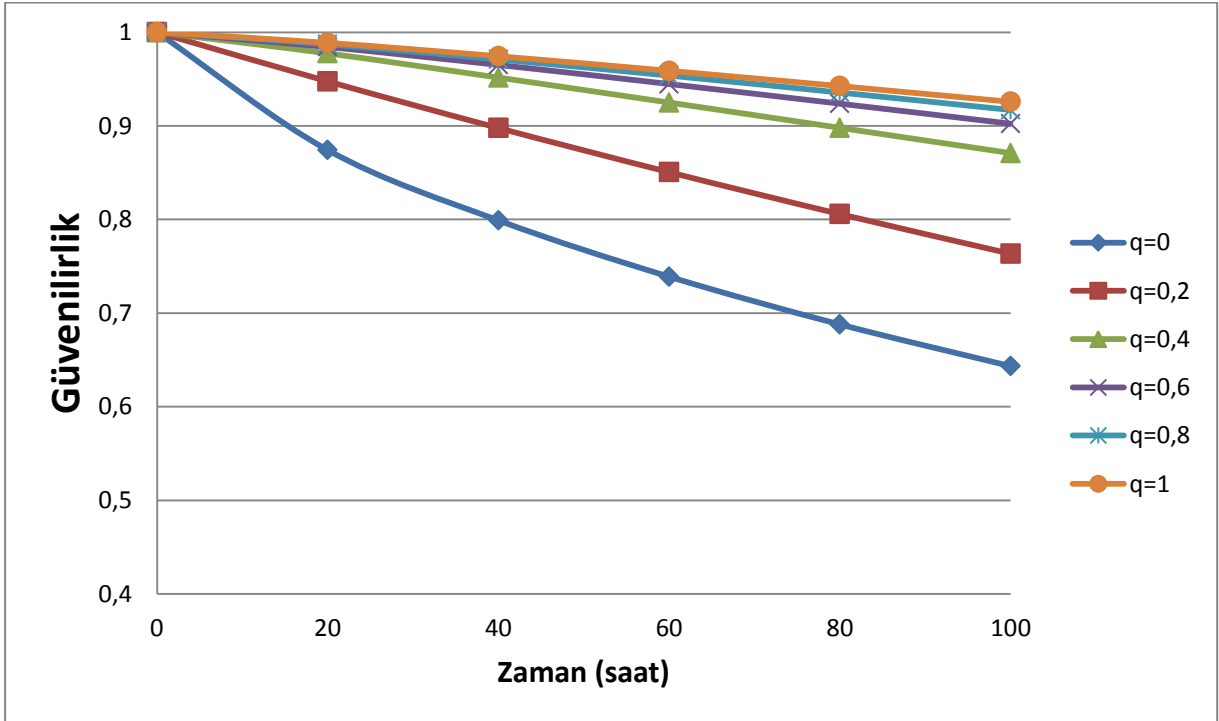
Şekil B5. Page 736 hareket ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



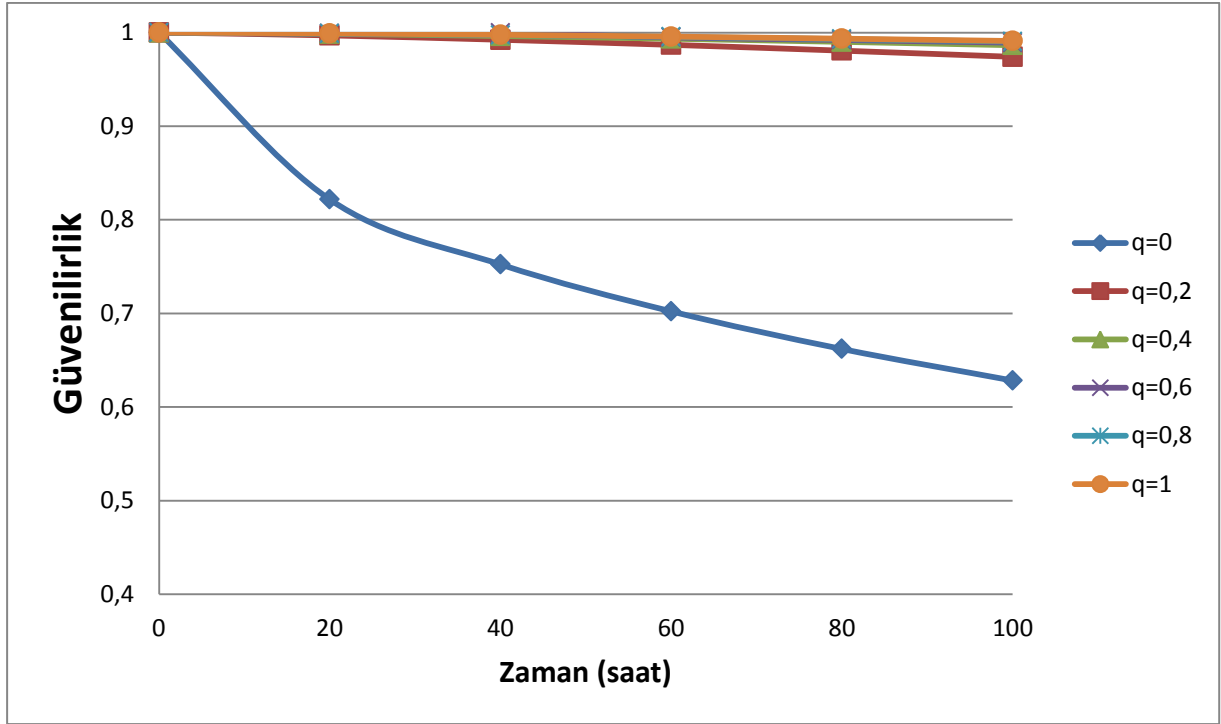
Şekil B6. Page 736 makine dairesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



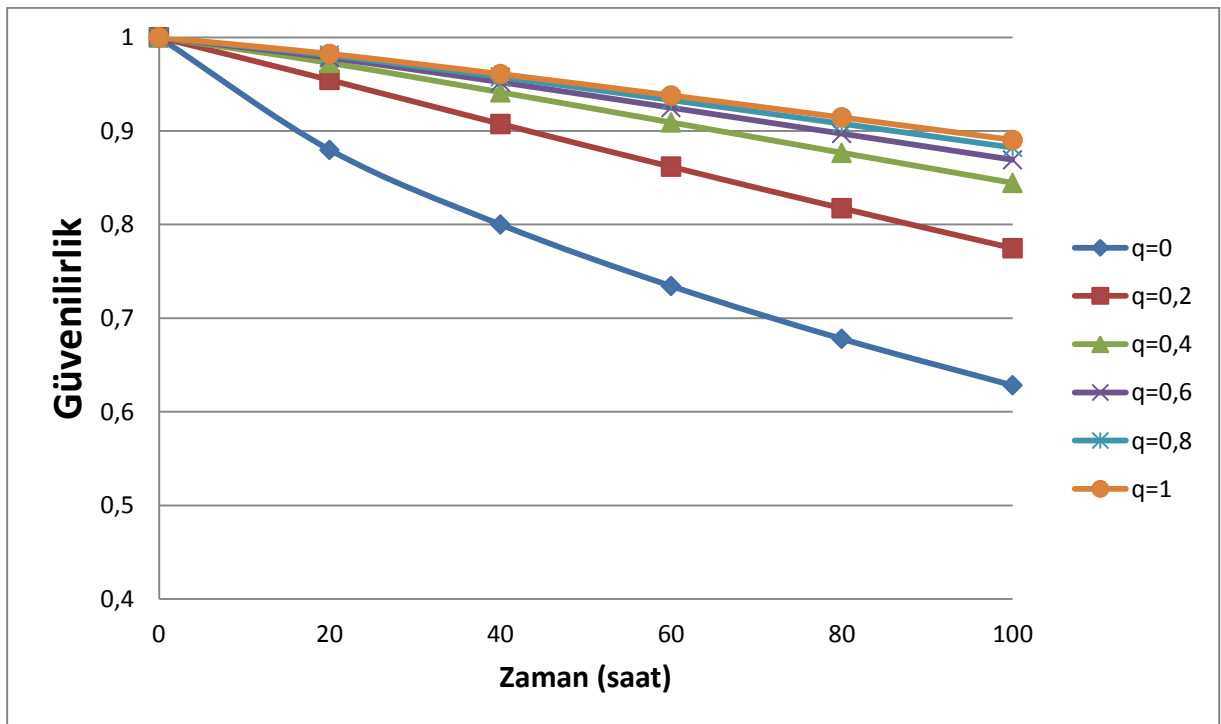
Şekil B7. Page 736 elektrik kaynağı biriminin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



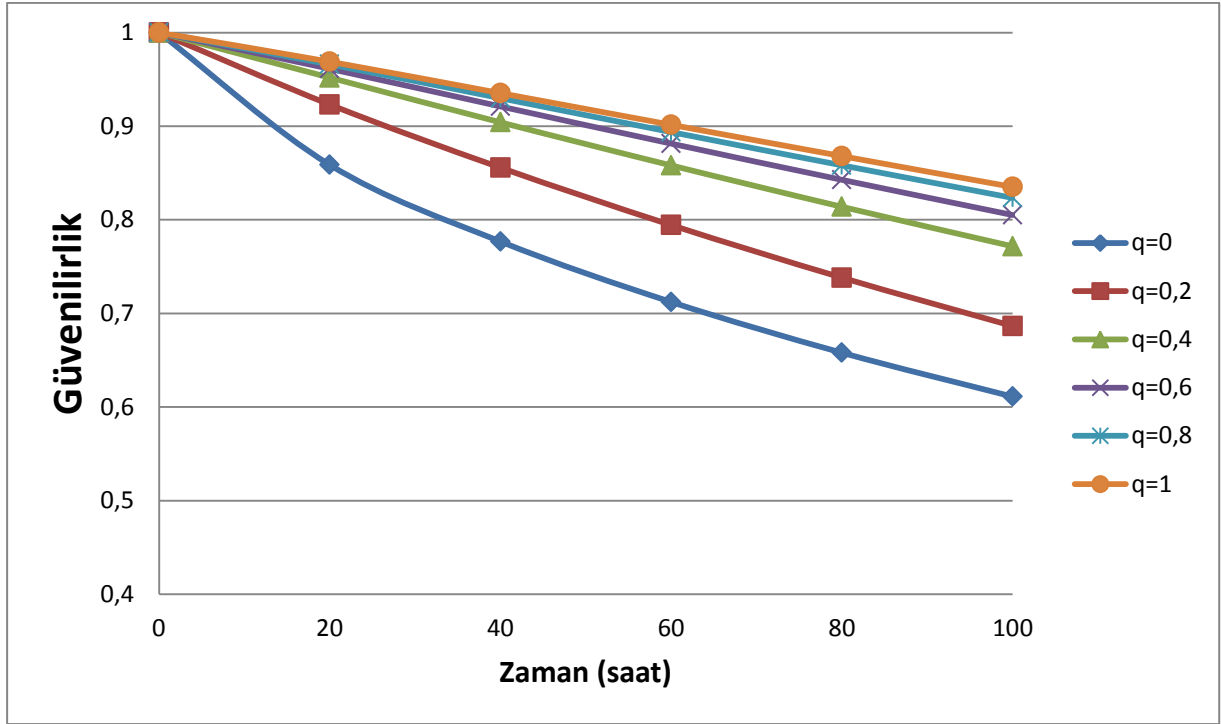
Şekil B8. Marion 7820 çekiş ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



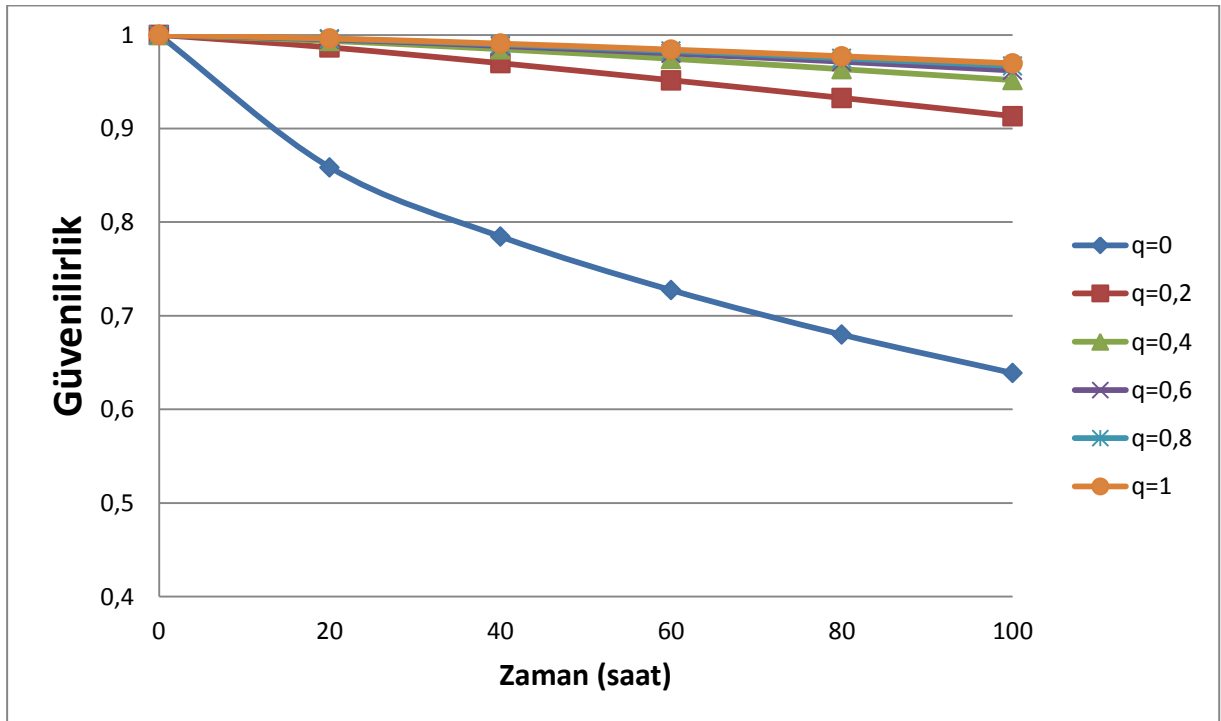
Şekil B9. Marion 7820 kaldırış ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



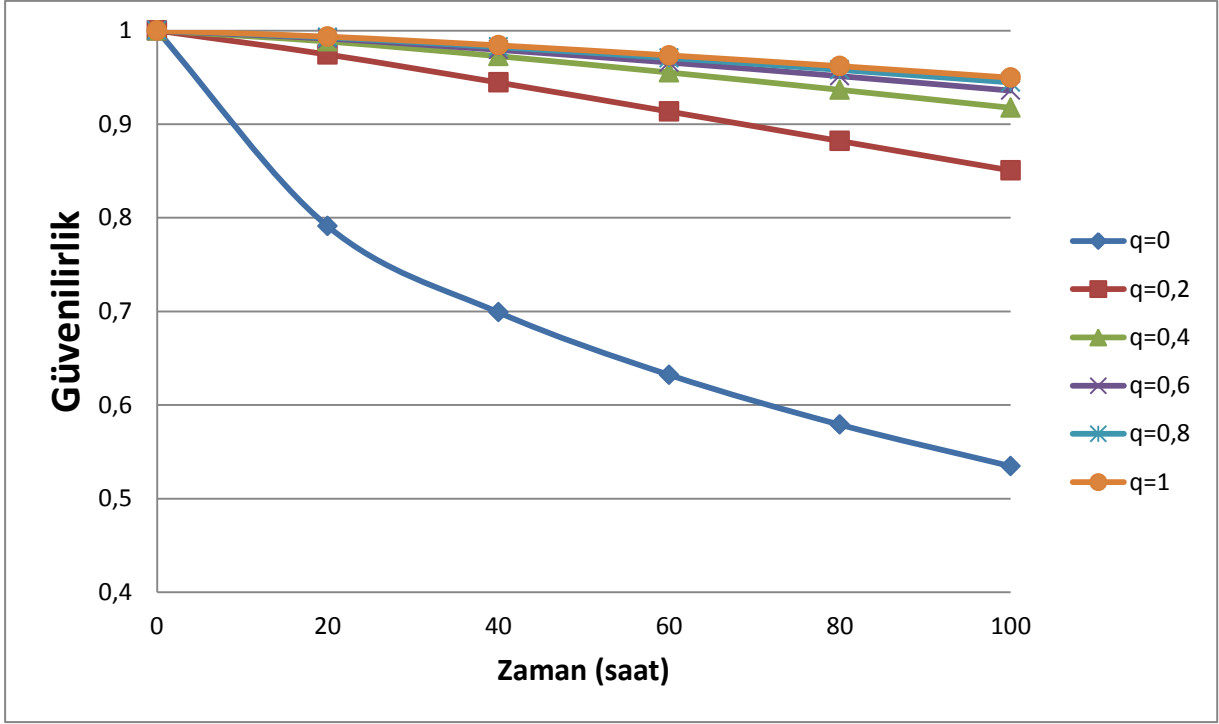
Şekil B10. Marion 7820 terazi ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



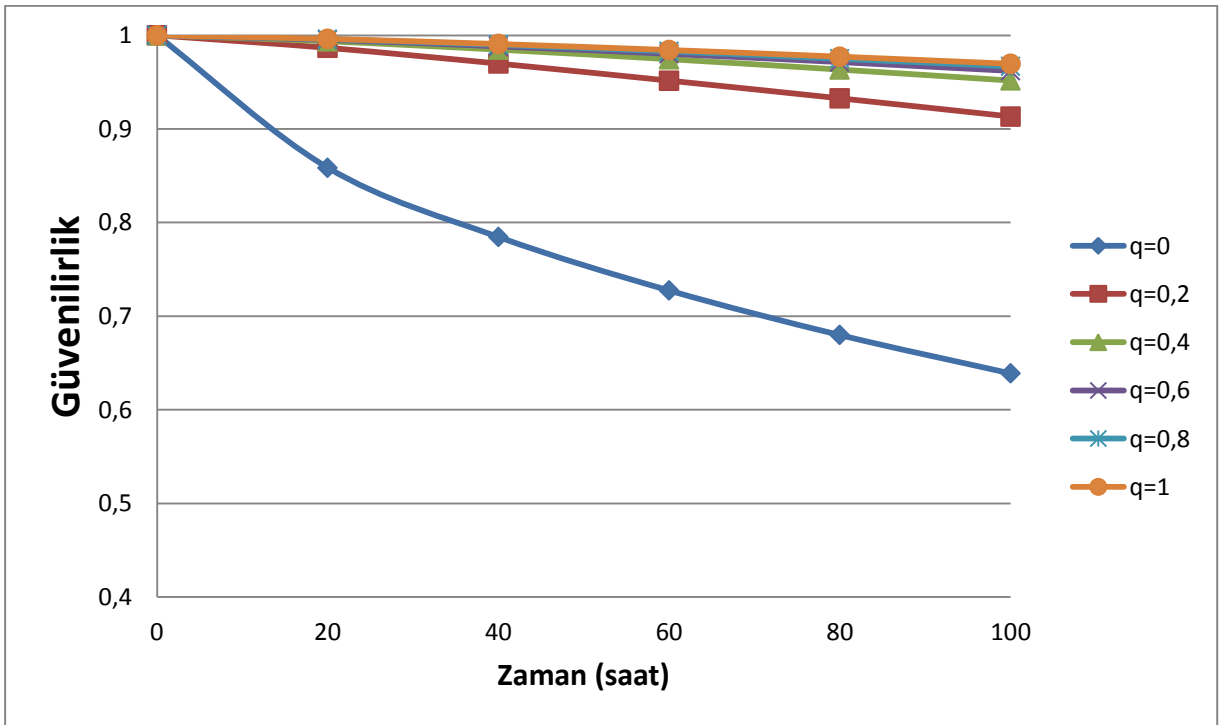
Şekil B11. Marion 7820 kepçe ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



Şekil B12. Marion 7820 hareket ünitesinin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



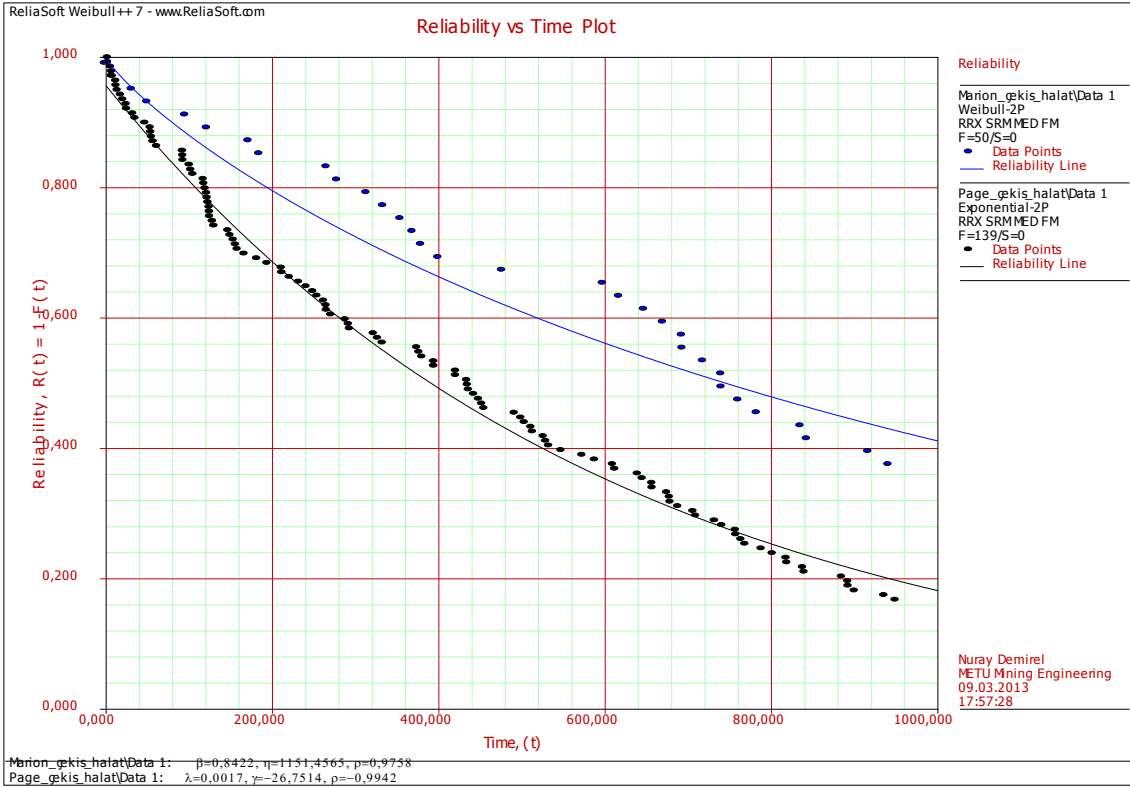
Şekil B13. Marion 7820 makina dairesi farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri



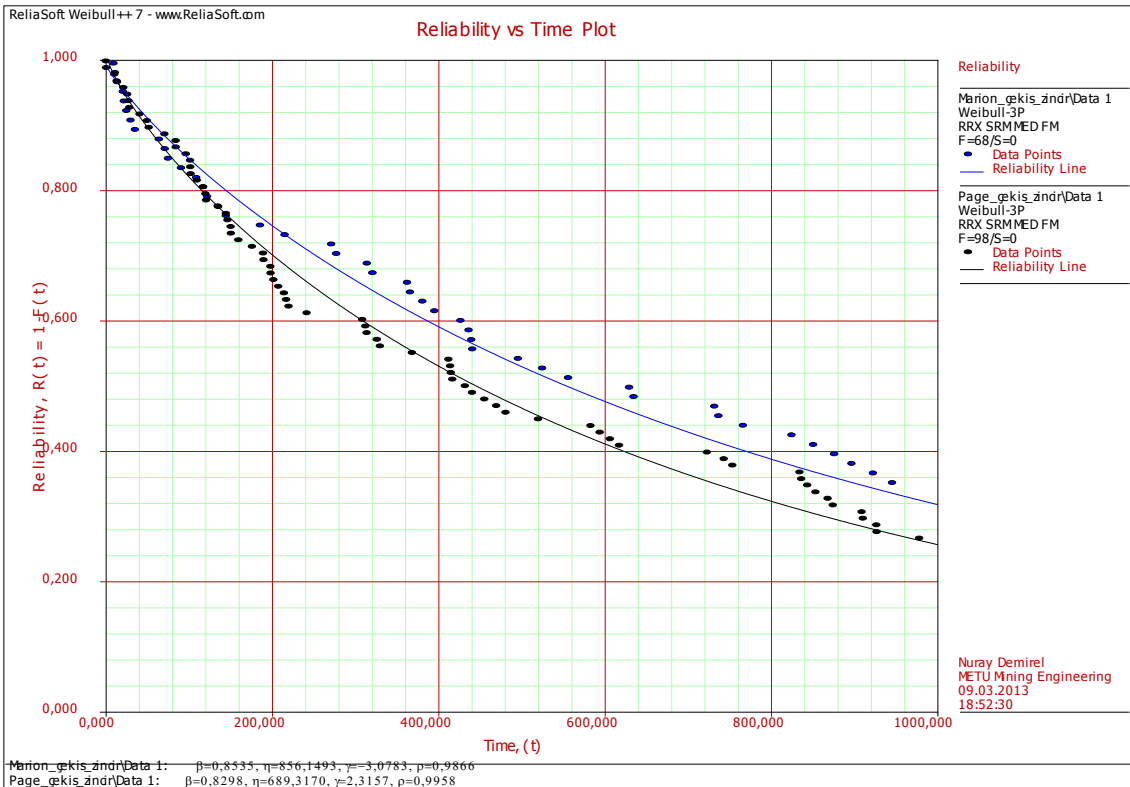
Şekil B14. Marion 7820 elektrik kaynağı biriminin farklı q değerleri ile yapılmış güvenilirlik analizleri

EK-C

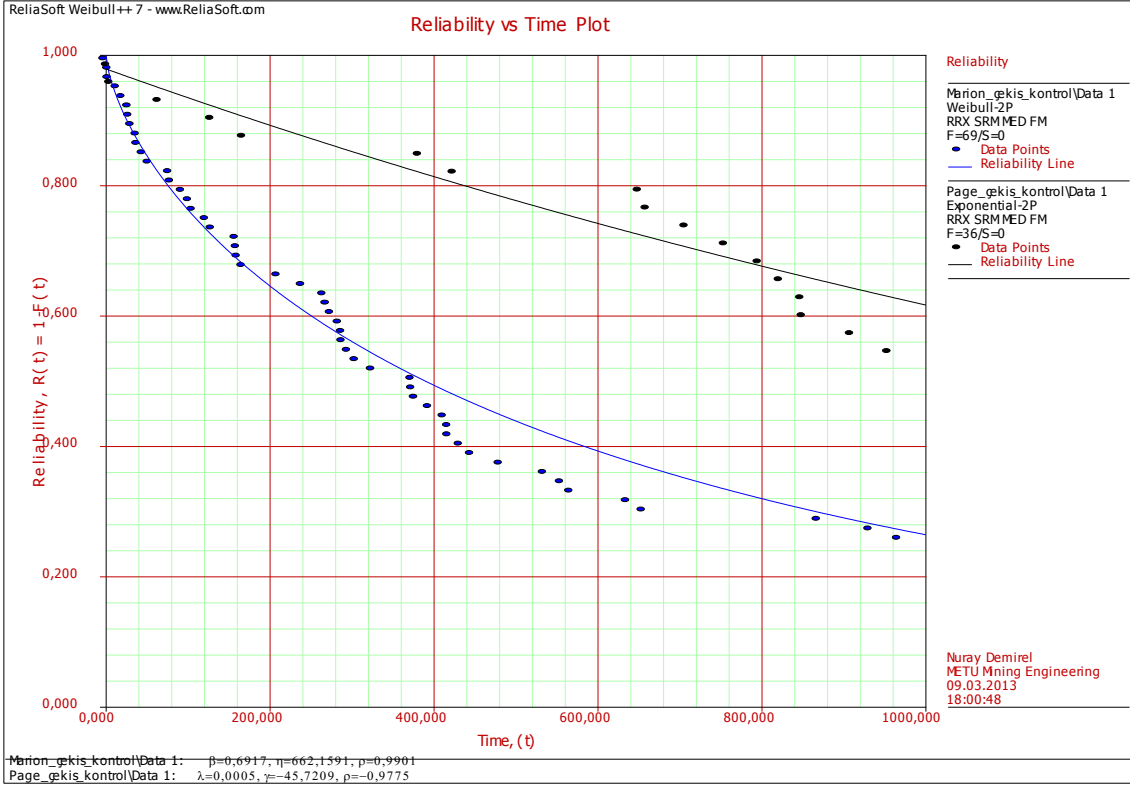
Çekme Kepçeli Yerkazarların Alt Bileşenlerinin Güvenilirlikleri



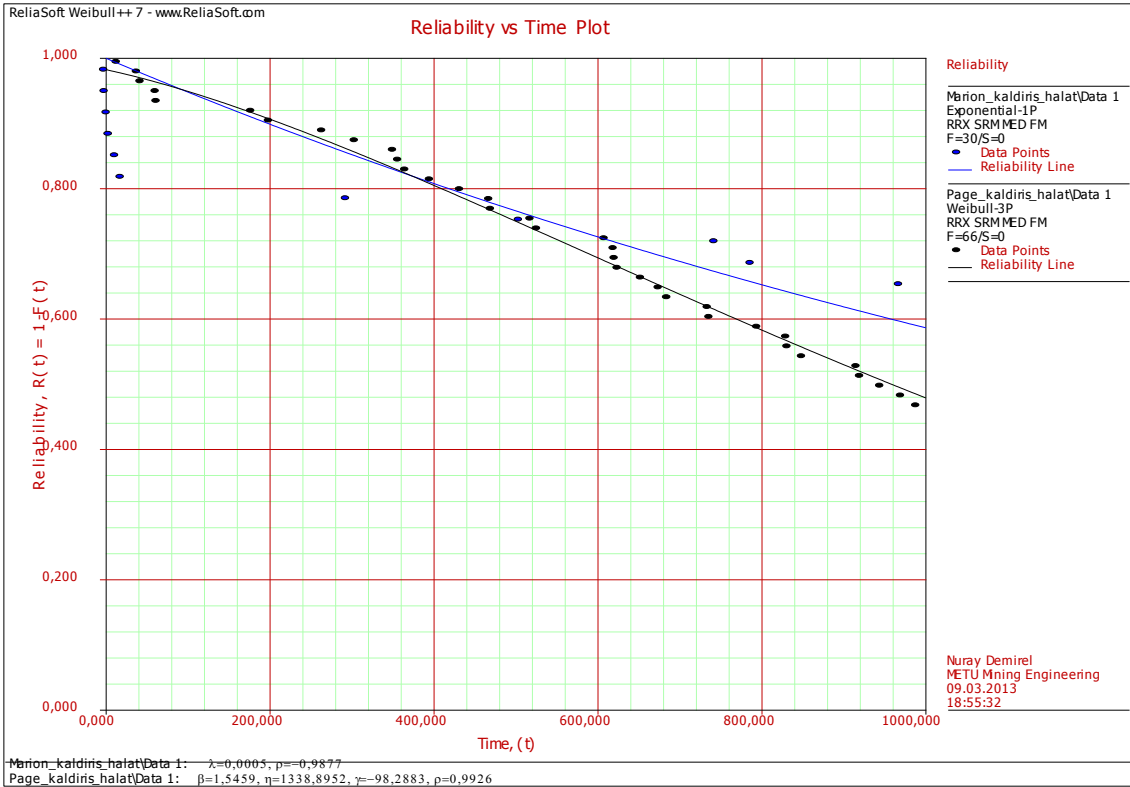
Şekil C1. Çekme kepçeli yerkazırların çekiş ünitesi halat bileşeninin güvenilirliği



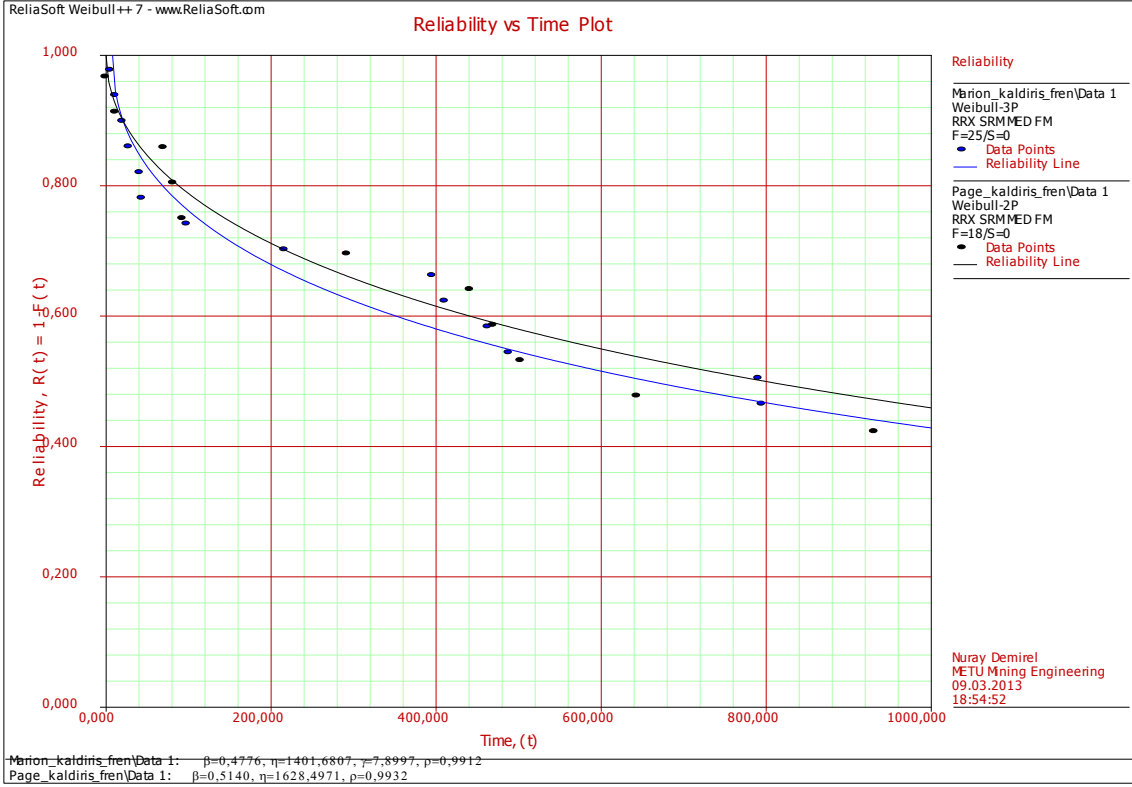
Şekil C2. Çekme kepçeli yerkazırların çekiş ünitesi zincir bileşeninin güvenilirliği



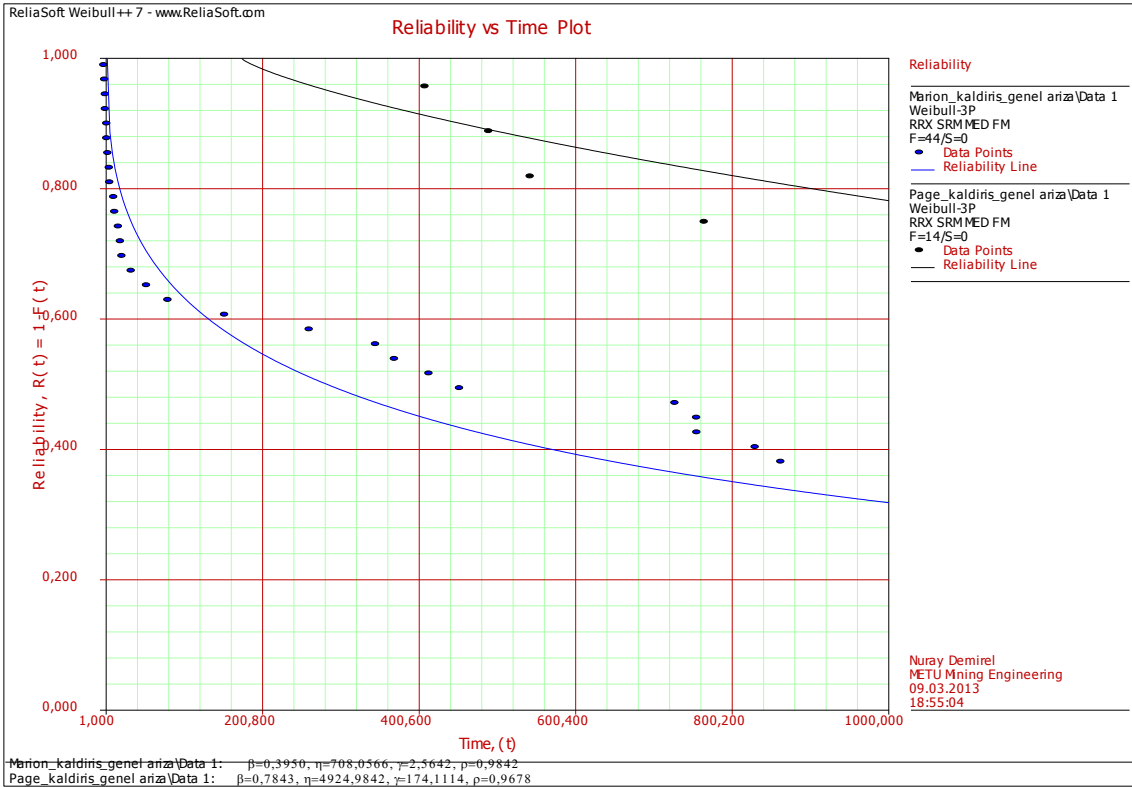
Şekil C3. Çekme kepçeli yerkazırların çekiş ünitesi kontrol bileşeninin güvenilirliği



Şekil C4. Çekme kepçeli yerkazırların kaldırış ünitesi halat bileşeninin güvenilirliği



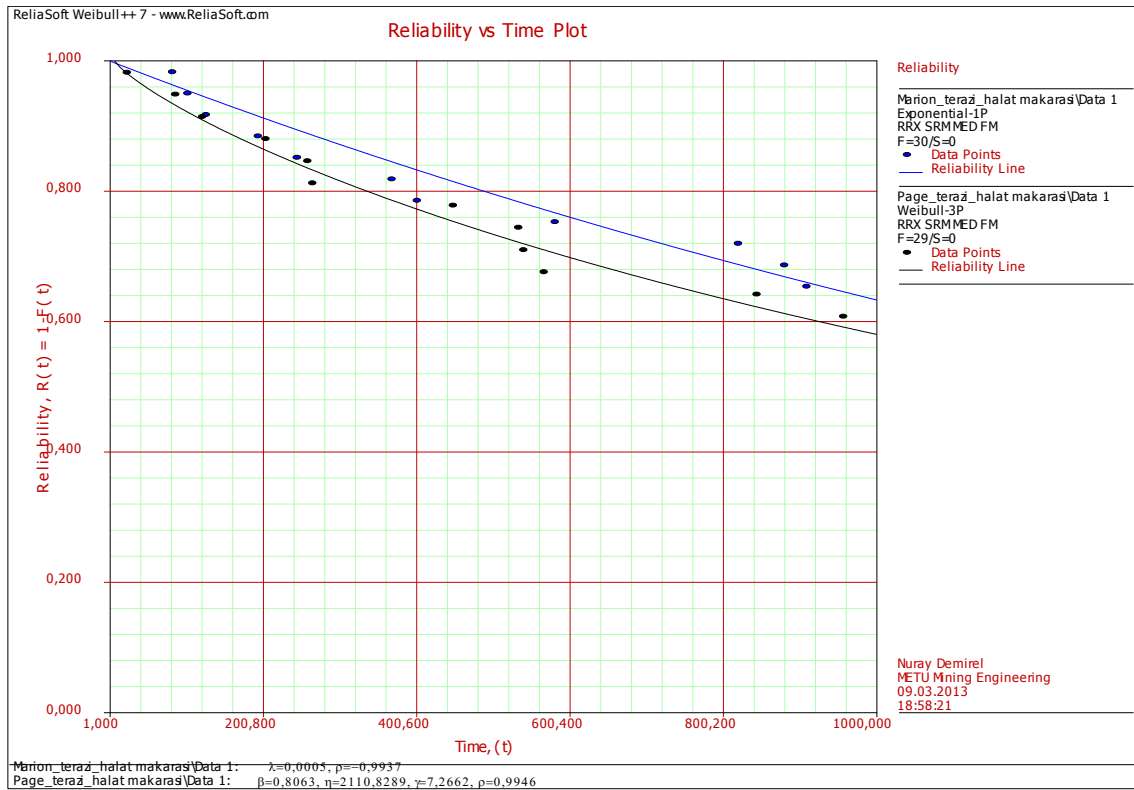
Şekil C5. Çekme kepçeli yerkazırların kaldırış ünitesi fren bileşeninin güvenilirliği



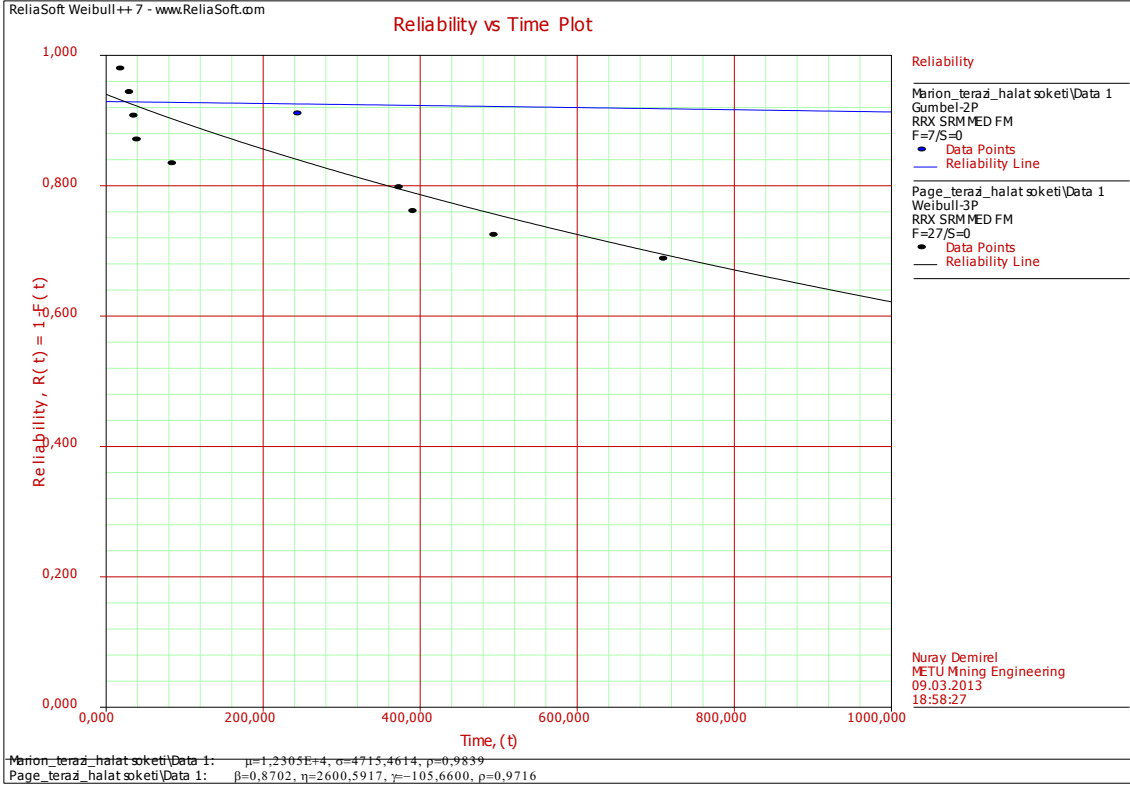
Şekil C6. Çekme kepçeli yerkazırların kaldırış ünitesi genel arıza bileşeninin güvenilirliği



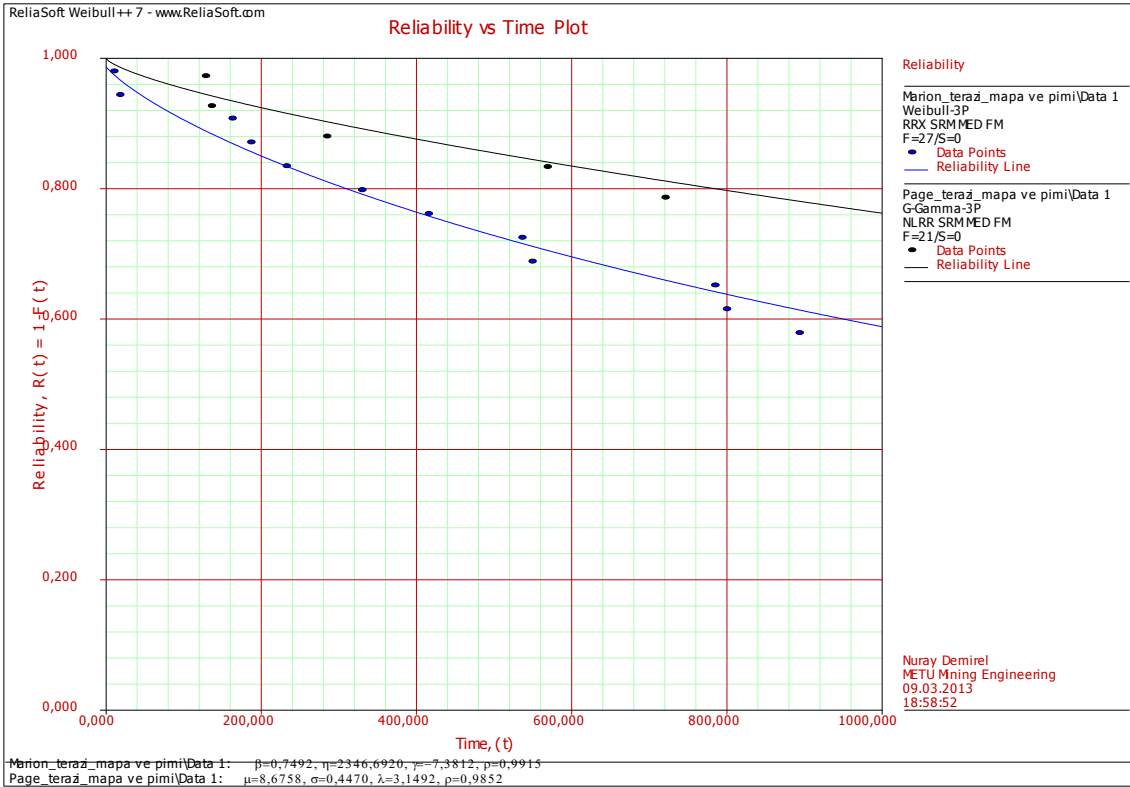
Şekil C7. Çekme kepçeli yer kazarların terazi ünitesi halat bileşeninin güvenilirliği



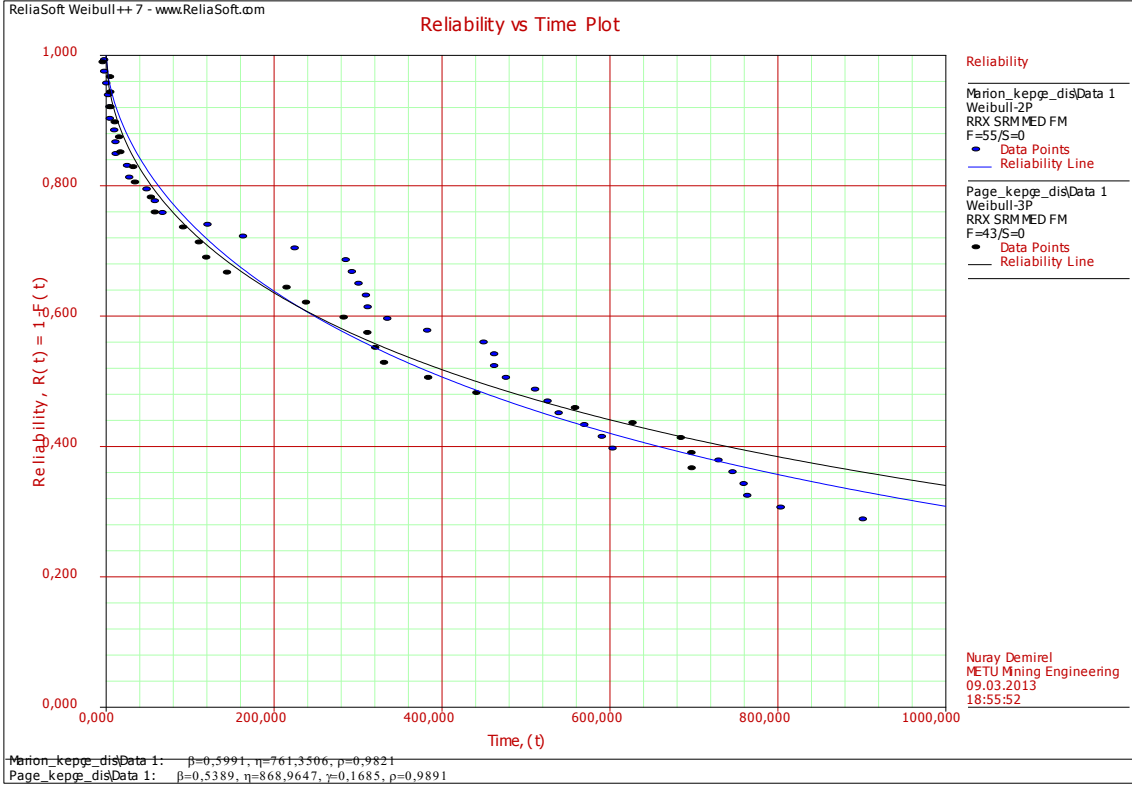
Şekil C8. Çekme kepçeli yer kazarların terazi ünitesi halat makarası bileşeninin güvenilirliği



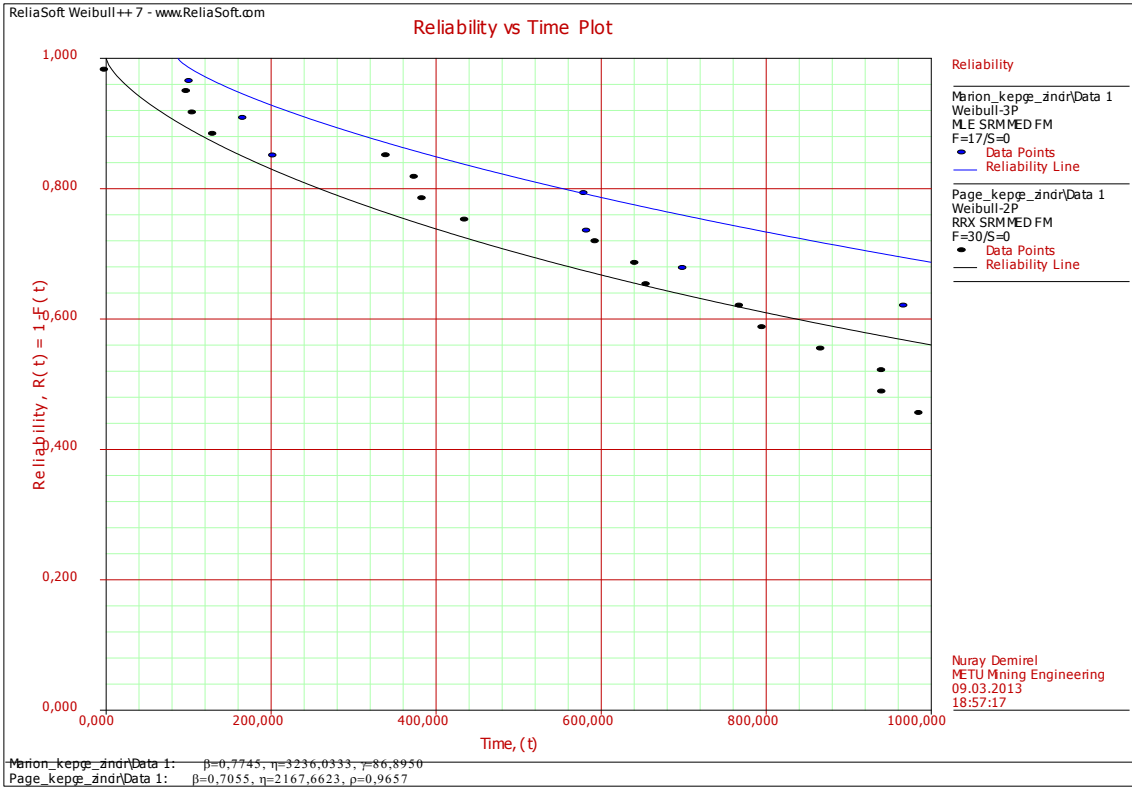
Şekil C9. Çekme kepçeli yekazarların terazi ünitesi halat soketi bileşeninin güvenilirliği



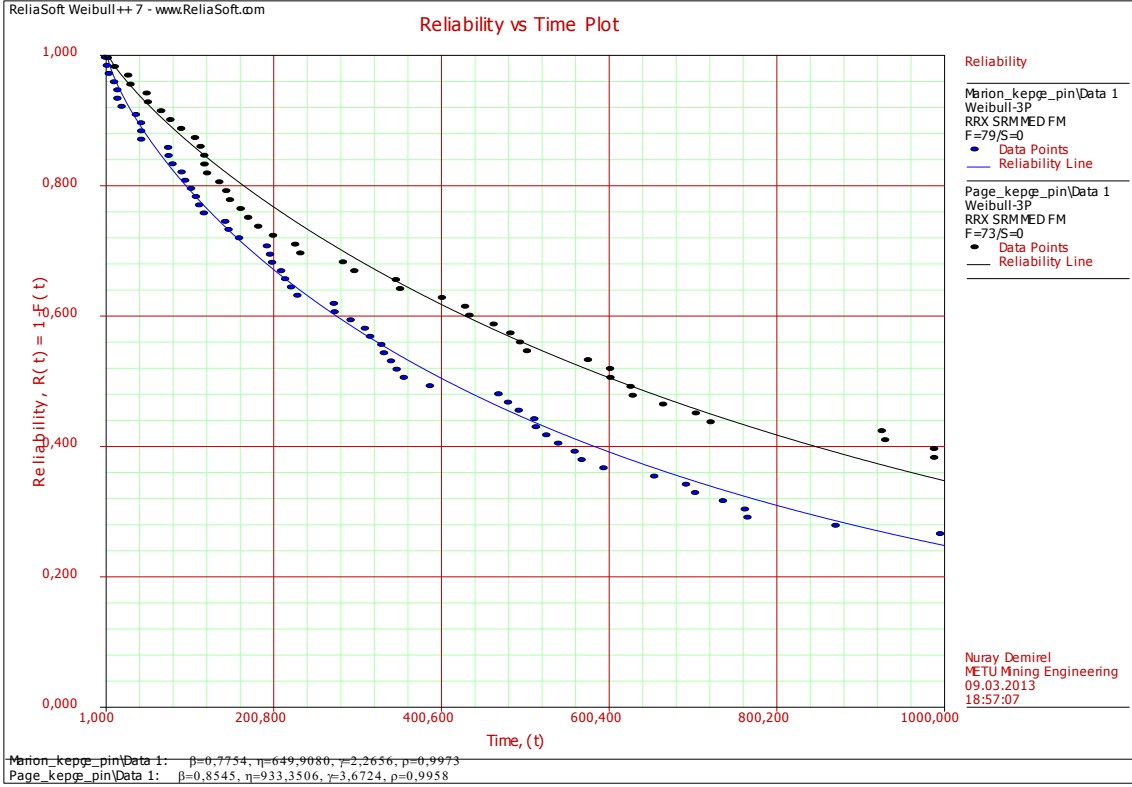
Şekil C10. Çekme kepçeli yekazarların terazi ünitesi mapa ve pimi bileşeninin güvenilirliği



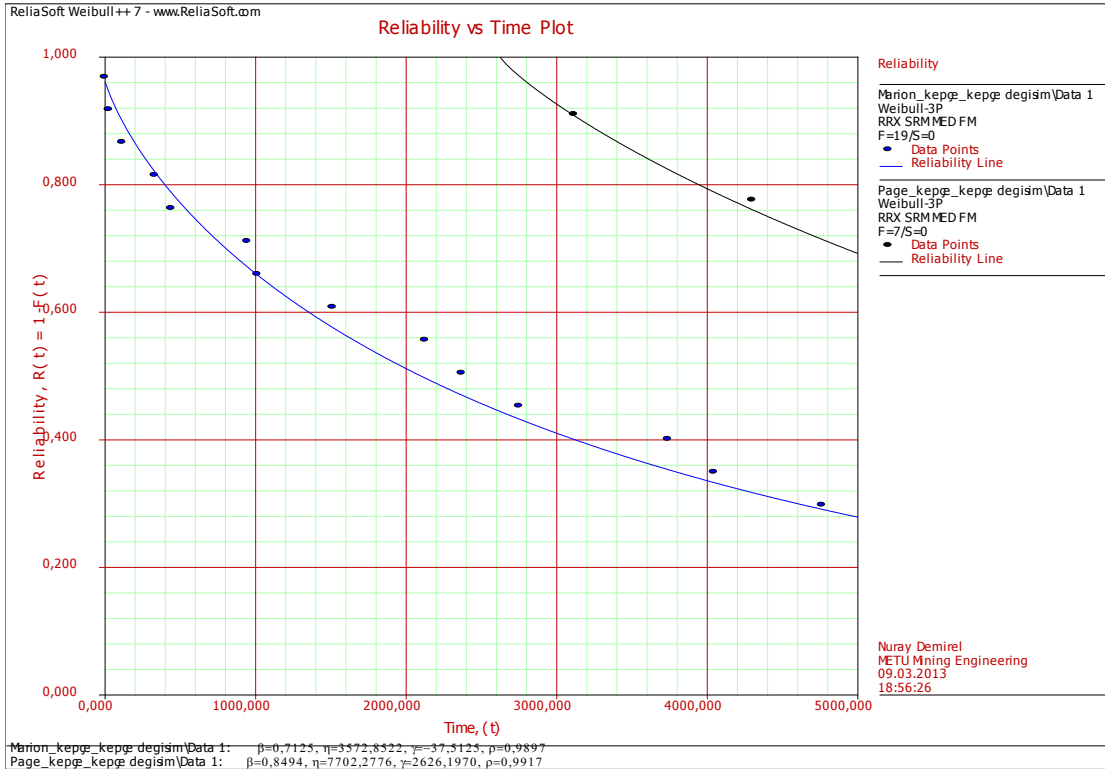
Şekil C11. Çekme kepçeli yerkazıların kepçe ünitesi dış bileşeninin güvenilirliği



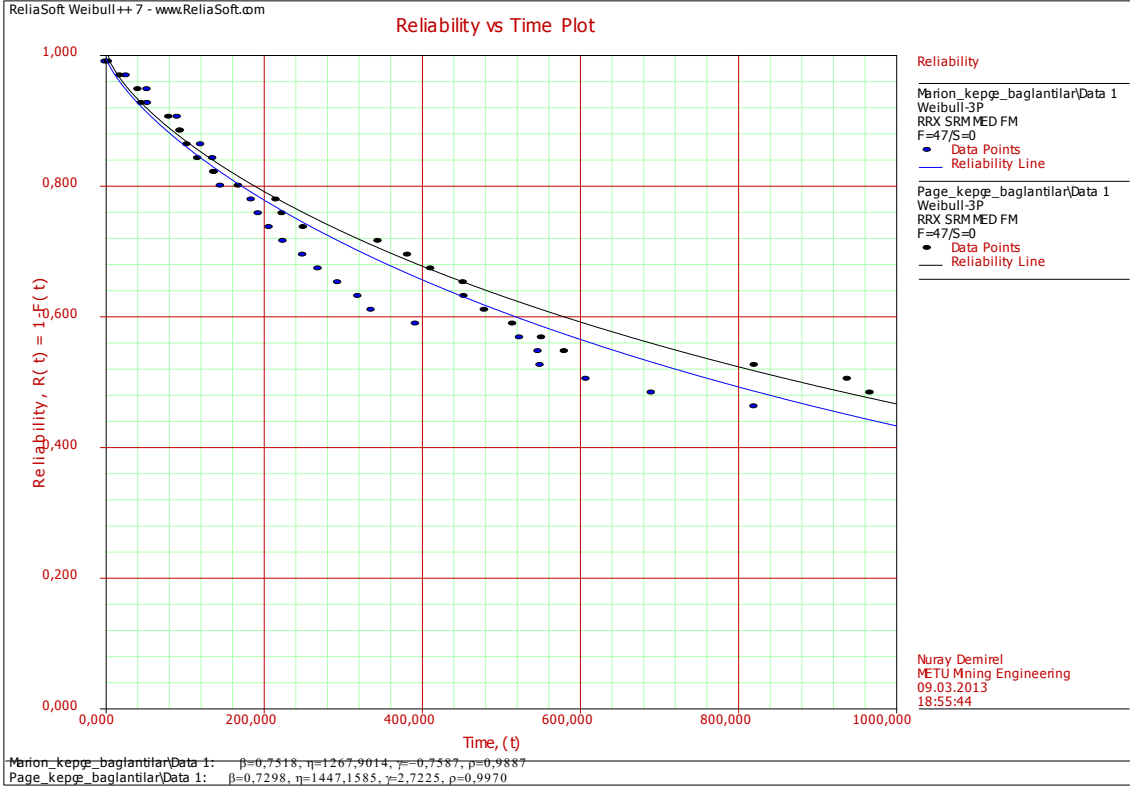
Şekil C12. Çekme kepçeli yerkazıların kepçe ünitesi zincir bileşeninin güvenilirliği



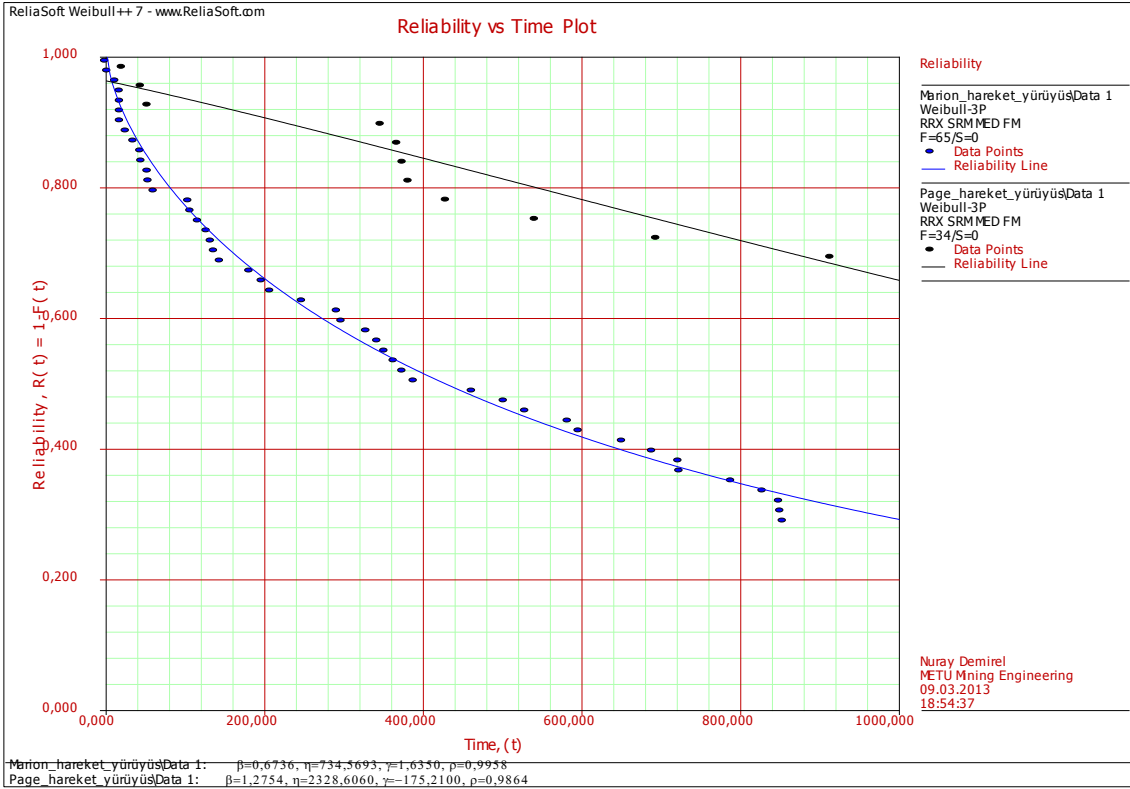
Şekil C13. Çekme kepçeli yerkazırların kepçe ünitesi pin bileşeninin güvenilirliği



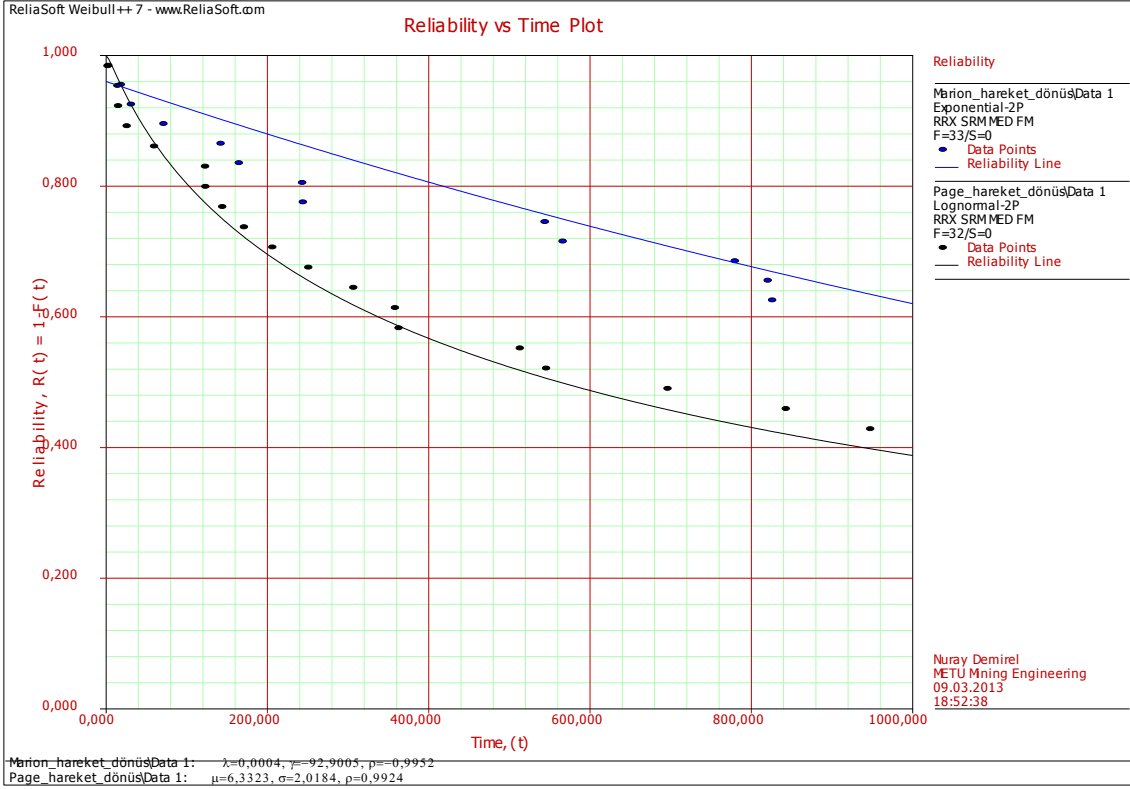
Şekil C14. Çekme kepçeli yerkazırların kepçe ünitesi ana kepçe gövdesi bileşeninin güvenilirliği



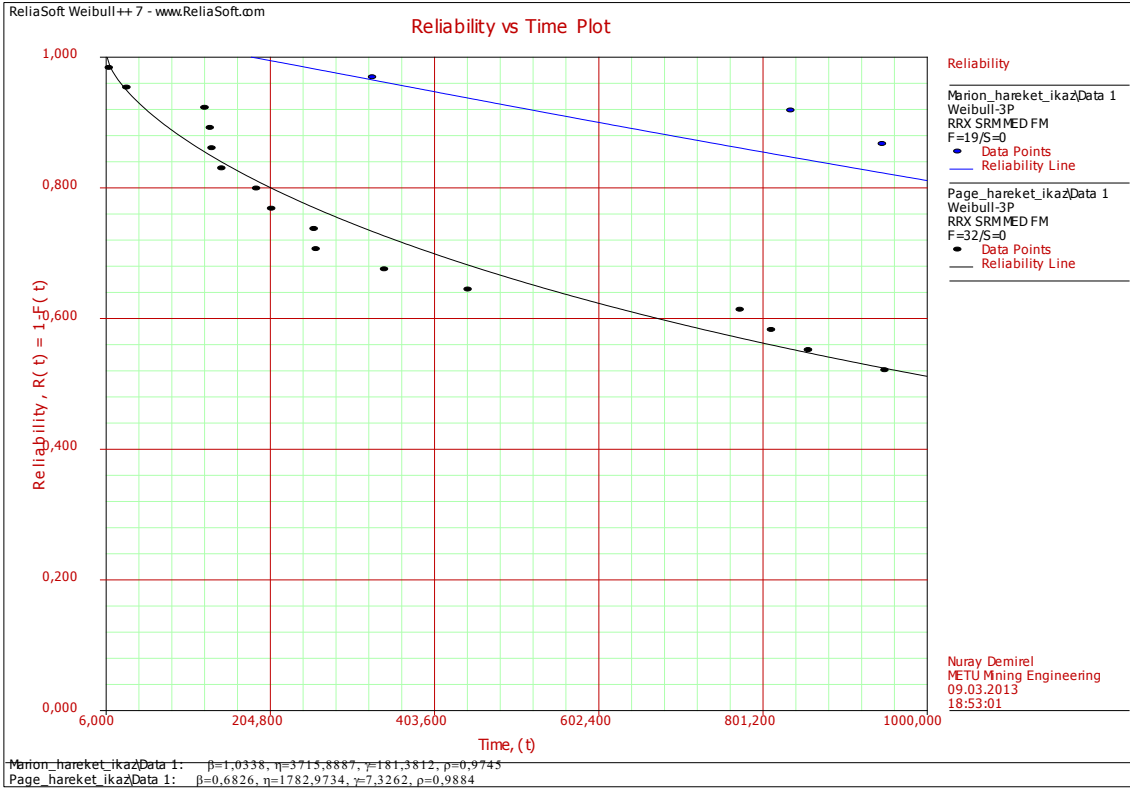
Şekil C15. Çekme kepçeli yerkazarların kepçe ünitesi bağlantı bileşeninin güvenilirliği



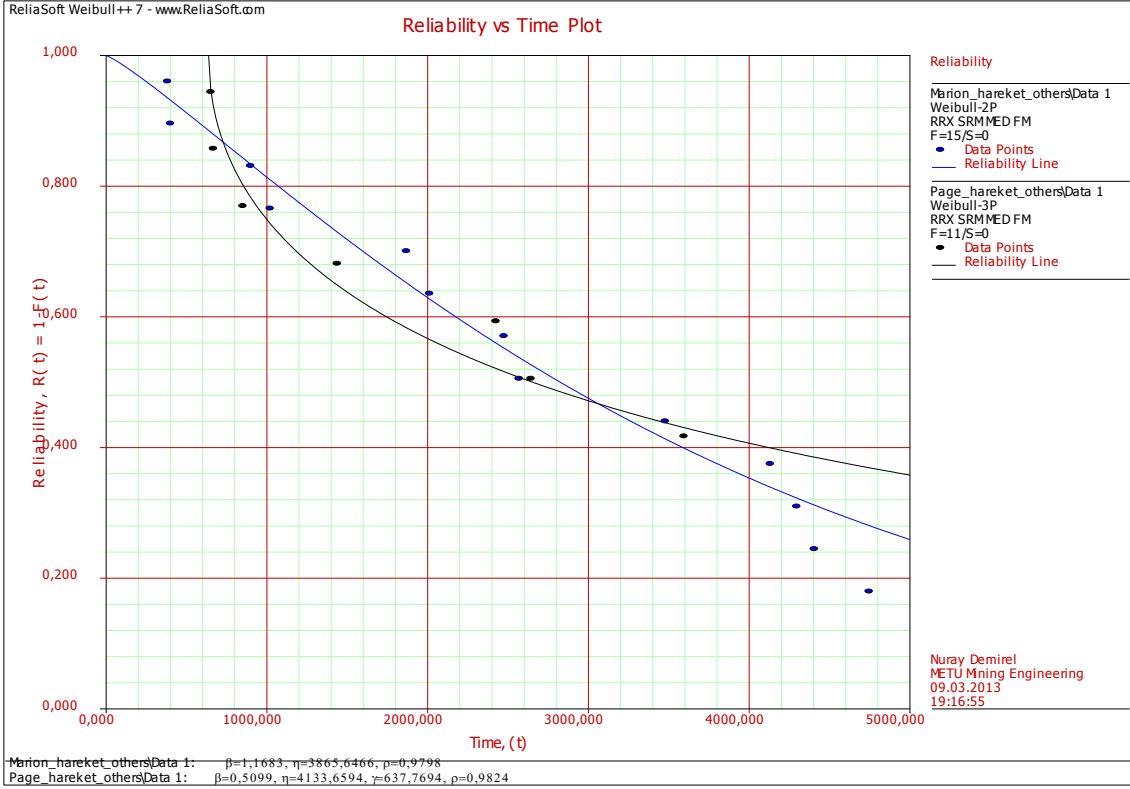
Şekil C16. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi yürüyüş bileşeninin güvenilirliği



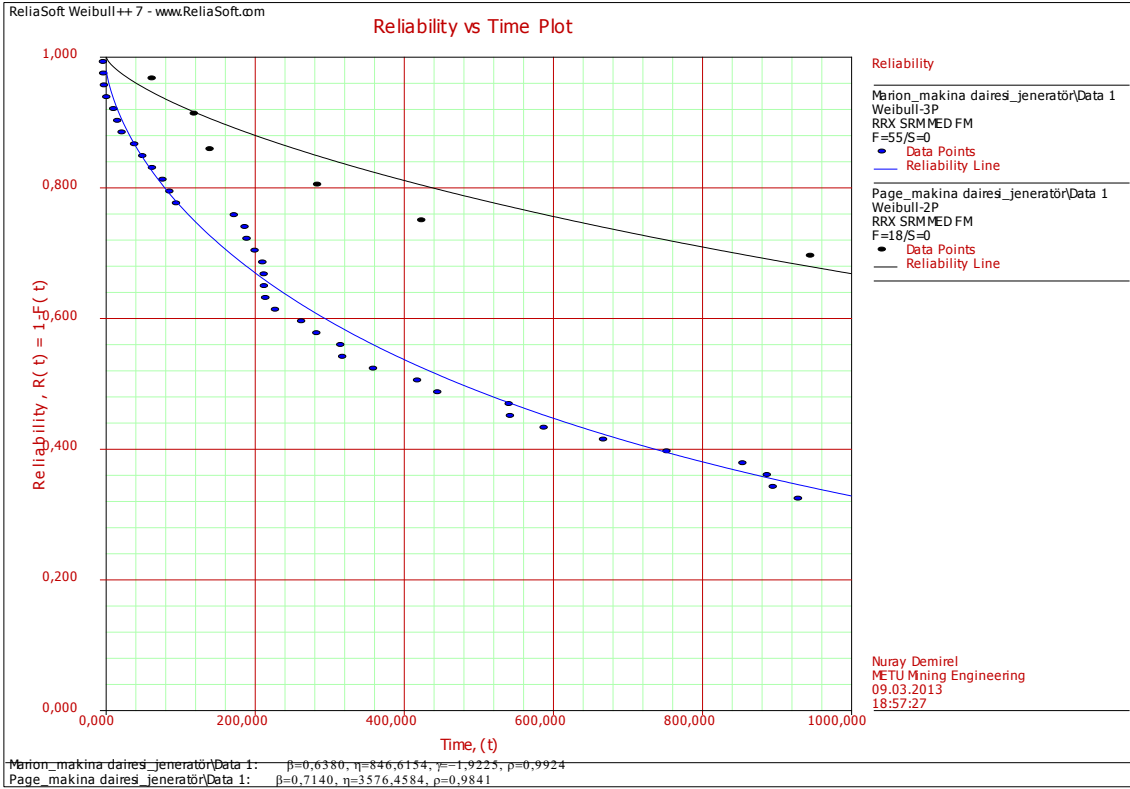
Şekil C17. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi dönüş bileşeninin güvenilirliği



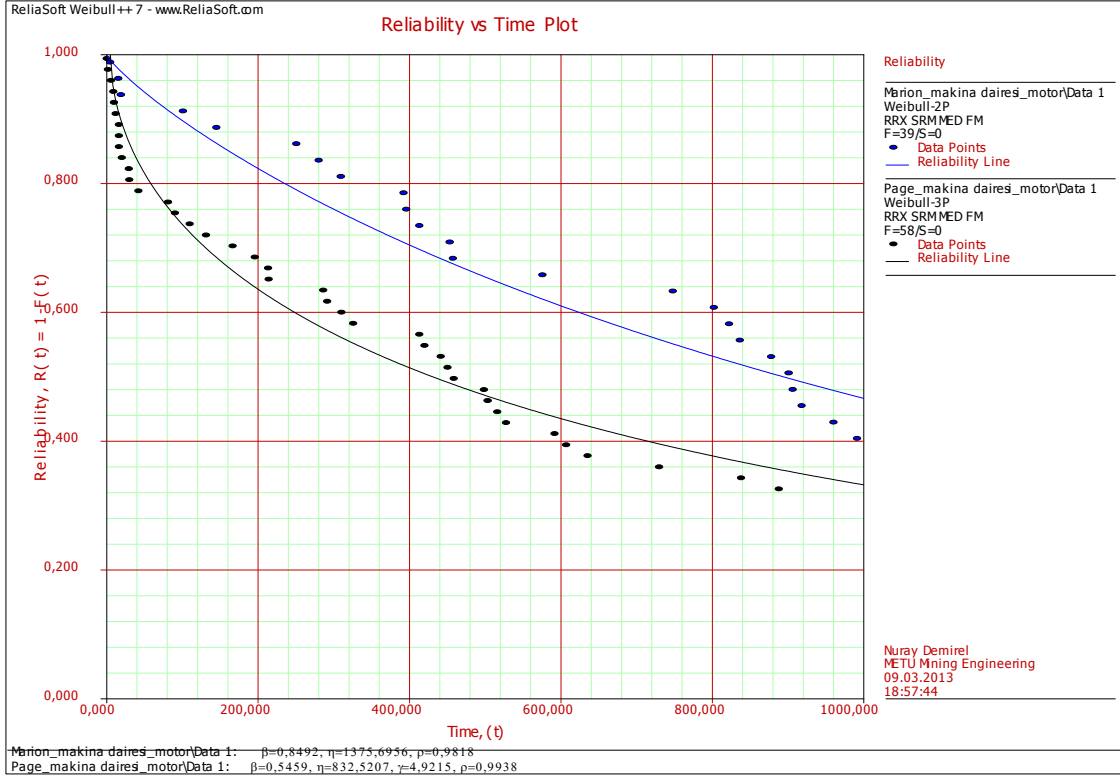
Şekil C18. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi ikaz bileşeninin güvenilirliği



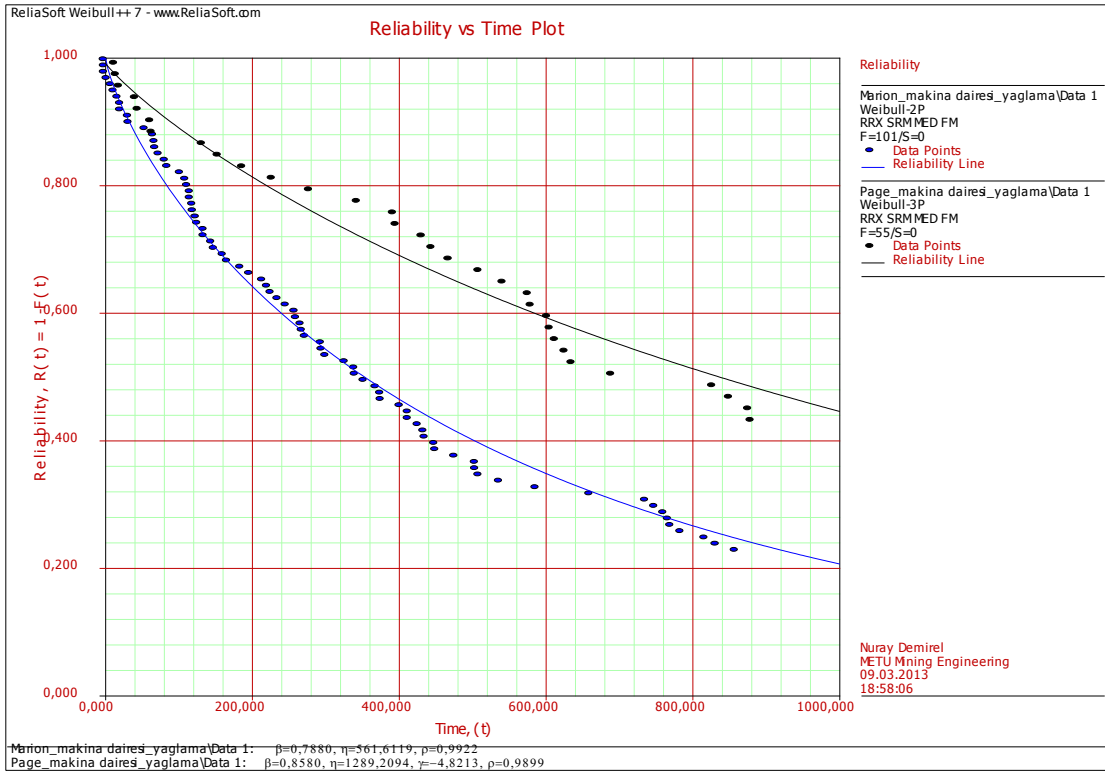
Şekil C19. Çekme kepçeli yerkazarların hareket ünitesi diğer arızalar bileşeninin güvenilirliği



Şekil C20. Çekme kepçeli yerkazarların makine dairesi jeneratör bileşeninin güvenilirliği



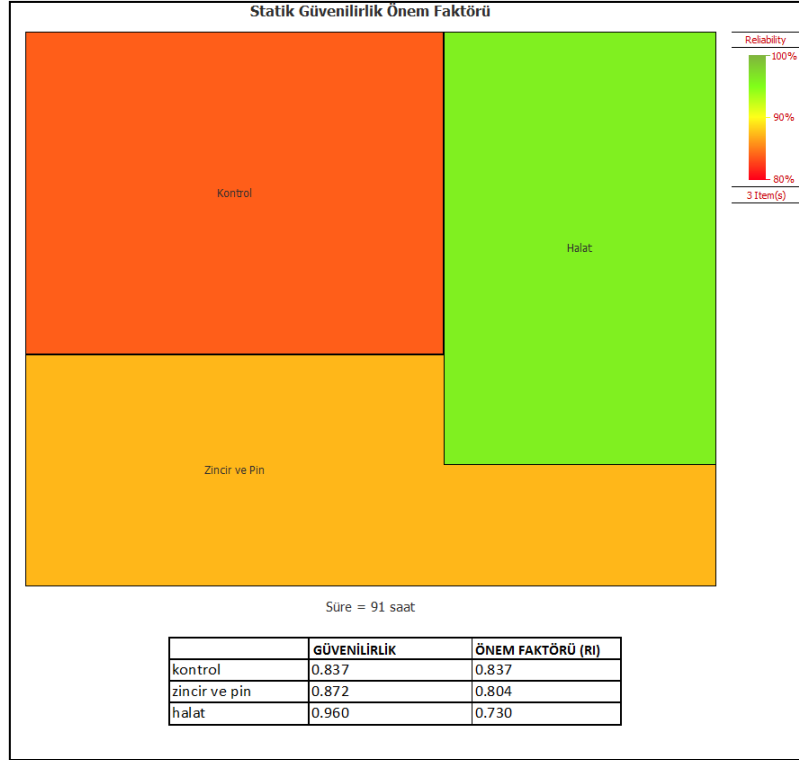
Şekil C21. Çekme kepçeli yerkarzuların makine dairesi motor bileşeninin güvenilirliği



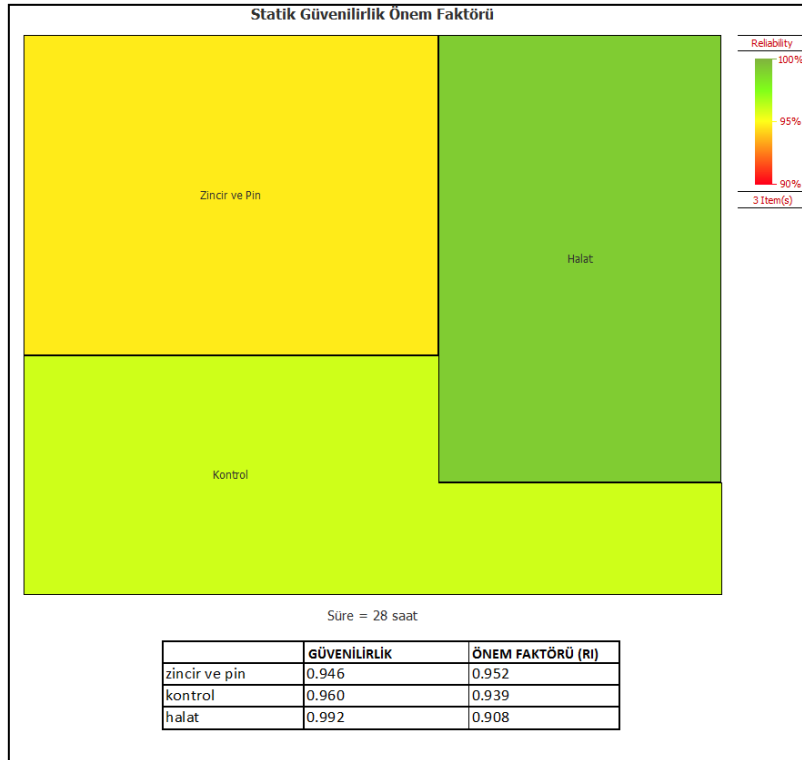
Şekil C22. Çekme kepçeli yerkarzuların makine dairesi yağlama bileşeninin güvenilirliği

EK-D

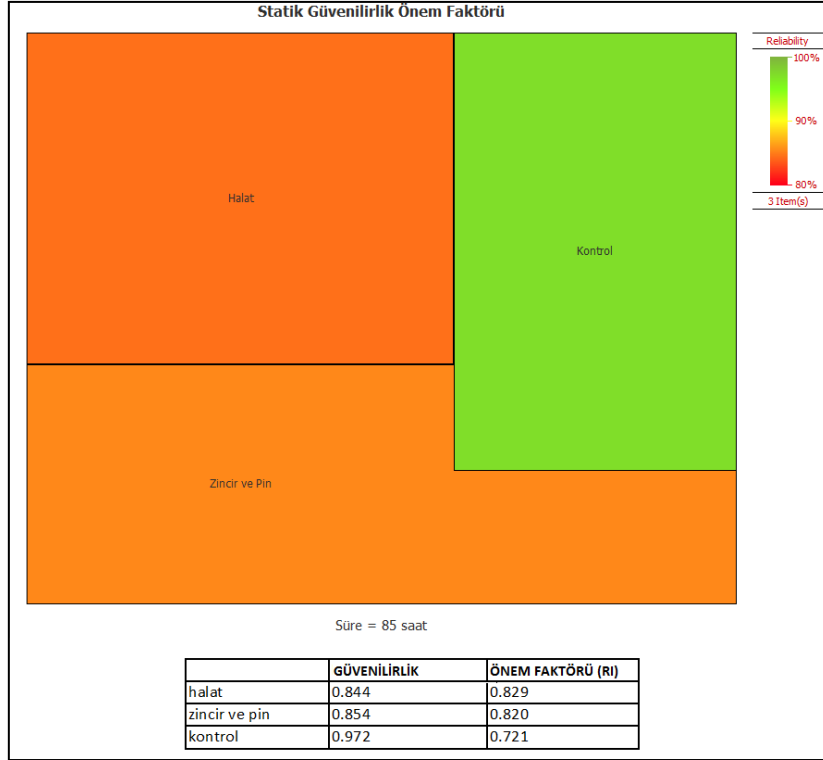
Çekme Kepçeli Yerkazarların Farklı Güvenilirlik Seviyelerindeki Önem Faktörleri



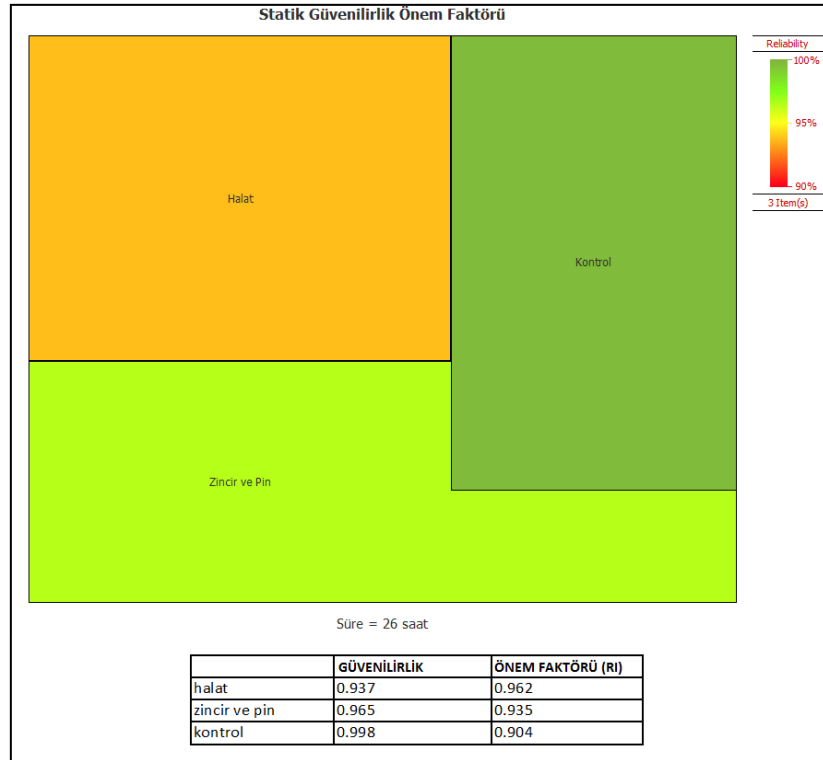
Şekil D1. Marion çekiş ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (91. saat) önem faktörleri



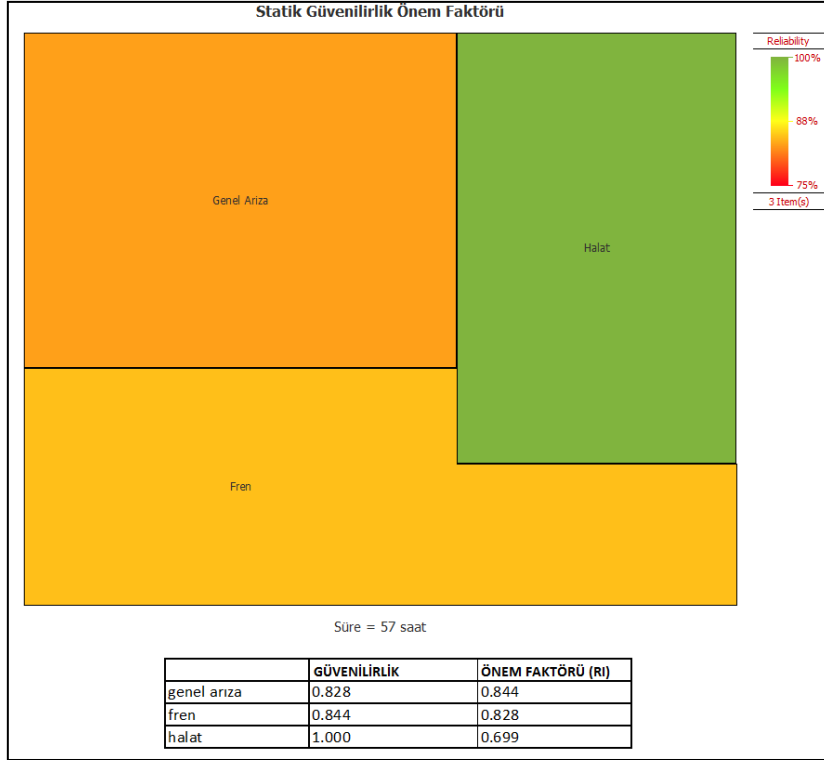
Şekil D2. Marion çekiş ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (28. saat) önem faktörleri



Şekil D3. Page çekiş ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (85. saat) önem faktörleri



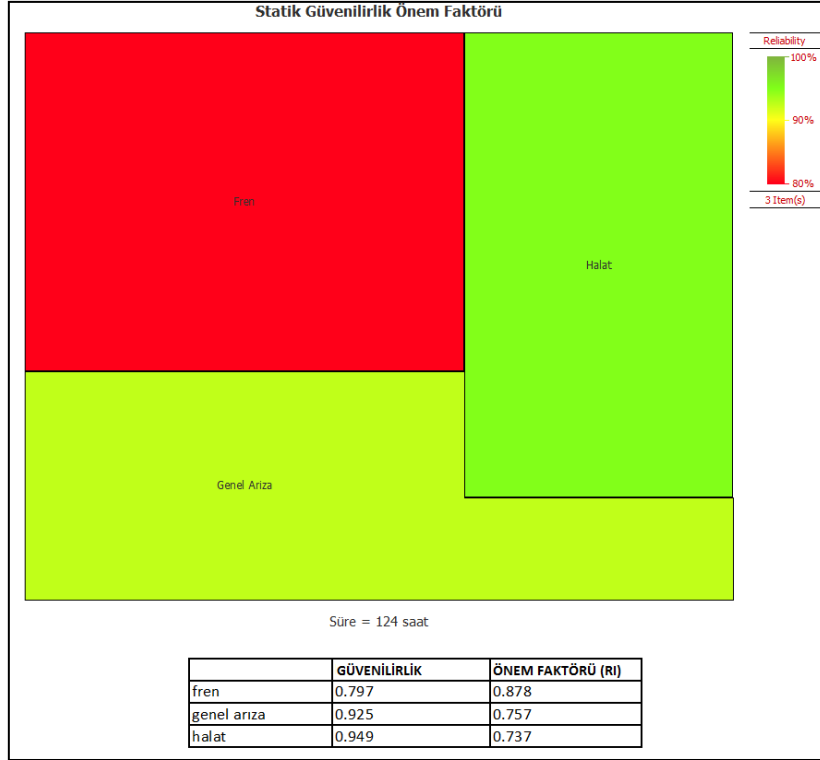
Şekil D4. Page çekiş ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (26. saat) önem faktörleri



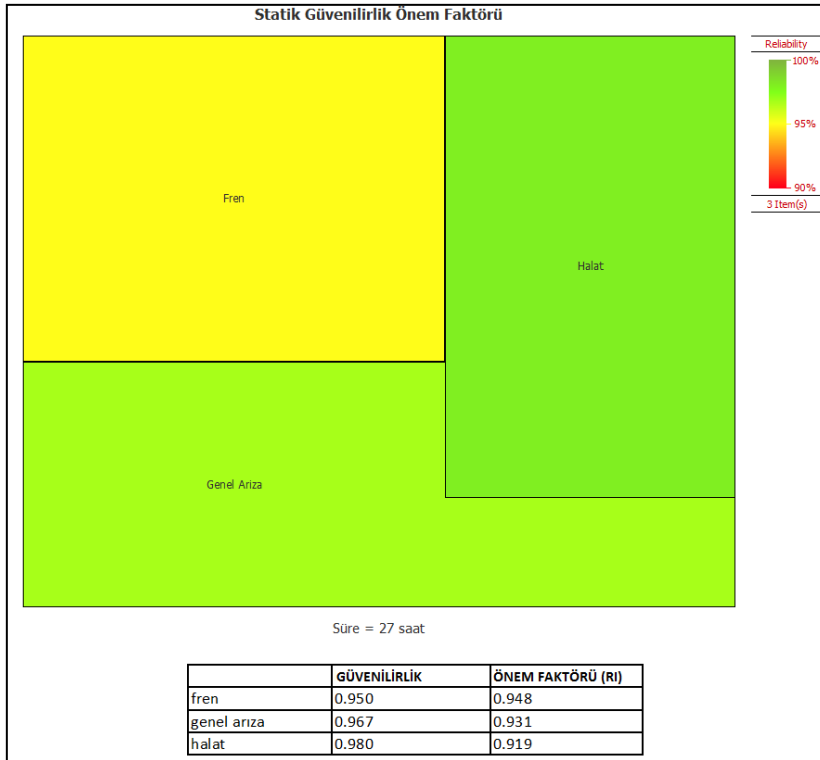
Şekil D5. Marion kaldırış ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (57. saat) önem faktörleri



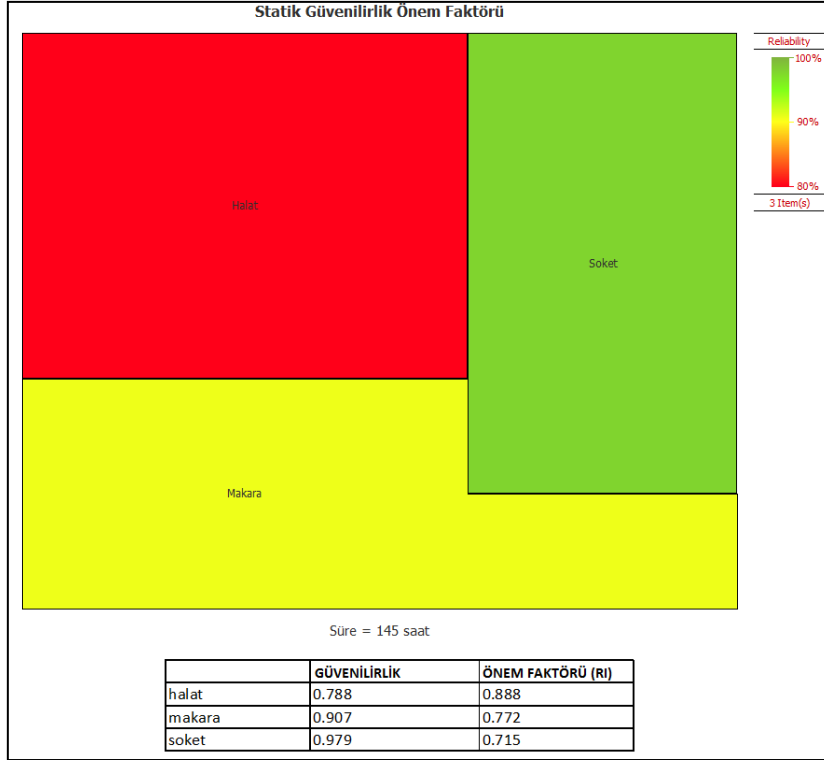
Şekil D6. Marion kaldırış ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (13. saat) önem faktörleri



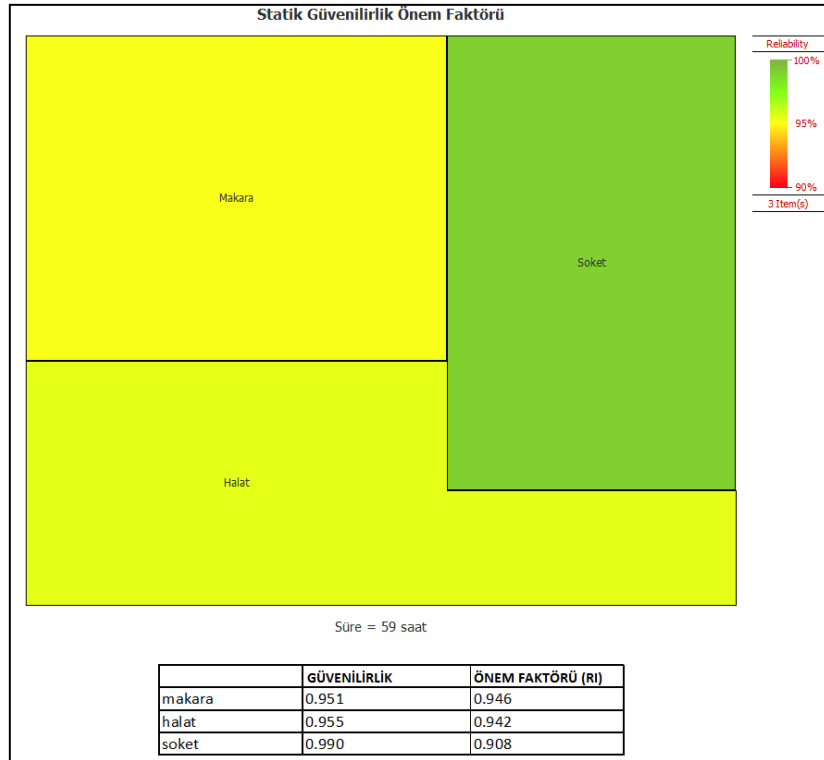
Şekil D7. Page kaldırış ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (124. saat) önem faktörleri



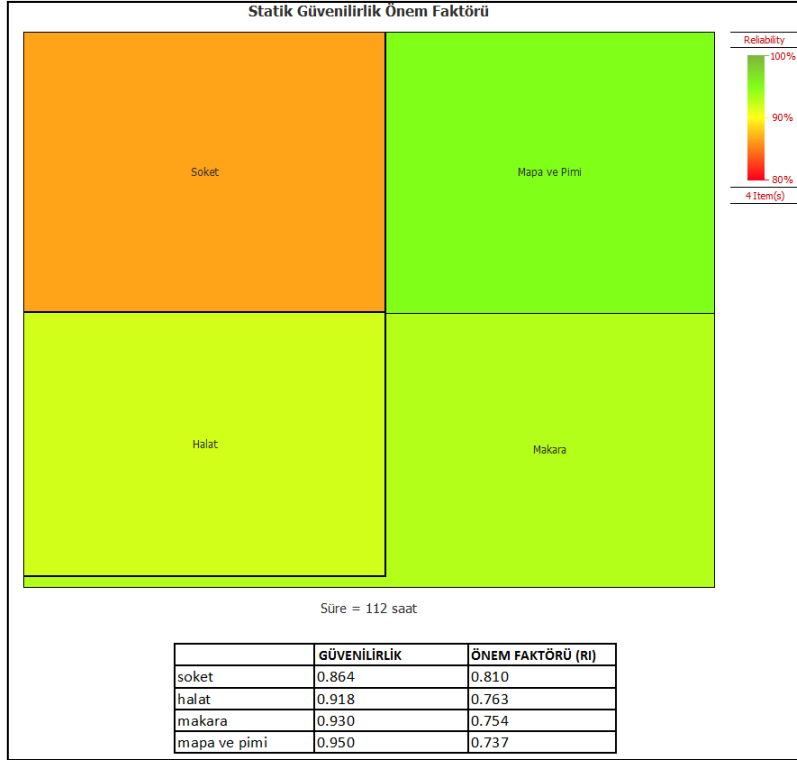
Şekil D8. Page kaldırış ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (27. saat) önem faktörleri



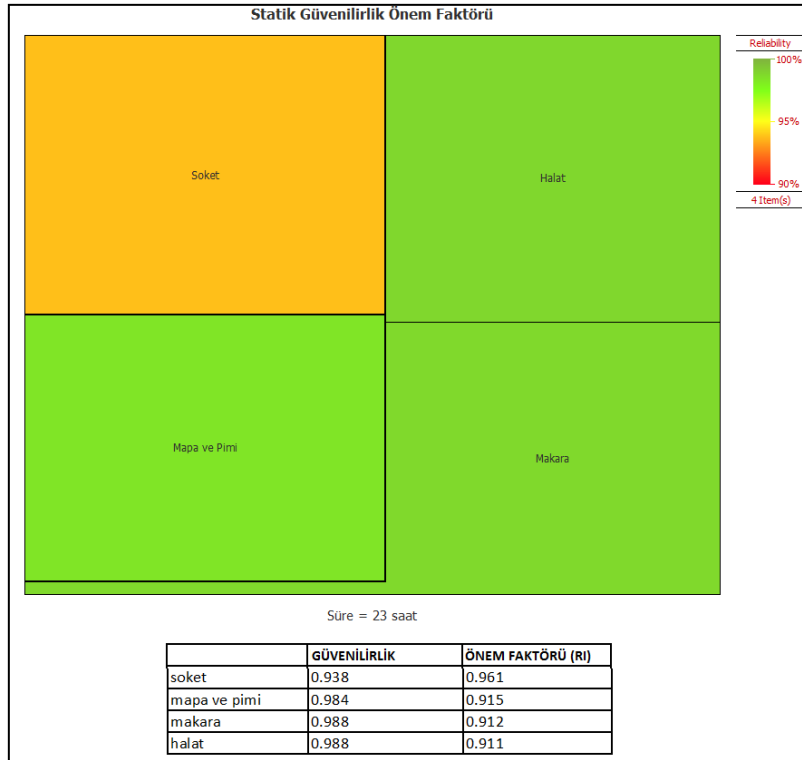
Şekil D9. Marion terazi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (145. saat) önem faktörleri



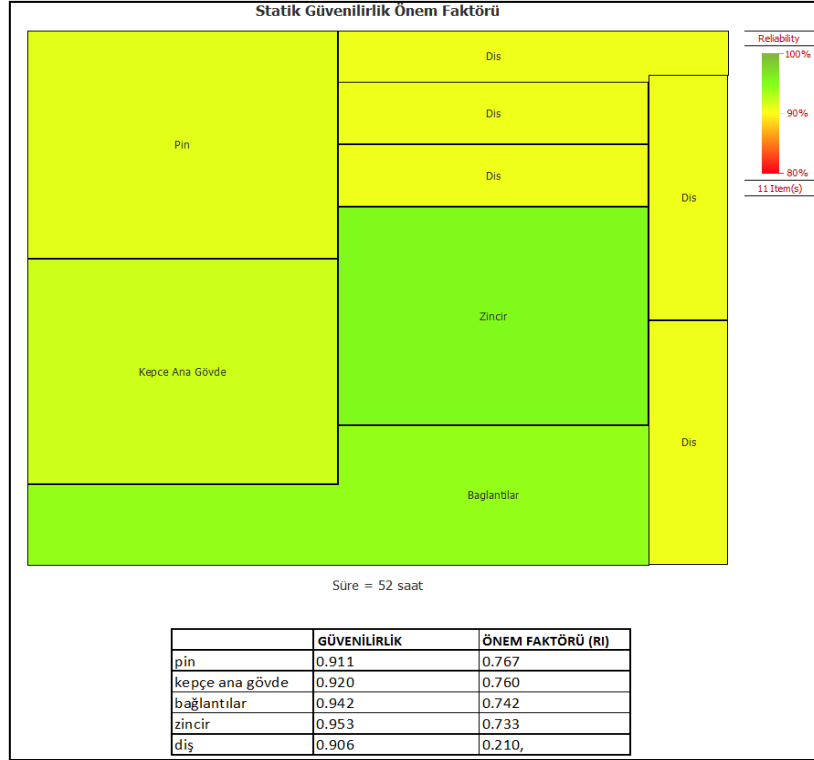
Şekil D10. Marion terazi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (59. saat) önem faktörleri



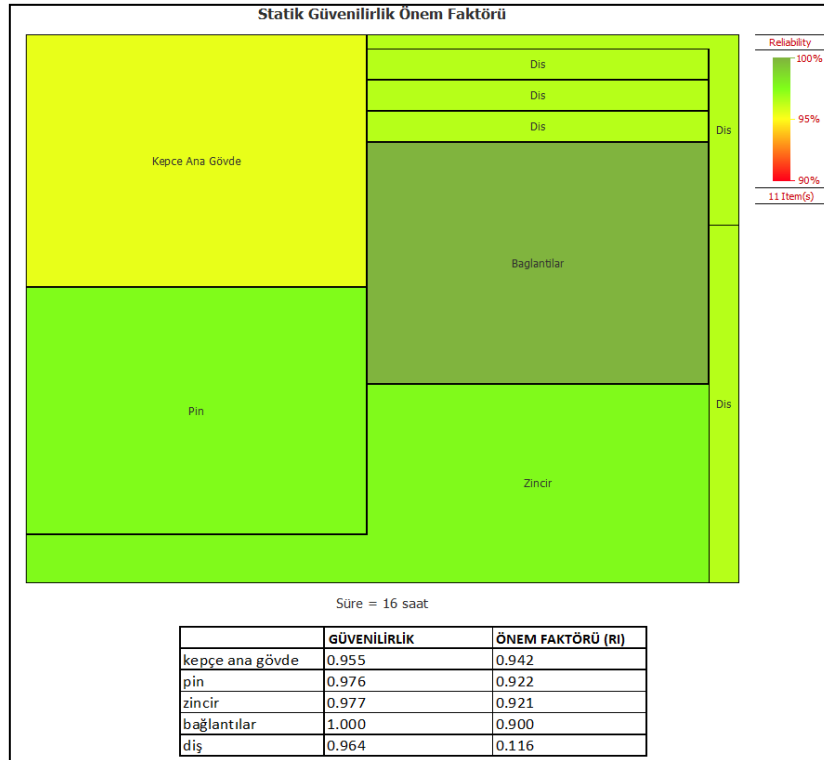
Şekil D11. Page terazi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (112. saat) önem faktörleri



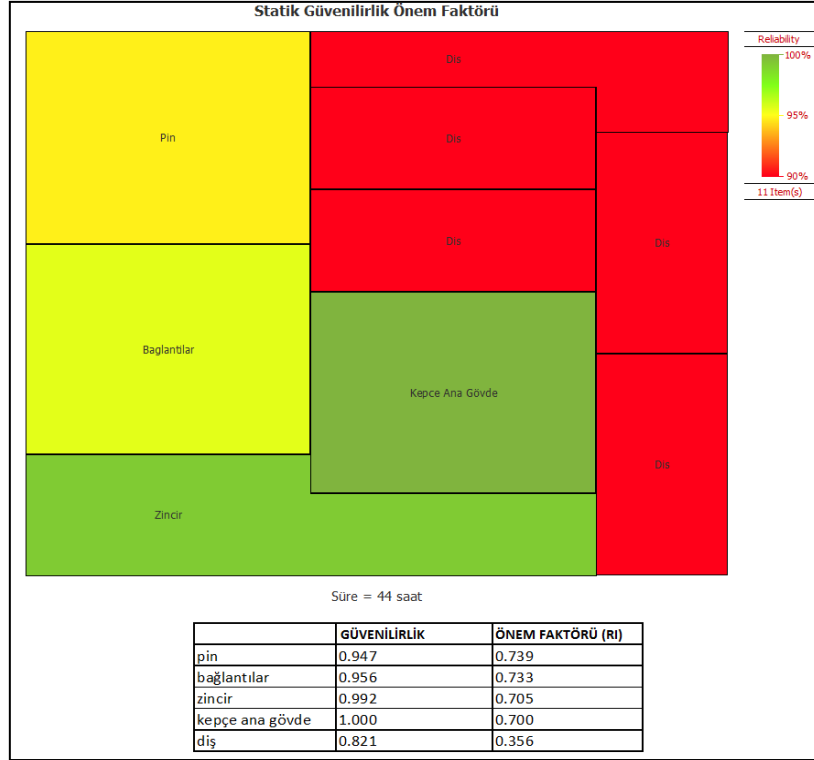
Şekil D12. Page terazi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (23. saat) önem faktörleri



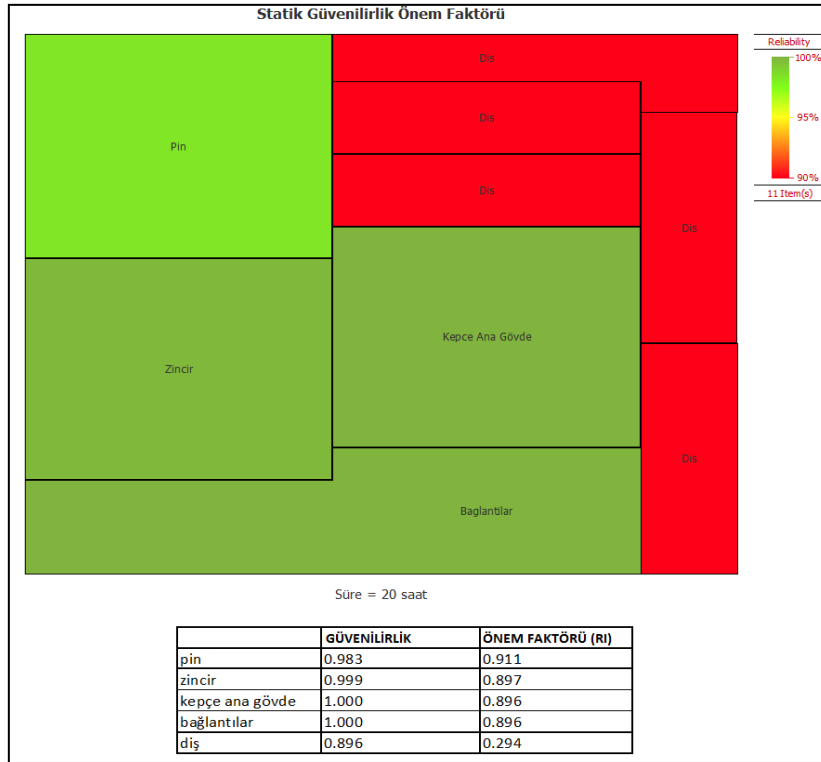
Şekil D13. Marion kepçe ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (52. saat) önem faktörleri



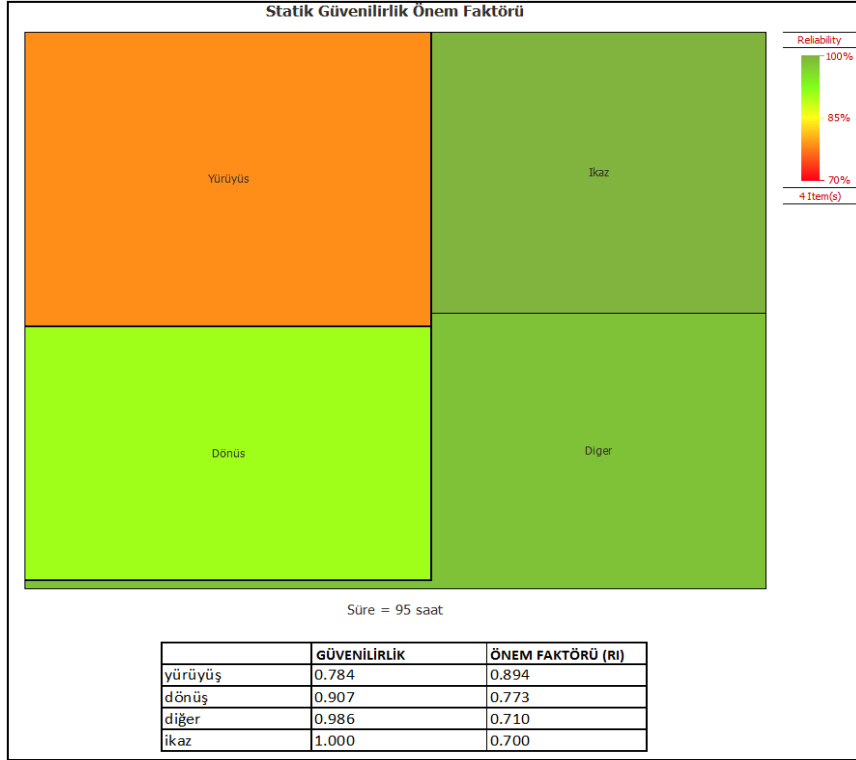
Şekil D14. Marion kepçe ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (16. saat) önem faktörleri



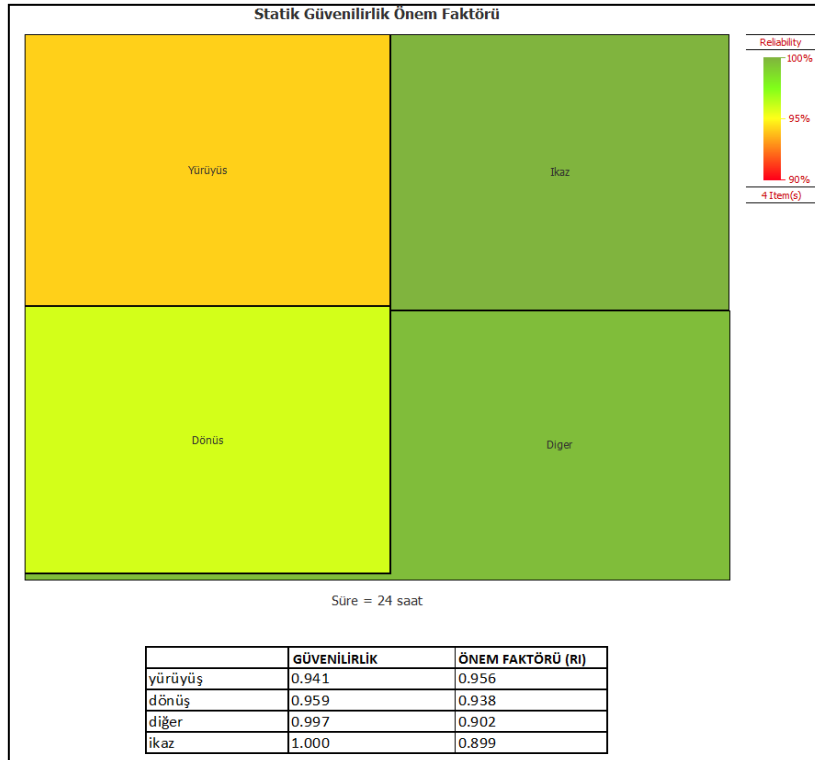
Şekil D15. Page kepçe ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (44. saat) önem faktörleri



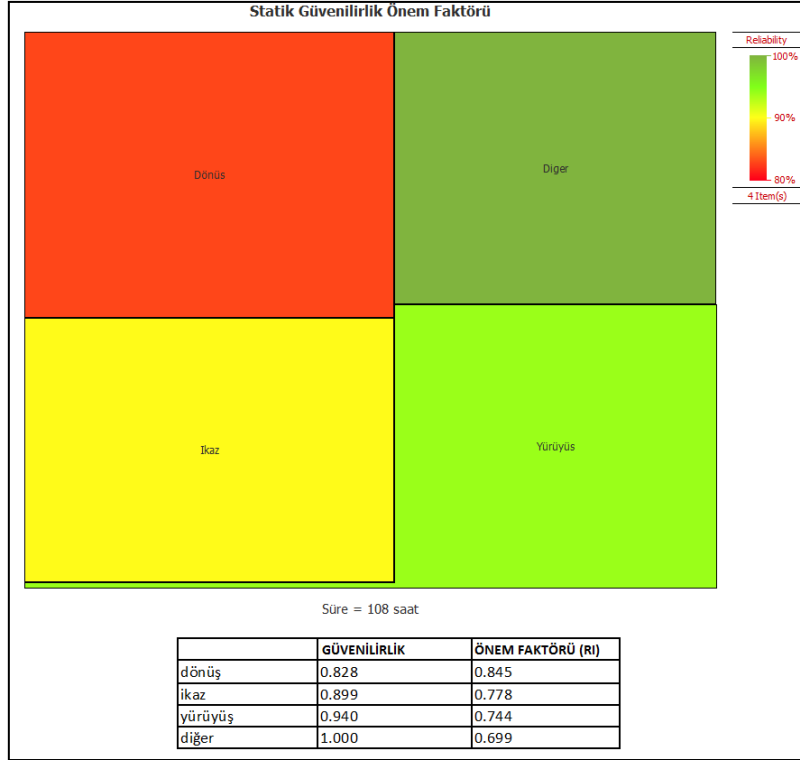
Şekil D16. Page kepçe ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (20. saat) önem faktörleri



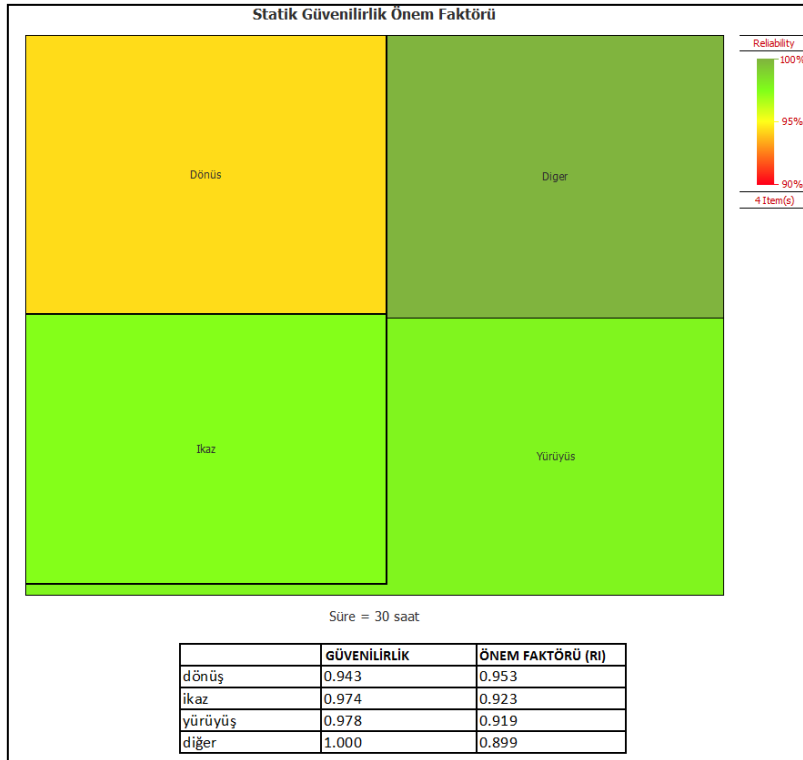
Şekil D17. Marion hareket ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (95. saat) önem faktörleri



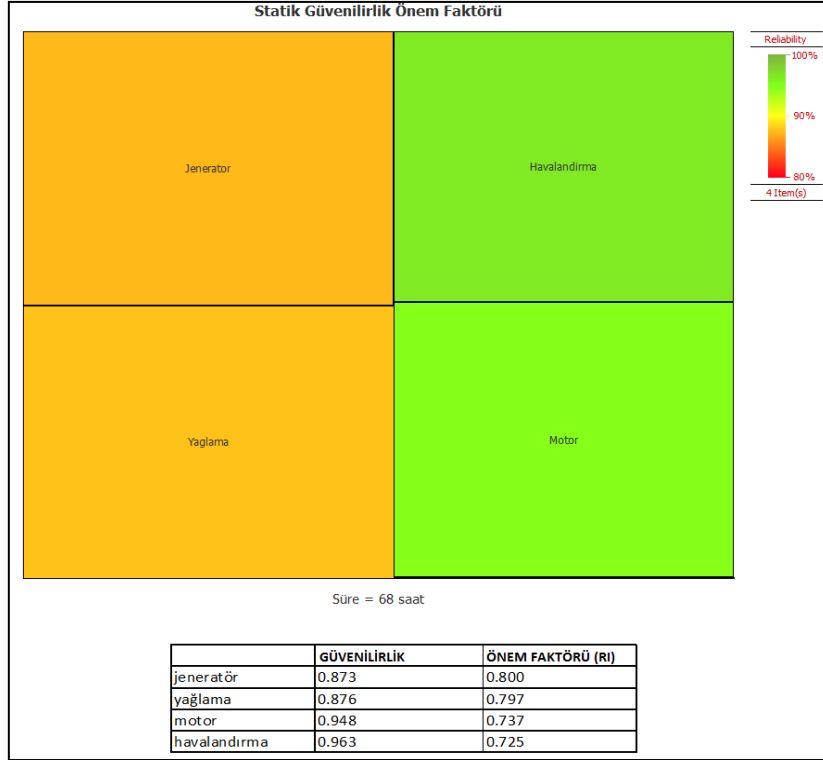
Şekil D18. Marion hareket ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (24. saat) önem faktörleri



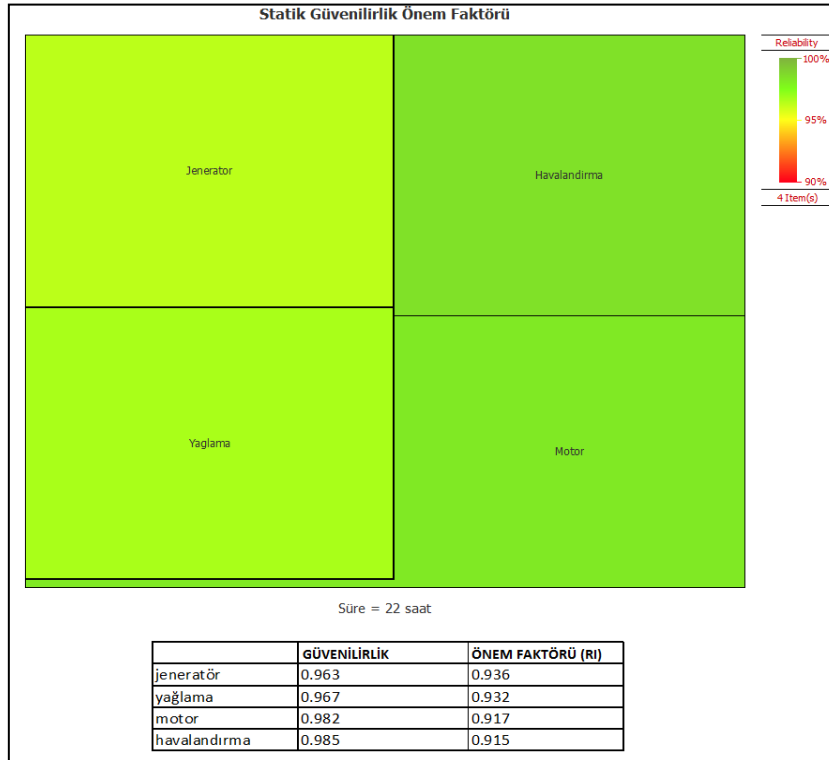
Şekil D19. Page hareket ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (108. saat) önem faktörleri



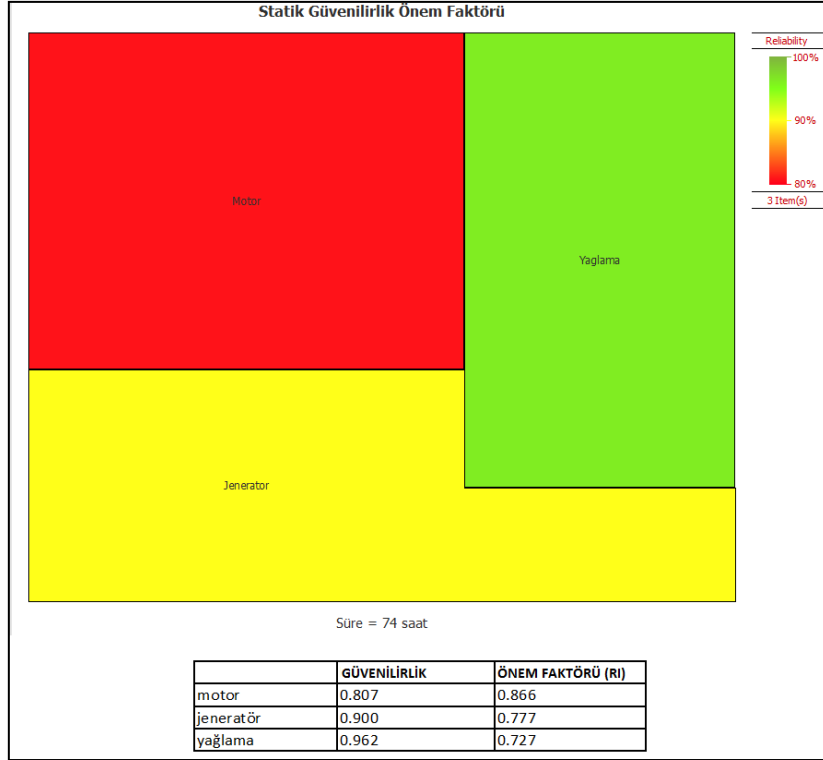
Şekil D20. Page hareket ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (30. saat) önem faktörleri



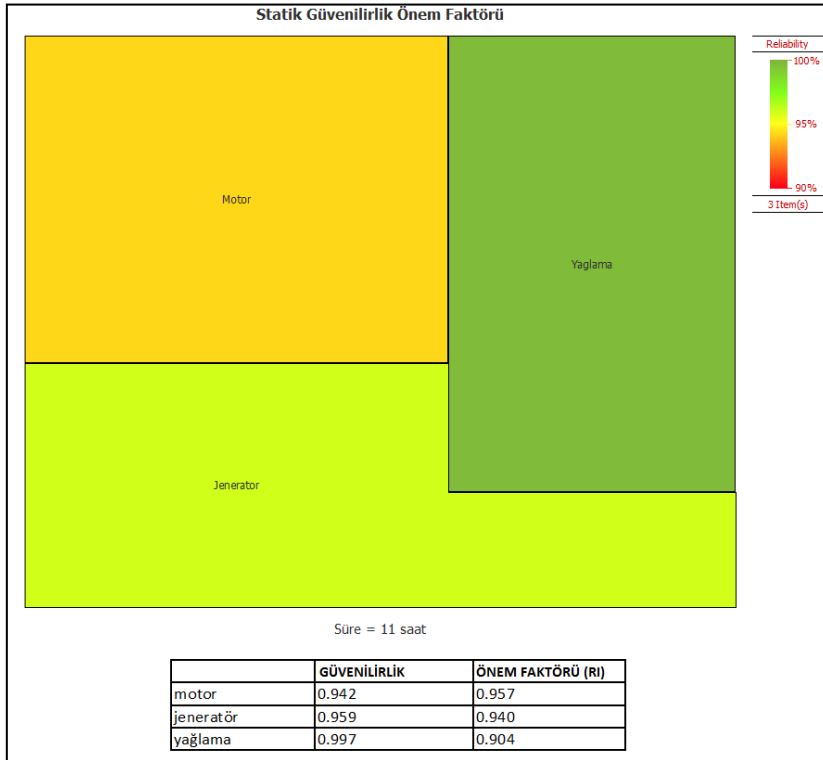
Şekil D21. Marion makine dairesi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (68. saat) önem faktörleri



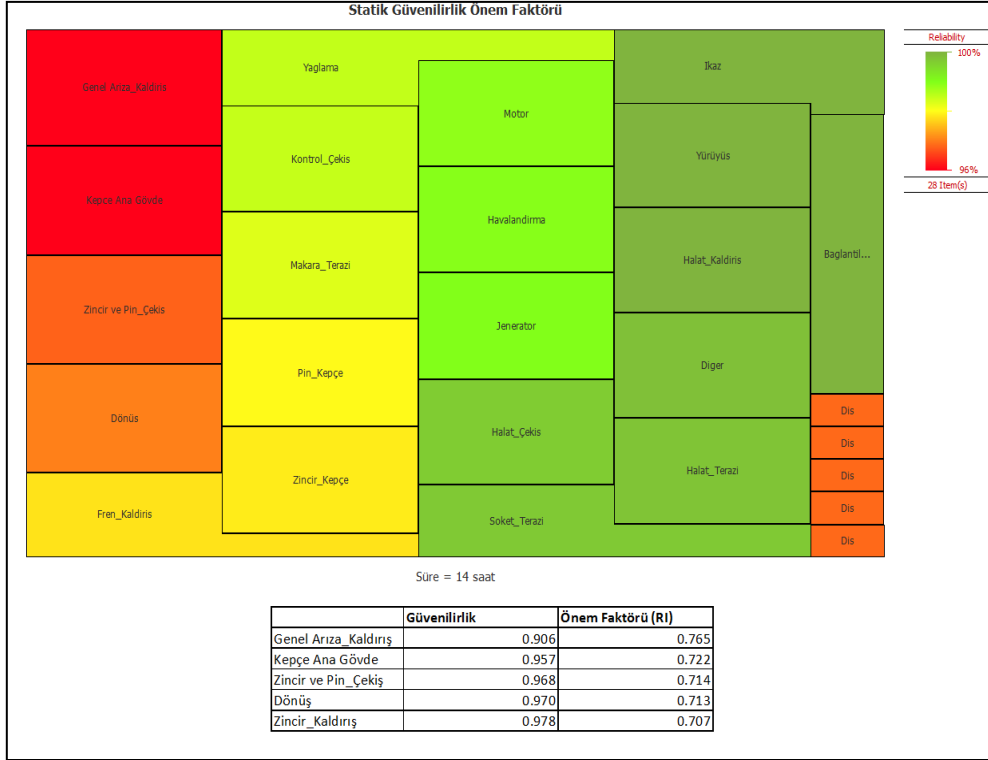
Şekil D22. Marion makine dairesi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (22. saat) önem faktörleri



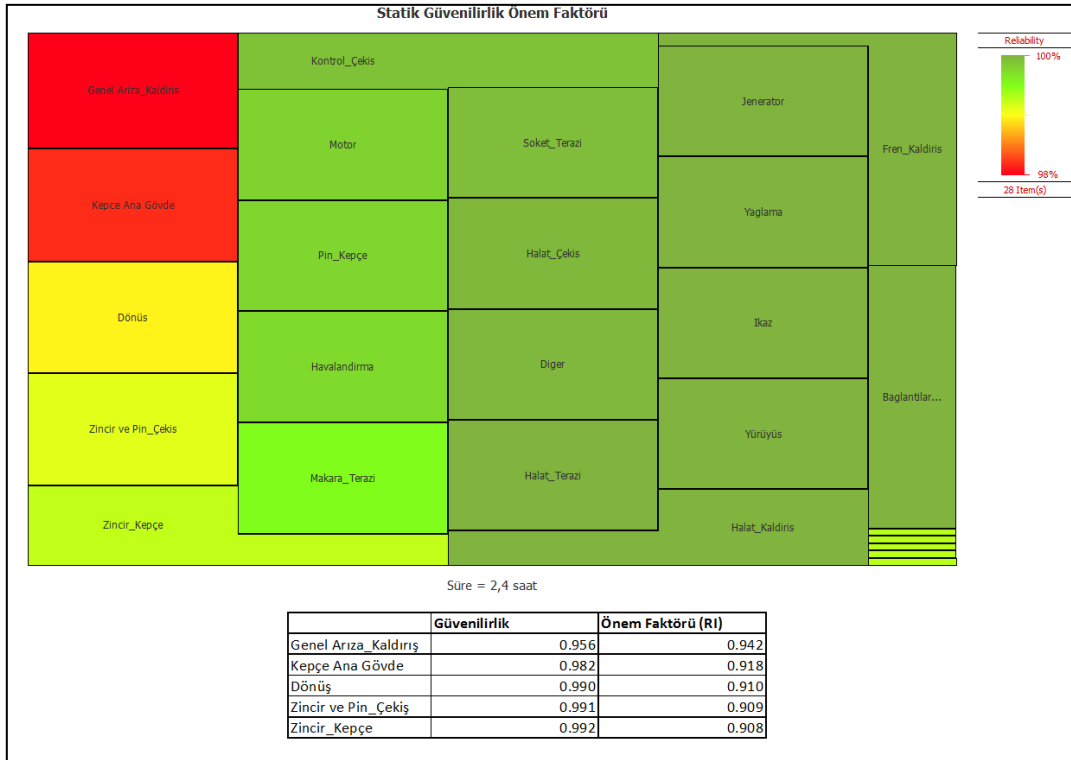
Şekil D23. Page makine dairesi ünitesinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (74. saat) önem faktörleri



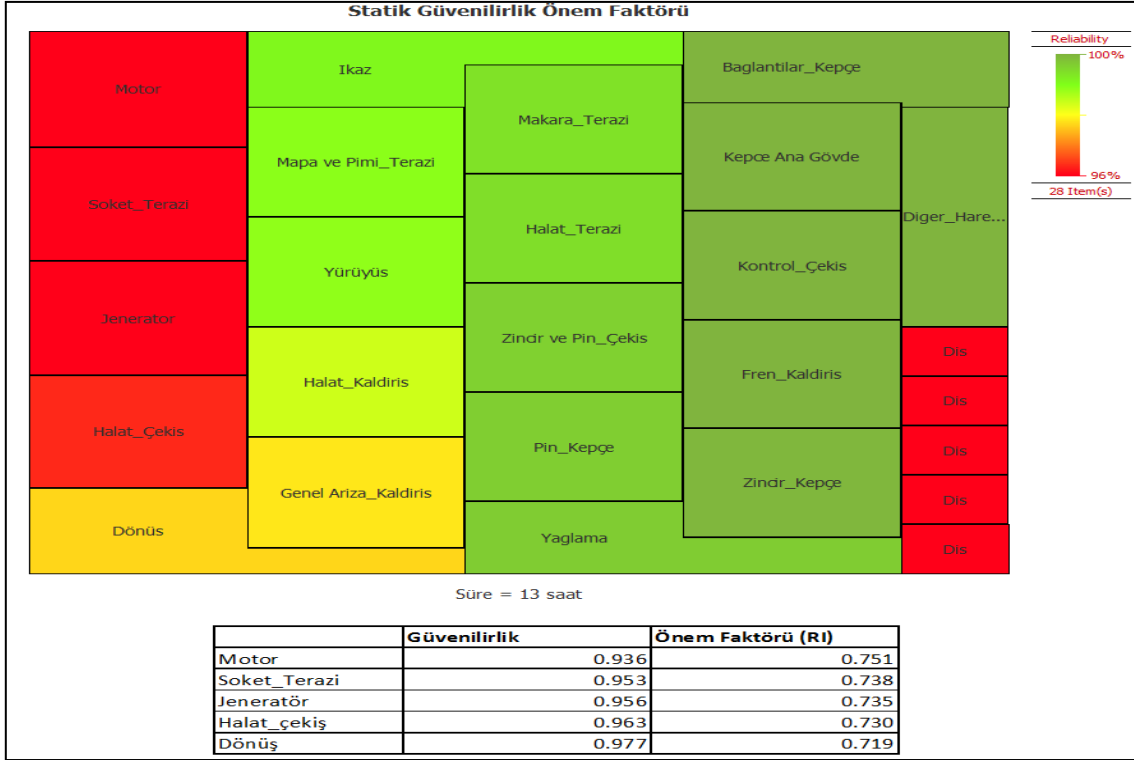
Şekil D24. Page makine dairesi ünitesinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (11. saat) önem faktörleri



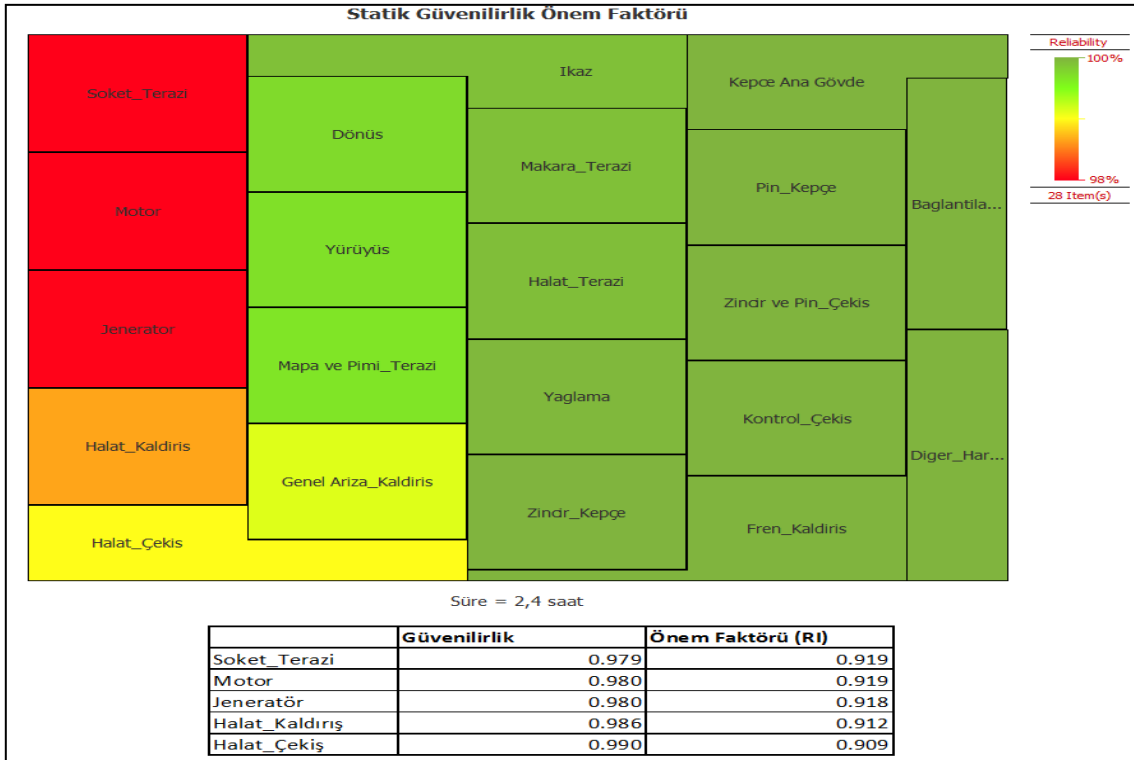
Şekil D25. Marion sistem genelinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (14. saat) önem faktörleri



Şekil D26. Marion sistem genelinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (2,4. saat) önem faktörleri



Şekil D27. Page sistem genelinin 70% güvenilirlik seviyesindeki (13. saat) önem faktörleri



Şekil D28. Page sistem genelinin 90% güvenilirlik seviyesindeki (2,4. saat) önem faktörleri

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

| | |
|---|--|
| Proje Yürütücüsü: | Yrd. Doç. Dr. NURAY DEMİREL |
| Proje No: | 111M320 |
| Proje Başlığı: | Yürüyen Çekme-Kepçeli Yerkazarların Optimum Verimliliği Ve Bakım-Onarımı İçin Sistem Güvenilirliği Modeli Geliştirilmesi |
| Proje Türü: | Kariyer |
| Proje Süresi: | 24 |
| Araştırmacılar: | AYŞE SEVTAP KESTEL |
| Danışmanlar: | HAFİZE ŞEBNEM DÜZGÜN |
| Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: | ORTA DOĞU TEKNİK Ü. MÜHENDİSLİK F. MADEN MÜHENDİSLİĞİ B. |
| Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: | 01/10/2011 - 01/10/2013 |
| Onaylanan Bütçe: | 155377.0 |
| Harcanan Bütçe: | 85184.67 |
| Öz: | <p>Yürüyen çekme-kepçeli yerkazarlar açık ocak kömür ocaklarında üst örtünün alınması için sıklıkla kullanılan büyük makinalardır. Ülkemizde Türkiye Kömür İşletmeleri bünyesindeki müesseselerde sekiz adet, özel sektörde bir adet olmak üzere çekme-kepçeli yerkazar popülasyonu dokuzdur. Yatırım maliyeti 100 milyon ABD doları bulan çekme-kepçeli yerkazarların performansının yani üretkenliğinin ve verimliliğinin azami düzeyde olması maden işletmeciliğinin başarısı ve karlılığı açısından çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu makinaların servis dışı kalma sürelerini en aza indirmek, öte yandan arızalarını önceden öngörebilmek ve etkili bir şekilde kullanımını sağlamak dünyada ve ülkemizde araştırılan önemli madencilik sorunlarından biridir.</p> <p>Bu projenin amacı çekme-kepçeli yerkazarların fiili çalışma sürelerinin azami düzeye çıkarmak, en etkili biçimde kullanılmalarını sağlamak ve verimliliklerini azami düzeye çıkarmaktır. Bu amaçları gerçekleştirmek için, proje süresinde, çekme-kepçeli yer kazalar için bir sistem güvenilirliği modeli geliştirilmiştir. Proje çalışmasında izlenen yöntem sırasıyla: (i) Sahadan (TKİ Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Açık Kömür Ocağı) makina arıza, tamir-bakım süresi, arıza çeşiti, gibi verilerin toplanması, (ii) Toplanan verilerin önışlem çalışması, (iii) Çekme-kepçeli yerkazarın sistem modelinin geliştirilmesi, (iv) Geliştirilen sistemin herbir bileşeni için güvenilirlik analizi yapılması, (v) Sistem güvenilirliğinin belirlenmesi, (vi) Geliştirilen güvenilirlik modelinin test edilerek doğrulanması, ve (vii) Geliştirilen sistem güvenilirlik modelinden elde edilen sonuçlara göre bakım-onarım politikaları geliştirilmesidir.</p> <p>Bu proje çalışması ülkemizde ve dünyada yoğun olarak kullanılan çekme-kepçeli yerkazarların servis dışı kaldığı süreyi en aza indirebilmek için makinanın geçmişte gösterdiği performans verisinden yola çıkarak gelecekte olası hasar ve arızaları öngörebilecek ve makinanın yoğunlukla servis dışı kalan bileşenini belirleyebilecek dolayısıyla da işletme ve bakım-onarım maliyetlerini en aza indirecektir ve üretkenliğini azami düzeye çıkarmaya yardımcı olacaktır. Maden makinalarının bakım-onarım maliyetlerini en aza indirmek için riske dayalı modeller kullanılmıştır ancak çekme-kepçenin bütün bileşenlerini içine alan bir sistem güvenilirlik modeli henüz geliştirilmemiştir. Bu nedenle bu proje özgün bir çalışma olup literatürde varolan bilgiye katkı sağlamaktadır.</p> |
| Anahtar Kelimeler: | Çekme-Kepçeli Yerkazarlar, Sistem Güvenilirliği, Hata Ağacı Analizi, Bakım-Onarım Politikaları |
| Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?: | Hayır |
| Projeden Yapılan Yayınlar: | 1- A Comparative Reliability Analysis for Draglines in Turkey (Bildiri), 2- A Comparative Reliability Analysis for Draglines in Turkey (Bildiri), 3- A Comparative Reliability Analysis for Draglines in Turkey (Bildiri) |