



Applicability of Reliability-Centered Maintenance Method in Tractor Design

Hakan Çekel^{1,a,*}, Ali İhsan Acar^{2,b}

¹Otokar Automotive and Defense Industry Inc., Sakarya, Türkiye

²Ankara University Faculty of Agriculture Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Ankara, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 24-08-2023 Accepted : 04-09-2023</p> <p>Keywords: Reliability-Centered Maintenance Classical Periyodik Maintenance Critical Components Tractor Design Reliability</p>	<p>In this study, preventive maintenance planning of the wheeled tractor, which can carry a useful load in field conditions and be used as a power source, was carried out with the Reliability-Centered Maintenance method. This method, which is applied for critical systems in the tractor's, aims at optimum maintenance by taking into account the possibility and criticality of malfunctions that may interfere with the mission of the tractor, on the parameters of readiness for the task under the specified conditions and completing the task without any malfunctions (reliability) has the potential to contribute. It is concluded that the Reliability Centered Maintenance method can be used in tractor design. In addition, the critical parts that need to be handled with priority have been identified and the necessary maintenance procedures have been determined.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(9): 1721-1730, 2023

Traktör Tasarımında Güvenilirlik Merkezli Bakım Yönteminin Uygulanabilirliği

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 24-08-2023 Kabul : 04-09-2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik Merkezli Bakım Klasik Periyodik Bakım Kritik Elemanlar Traktör Tasarımı Güvenilirlik</p>	<p>Bu çalışmada, arazi şartlarında faydalı yük taşıyabilen ve güç kaynağı olarak kullanılabilen tekerlekli traktör önleyici bakım planlaması, Güvenilirlik Merkezli Bakım (RCM-Reliability Centered Maintenance) metodu ile yapılmıştır. Bu yöntem, traktörün kritik sistemleri için uygulanan, görevine engel olabilecek arızaların olasılıkları ile kritikliklerinin belirlenen şartlar altındaki göreve hazır olma ve görevini arızasız tamamlama (güvenilirlik) parametrelerine etkisi dikkate alarak optimum bakım hedefleyen bu metodun tarım işletmelerinin makina parklarındaki kritik sistemlerin görev sürekliliğinin sağlanabilmesinde önemli katkı sağlama potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Güvenilirlik Merkezli Bakım yönteminin traktör tasarımında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca öncelikli ele alınması gereken kritik parçaların tespitleri yapılmış ve gerekli bakım işlemleri belirlenmiştir.</p>

^a hakan.cekel@ankara.edu.tr

^b <https://orcid.org/0009-0003-7735-0068>

^b alihsanacar@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0003-4880-1336>



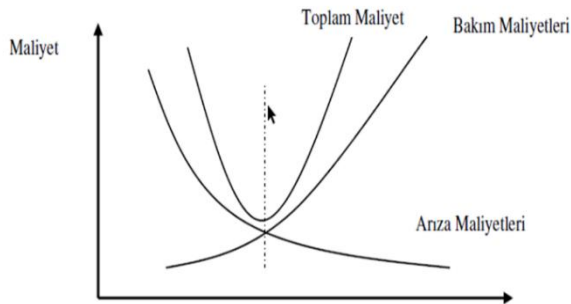
Giriş

Sanayi devrimi sonrasında işletmelerin sürdürülebilir üretim kabiliyetlerini belirleyen en önemli unsurların başında; makina parkında bulunan ekipmanların göreve hazır olması ile atanan görevi arızasız ve istenen performansla tamamlama kabiliyetlerinin sürekli olarak sağlanması gelmektedir. Modern dünyada tüm kurumlar, içinde buldukları rekabet kapsamında; verimlilik, kalite ve düşük maliyet gibi anahtar parametreleri iyileştirmeye çalışmaktadır. (Vishnu, 2016). Bu tanımlama ile paralel olarak Dekker (1996) de bakım optimizasyon modelini maliyet ve faydaların hesaplandığı matematiksel bir model olarak tanımlamaktadır (Vilarinho, 2017).

Ömür devri maliyet analizi süreci, bir projenin veya herhangi bir sistem alternatifinin kavram geliştirme aşamasından, araştırma-geliştirme, kullanım ve kullanımdan çıkarılması da dâhil olmak üzere tüm süreçte ortaya çıkabilecek maliyetleri hesaplamaya yönelik geliştirilmiş bir metot ve işlemler zinciridir (Işın, 2009). Önleyici Bakım güvenilirlik ve hazır olma değerlerinin artırılması için aktiviteler içeren faaliyet bütünüdür (Khodabakhshian, 2013).

Barlow ve Hunter'ın 1960 yılında yayınladıkları ve uzun süre bakım planlamasına referans teşkil eden "Optimum Önleyici Bakım Politikaları" isimli çalışmalarında, karmaşık sistemlerin bakım planlamasının tasarımın başında belirlenen aralıklarla yapılacak bakımlara dayandırılması, sistemde parçaların yıpranma durumlarının izlenmesi veya yıpranma eğrisini herhangi bir değerlendirmeye tabi tutmayan statik bir planlamayı içermektedir.

Gelişen teknoloji ile paralel olarak tasarlanan sistemlerin kullanıma hazır olma sürelerinin maksimum oranda tutulabilmesi için gerçekleştirilen periyodik bakımların maliyetleri ve bakımda geçen kullanım dışı sürelerin işletmelere oluşturduğu maliyetler, önleyici bakım planlamasında yeni arayışların oluşmasını bir başka deyişle bakım planlamasında optimizasyon çalışmalarını gündeme getirmiştir. Bakım planlamasında önleyici bakım maliyetleri ile düzeltici bakım maliyetlerinin değerlendirilerek, bakım planlamasının ekonomik açıdan değerlendirilmesi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ekonomik periyodik bakım zamanlaması (Lyonet, 1991).

Figure 1. Economic Periodic Maintenance Timing (Lyonet, 1991).

Şekil 1'e göre arıza maliyetleri ilerleyen zaman içerisinde giderek azalmasına karşın bakım maliyetleri aynı sürede giderek artmaktadır. Toplam maliyetin artıp azalması yönünde etkili olan bu iki bileşenin kesişim noktasının ideal bir noktada tutulması gerekmektedir. Araştırmalar, kara araçlarının ömür devri sürecindeki

toplam maliyetin ortalama %54'lük bölümünü işletme ve idame giderlerinin oluşturduğunu göstermektedir (Işın, 2009). Söz konusu giderler, işletmelerin, envanterine dahil edeceği sistemlere karar verilirken, daha kısa süreli arıza bekleyişleri ve düşük bakım maliyetleri ile işletilebilen, diğer bir deyişle optimum lojistik destek altyapısına sahip sistemlere öncelik verilmesine neden olmuştur.

GMB uygulamaları, sivil havacılıkta bakım faaliyetlerinden kaynaklanan maliyet ve kullanım dışı kalma sürelerinin azaltılmasını hedefleyen bir çalışma olmasına karşın günümüzde işletmeler tarafından envanterlerindeki tüm kritik ekipmanlarda uygulanabilecek bir uygulama olarak değerlendirilebilmektedir.

Electric Power Research Institute (EPRI)'nin tanımlamasına göre GMB, "Sistemin anahtar fonksiyonlarını etkileyen arızaları öncelikli olarak güvenlik ve ekonomiklik parametrelerine göre ele alan ve bu kapsamda önleyici bakım planlaması yapılabilmesine olanak sağlayan sistematik" olarak tanımlanmaktadır (Jin, and Yamamoto, 2017).

GMB uygulamalarında amaç;

- Personel Güvenliği
- Çevre Sağlığı
- Görev Başarısı
- İşletme Ekonomisi

parametrelerini olumsuz etkileyen fonksiyonel hata sonuçlarının oluşmamasını sağlamak ya da belli bir seviyede azaltılmasını sağlamaktır (Anadhi et al, 2014). GMB yöntemi, analitik temellidir ve proje amaçlarına ulaşılmasını sağlayan uygun araçları belirlemek için uygulanmaktadır. Söz konusu araçlar aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılabilir:

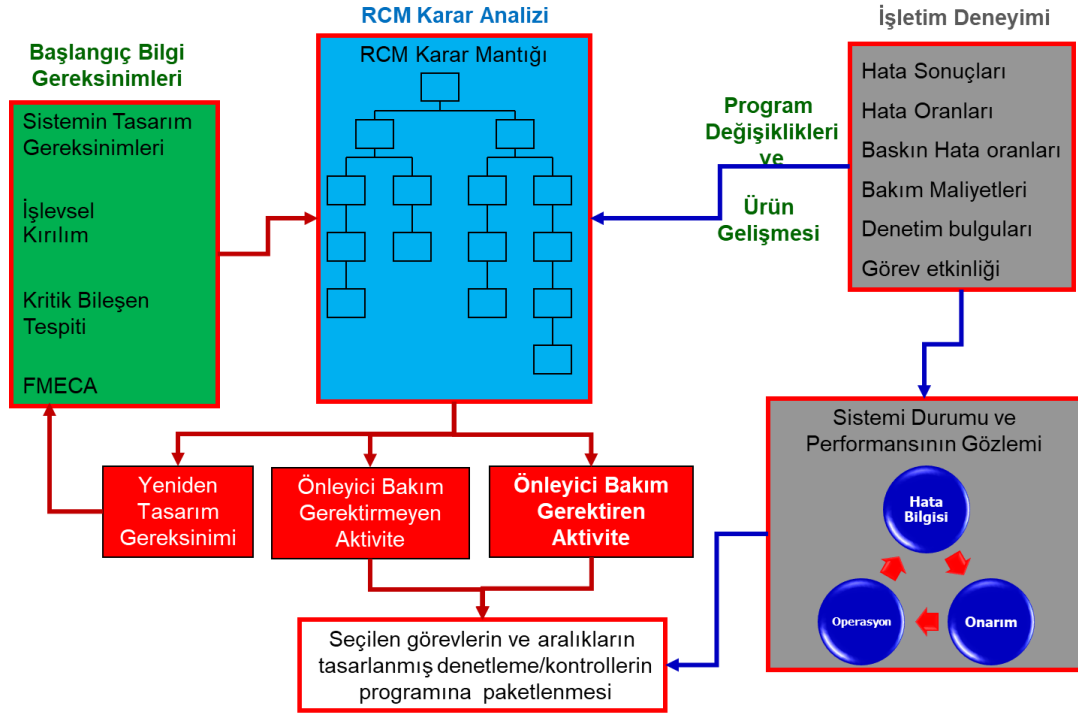
- Önleyici Bakım görevleri
- Fiziksel Yeniden Tasarım
- İşletim ve Bakım Süreçlerinin Modifikasyonu

GMB uygulaması uygulandığı sistemlere göre küçük değişiklikler gösterse de aşağıda sunulan 7 temel sorunun cevaplanmasına dayalı bir uygulama olarak tanımlanır (Yssaad ve ark., 2014):

- Araç işletme şartlarında hangi fonksiyonları ve performans standartlarını yerine getirmelidir?
- Bu fonksiyonları yerine getirmesine neler engel olur?
- Fonksiyonel arızaların nedenleri neler olabilir?
- Her bir arıza gerçekleştiğinde sonuçları ne olur?
- Arıza nasıl meydana gelir?
- Arızaları önceden kestirmek ve önlemek için ne yapılabilir?
- Eğer proaktif bir bakım yöntemi bulunmaz ise ne yapılmalıdır?

Temel olarak bir GMB uygulamasının iş işlem akışı Şekil 2'de verilen iş akışı işlem adımları ile yürütülmektedir.

Şekil 2'ye göre GMB uygulamasının iki önemli konusu başlangıç bilgi gereksinimi ve işletim deneyimidir. Bu bilgilerden yararlanılarak oluşturulacak karar ağacı yardımıyla işlemler yürütülmektedir. Böylece ekipman arızadan önce onarılarak veya arızaya sebep olan temel nedenler ortadan kaldırılarak güvenilirlik artışında iki açıdan fayda sağlanmaktadır. Bu sayede GMB, bakımların planlanmasına ve arıza riski yüksek olan kritik ekipmanlar için ekonomik kaynak ihtiyaçlarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Tarar, 2014).



Şekil 2. Güvenilirlik merkezli bakım uygulamasının işlem akışı (Anonim, 2009).
Figure 2. Process Flow of Reliability Centered Maintenance (Anonim, 2009).

Hata Modu, Etkileri Analizi; tasarımın gözden geçirilmesi olarak kullanılan FMECA çıktıları yüksek riskli parçaları ve alanları belirlenmesi ve özel muayene, test veya bakım gereksinimlerini belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kritiklik Analizi ise; belirlenmiş olan olası her hata modunun etkisini, önem sınıflandırması ile gerçekleşme olasılığının birleşimiyle sıraya koymaktır.

Hata Modu, Etkileri ve Kritiklik Analizi ile;

- Hata etkisinin ve sıklığının kritikliği belirlenmektedir.
- Hata ağacı analizi ve güvenilirlik blok diyagram modeli geliştirme için veri sağlanmaktadır.
- Sonraki tasarım düzeltmeleri için kritik hata modları belirlenmektedir.
- Düzeltici bakım görevleri için bir temel oluşturulmaktadır.
- Nitelikli güvenilirlik, idame edilebilirlik, güvenlik ve lojistik analizler için altyapı hazırlanmaktadır.
- GMB mantığının uygulanması ve önleyici bakım görevlerini geliştirmek için bir temel oluşturulmaktadır.

Günümüzdeki araç tasarımları; mekanik, elektronik, bilgisayar vb. mühendislik disiplinleri tarafından geliştirilen farklı alt sistemlerin entegrasyonu şeklinde yürütülmektedir. Araçların bakım planlamaları ise farklı alt sistemlerin sistem mühendisliği yaklaşımı ile bağımsız olarak belirlenen bakım kurgularının tek bir tabloda birleştirilmesi şeklinde ele alınabilmektedir. Bu yaklaşım zaman zaman aracın ömür sürecinde potansiyel arızalara karşı aracı güvenli tarafta tutmayı başarsa da çoğu zaman gereksiz arıza bekleşilerine neden olabilmektedir.

Bu kapsamda; görev profili tanımlanmış, arazi şartlarında faydalı yük taşıyabilen ve güç kaynağı olarak kullanılabilen standart bir traktöre ait farklı bakım ihtiyaçları olan entegre edilmiş alt sistemlerin (motor, transmisyon, görev donanımları vb.) güvenilirlik bakım

planlaması yaklaşımı ile bakım maliyetlerinde önemli azalmalar sağlayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada, arazi şartlarında faydalı yük taşıyabilen ve güç kaynağı olarak kullanılabilen traktörün bakım optimizasyon çalışmasının Güvenilirlik Merkezli Bakım (GMB) yöntemi ile gerçekleştirilebilme olanağı araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, GMB uygulaması ile arazi şartlarında faydalı yük taşıyabilen ve güç kaynağı olarak kullanılabilen traktör platformunun bakım optimizasyonu konusu ele alınmıştır.

Materyal

Dört tekerlekli, iki tekerleği muharrik, 45-60 BG güç grubunda, kuyruk mili ve hidrolik çıkışları ile arkasına bağlanan ekipmanı hem çekebilen ve hem de güç aktarabilen standart bir traktör çalışmada materyal olarak belirlenmiştir. Bu traktördeki motor, transmisyon sistemi, görev donanımları vb. bileşenler alt sistemler olarak ele alınmıştır.

Analize tabi tutulan sistemin temel tasarım gereksinimlerinin ve kullanıcı tarafından öngörülen kullanım profillerinin tanımlanması gerekmektedir. Söz konusu görev profilleri fonksiyonel kırılım ve güvenilirlik hesaplamalarına temel teşkil edecek verilerdir. Örnek olarak oluşturulan içten yanmalı motorun fonksiyonel kırılımı Şekil 3’de verilmiştir.

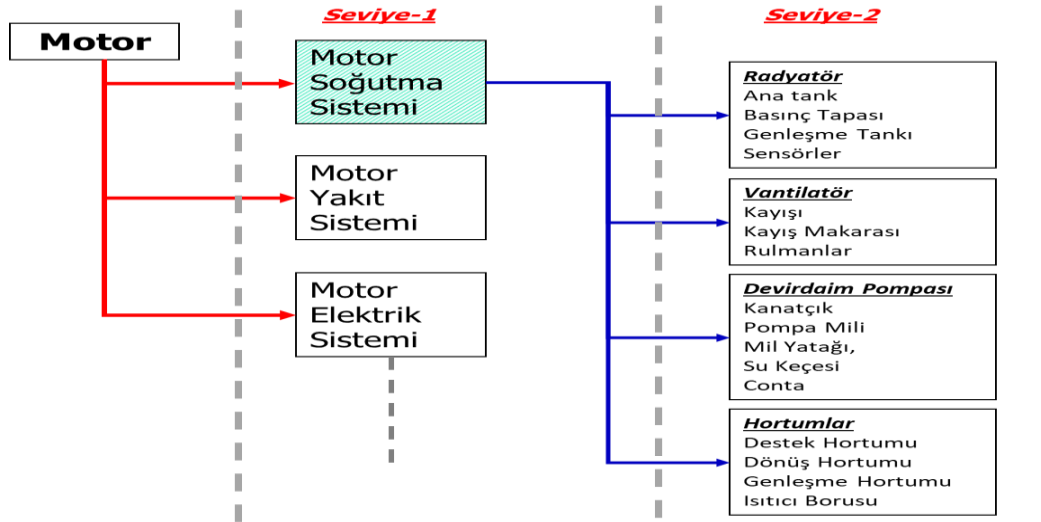
Şekil 3’de görüldüğü gibi motorun fonksiyonel kırılımı 2 seviyede gerçekleştirilmektedir. Birinci seviyede motorun soğutma, yakıt, elektrik vb. fonksiyonel alt sistemleri belirlenmektedir. İkinci seviyede ise her bir alt sistemin ayrıntılı kırılımları yapılmaktadır. Hata Modu, etkileri ve kritiklik analizi, bir sistemin tüm hatalarını ve

hata mekanizmalarını belirlemek, her potansiyel hatanın sistem güvenliği ve performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve her hatayı kritikliğine göre sınıflandırmak için yapılan bir analizdir. Bu analizler ile tüm önemli ve kritik hata olanaklarının erken belirlenmesi. Böylece tüm hataların tasarım düzeltmeleri ile oluşmalarının önlenmesi ve tasarım etkinliğini onaylanması ve düzeltici bakım gereksinimlerinin tanımlanması sağlanmaktadır.

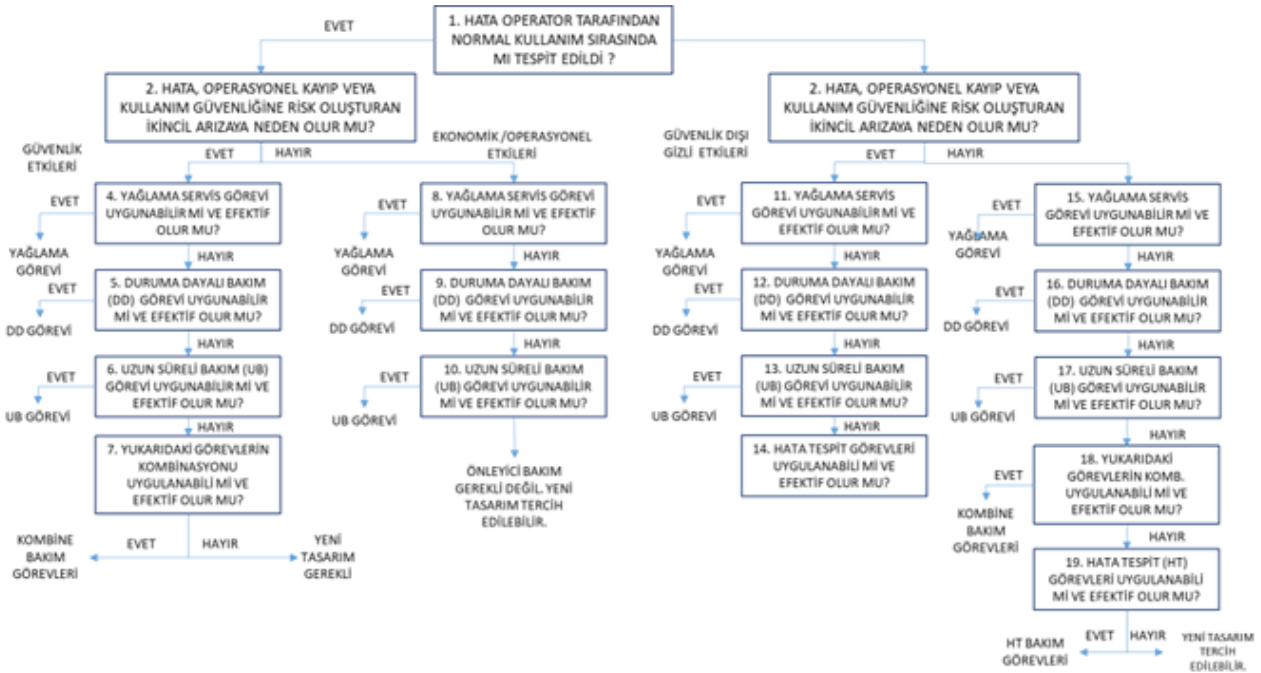
GMB uygulaması için başlangıç bilgilerinin hazırlanması çalışmasının tamamlanmasından sonra her bir arıza modu için karar analizi yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yürürlükteki farklı standartlarda karar analizi için birbirine yakın karar ağaçları tanımlanmış olup, işletmeler kendi süreçlerini dikkate alarak özgün karar ağaçlarını da oluşturabilmektedirler. Bu çalışmada MSG-3

tarafından yayınlanan GMB karar ağacı referans alınmıştır. Söz konusu karar ağacı Şekil 4 'de yer almaktadır.

Şekil 4'de görüldüğü gibi karar ağacı bu yöntemin en önemli aşamasıdır. Ayrıntılar belirlendikten sonra bir algoritma çerçevesinde Evet/Hayır cevaplarıyla yöntem ilerletilmektedir. Tasarım sürecinde planlanan, araçtan beklenen temel fonksiyonların ve söz konusu fonksiyonların aktif olarak kullanılma süresini içeren veri setleri görev profili içeriği olarak ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında görev profili olarak traktörün temel fonksiyonları, arazi şartlarında faydalı yük taşıma ve PTO mil vasıtası ile güç kaynağı olarak kullanılması olarak tanımlanmıştır. Görev profilinin diğer bir bileşeni ise belirlenen fonksiyonların kullanım sıklığı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Motor fonksiyonel kırılımı
Figure 3. Engine functional breakdown.



Şekil 4. Karar ağacı (Anonim, 2009).
Figure 4. Decision tree (Anonim, 2009).

Literatürde ortalama bir traktörün yıllık kullanım miktarının 1000 saat ve ömür devri sürecinin ise ortalama 12000 saat olduğu görülmektedir (Anonim, 2018). Ülkemizde ise yıllık kullanım miktarlarının düşük olması (ortalama 600 saat) nedeniyle, traktörlerinin envantere kalma sürelerinin ortalama 24 yıla kadar uzayabildiği görülmektedir (Anonim, 2018). Söz konusu durumun ülkemizdeki yaşlı traktör parkının oluşumuna önemli bir katkısı bulunmaktadır.

Bu çalışmaya konu traktörün görev profili olarak; yıllık 500 saat kullanım miktarının %75 oranında arazi şartlarında faydalı yük taşıma ve %25 oranında ise PTO mili vasıtası ile güç kaynağı olarak kullanılması fonksiyonlarını yerine getireceği kabul edilmiştir.

Traktörü oluşturan sistem ve alt sistemlerin belirlenen görev profiline göre devrede olma oranları sistem/alt sistem kırılım yapısına göre ayrıca ele alınmıştır.

Çalışmanın bu safhasında öncelikli olarak, traktörü oluşturan sistemler ve alt sistemlerinin tanımlanması hedeflenmiştir. Daha sonra Hata Modu ve Etkileri Analiz çalışmalarında kullanılması planlanan söz konusu yapı ile

fonksiyonel kırılım yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan kırılım yapısı Çizelge 1’ de verilmiştir.

Çizelge 1’de de görülebileceği üzere GMB çalışmalarında ele alınan sistemin kırılım yapısının oluşturulması ve çalışma paydaşlarının verilerini ayrı kırılım hiyerarşisine göre tasnif edilmesi, verilerin doğru yorumlanabilmesi için kritik öneme sahiptir. Burada platform araç ana yapısı içerisinde; gövde, güç grubu sistemi ve görev donanımları alt sistemleri ve bunların da alt sistemleri birbirine bağlı olarak dikkate alınmıştır.

Çalışmanın bu aşamasında; traktörün fonksiyonel bileşenlerinde oluşabilecek arıza durumlarının görev profiline etkileri ve bu kapsamdaki kritiklik üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada referans olarak bu konuda en yaygın kullanıma sahip MIL STD 1629 Failure Mode, Effect and Criticaly Analysis standardı referans alınmıştır (Anonymous, 1980). Standardın seçilen sistemlere uygulamasında Şekil 5’ deki verilerin oluşturulması sonucunda en kritik sistem ve hata modu üzerinden optimizasyonu hedeflenmiştir.

Çizelge 1. Fonksiyonel kırılım tablosu.

Table 1. Functional breakdown table.

Seviye				Sistem / Alt Sistem	Seviye				Sistem / Alt Sistem
0	1	2	3		0	1	2	3	
×				Platform Araç				×	Elektrik Üretim
	×			Gövde				×	Elektrik Kablo
		×		Aks, Mil Ve Şaftlar				×	Elektrik Kontrolleri
			×	Ön Aks Sistemi			×		Araç Elektronik Sistemi
			×	Arka Aks Sistemi			×		Gösterge, İkaz Kontroller
			×	Hızazaltan				×	Elektronik Kontrol Üniteleri
			×	Poyralar			×		Kabin, Kapılar Ve Kapaklar
			×	Tekerlekler			×		Kabin Gövdesi
		×		Direksiyon Sistemi				×	Koltuklar
			×	Direksiyon Simidi				×	Kapılar
			×	Direksiyon Mil Grubu				×	Bakım Erişim Kapakları
			×	Direksiyon Kutusu				×	Isı Ve Ses İzolasyon Sistemi
		×		Fren Sistemi				×	Aynalar
			×	Servis Freni				×	Silecekler
			×	Park Freni			×		Isıtma Soğutma Ve Avalandırma Sistemi
		×		Yakıt Sistemi				×	Klima Sistemi
			×	Yakıt Pompası				×	Kalorifer Sistemi
			×	Yakıt Deposu				×	Havalandırma Fan Sistemi
			×	Şamandra Grubu		×			Güç Grubu Sistemi
			×	Yakıt Hatları			×		Motor Sistemi
		×		Hidrolik Sistem				×	Motor
			×	Hidrolik Pompa				×	Ön Düzen Ve Yağlama
			×	Hidrolik Rezervuar				×	Motor Kontrol Ünitesi
			×	Hidrolik Ekipmanlar				×	Hava Emiş Sistemi
		×		Hava Sistemi			×		Transmisyon Sistemi
			×	Kompresör Sistemi				×	Transmisyon
			×	Hava Tüpleri				×	Vites Seçici
			×	Hava Hatları			×		Motor Soğutma Sistemi
		×		Egzost Sistemi				×	Radyatör Gurubu
			×	Susturucu				×	Fan Grubu
			×	Egzost Hatları				×	Yağ Eşanjörleri
		×		Aydınlatma Sistemi		×			Görev Donanımları
			×	İç Aydınlatma			×		Çekme-Kaldırma Ve Güç Aktarma Sistemleri
			×	Dış Aydınlatma				×	Çeki Kancaları
			×	Elektrik Sistemi				×	Kaldırma Mapaları
								×	Pto

Çizelge 2. Hata modları.

Table 2. Failure modes.

Hata Modu No	Hata Modu	Genel Hata Kodu	Tekil Hata Kodu
HK-MY-1	Haberleşme Hatası	FAAA	HK-MY-1FAAA
HK-MY-2	Sistem Güç Hatası	FAAB	HK-MY-2FAAB
HK-MY-3	Hafıza hatası	FAAC	HK-MY-3FAAC
HK-MY-4	Arızalanması	FAAD	HK-MY-4FAAD
HK-MY-5	Yakıt pompası aktüatör muhafazasında deformasyon	FAAE	HK-MY-5FAAE
HK-MY-6	Kam şaft muhafazasında deformasyon	FAAE	HK-MY-6FAAE
HK-MY-7	Pompa kafasında deformasyon	FAAE	HK-MY-7FAAE
HK-MY-8	Common rail dişli tip besleme pompasında yakıt sızıntısı	FAAF	HK-MY-8FAAF
HK-MY-9	Pompa pistonlarının sıkışması	FAAG	HK-MY-9FAAG
HK-MY-10	Yakıt sensör devresinde su	FAAH	HK-MY-10FAAH
HK-MY-11	Elektronik yakıt kontrol aktüatör devresinde kısa devre	FAAI	HK-MY-11FAAI
HK-MY-12	Açık devre olması	FAAJ	HK-MY-12FAAJ
HK-MY-13	Deformasyon	FAAE	HK-MY-13FAAE
HK-MY-14	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	HK-MY-14FAAK
HK-MY-15	Açık devre olması	FAAJ	HK-MY-15FAAJ
HK-MY-16	Deformasyon	FAAE	HK-MY-16FAAE
HK-MY-17	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	HK-MY-17FAAK
HK-MY-18	Açık devre olması	FAAJ	HK-MY-18FAAJ
HK-MY-19	Deformasyon	FAAE	HK-MY-19FAAE
HK-MY-20	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	HK-MY-20FAAK
HK-MY-21	Açık devre olması	FAAJ	HK-MY-21FAAJ
HK-MY-22	Deformasyon	FAAE	HK-MY-22FAAE
HK-MY-23	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	HK-MY-23FAAK
HK-MY-24	Açık devre olması	FAAJ	HK-MY-24FAAJ
HK-MY-25	Deformasyon	FAAE	HK-MY-25FAAE
HK-MY-26	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	HK-MY-26FAAK
HK-MY-27	Açık devre olması	FAAJ	HK-MY-27FAAJ
HK-MY-28	Deformasyon	FAAE	HK-MY-28FAAE
HK-MY-29	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	HK-MY-29FAAK
HK-MY-30	Deformasyon	FAAE	HK-MY-30FAAE
HK-MYA-1	Arızalanması	FAAD	HK-MYA-1FAAD
HK-MYA-2	Arızalanması	FAAD	HK-MYA-2FAAD
HK-MYA-3	Arızalanması	FAAD	HK-MYA-3FAAD
HK-MYA-4	Delinmesi, çatlaması	FAAN	HK-MYA-4FAAN
HK-MYA-5	Nefeslikte deformasyon	FAAE	HK-MYA-5FAAE
HK-MYA-6	Delinmesi, çatlaması	FAAN	HK-MYA-6FAAN
HK-MYA-7	Deformasyon	FAAE	HK-MYA-7FAAE
HK-MYA-8	Kavitasyon	FAAO	HK-MYA-8FAAO
HK-MYA-9	Korozyon	FAAP	HK-MYA-9FAAP
HK-MYA-10	Pistonun ana gövdede sıkışması	FAAR	HK-MYA-10FAAR
HK-MYA-11	Valf gövdesinde çatlak, kırılma	FAAS	HK-MYA-11FAAS
HK-MYA-12	Tıkanma	FAAT	HK-MYA-12FAAT
HK-S-1	Kavitasyon	FAAO	HK-S-1FAAO
HK-S-2	Korozyon	FAAP	HK-S-2FAAP
HK-S-3	Delinmesi, çatlaması	FAAN	HK-S-3FAAN
HK-S-4	Nefeslikte deformasyon	FAAE	HK-S-4FAAE
HK-S-5	Delinmesi, çatlaması	FAAN	HK-S-5FAAN
HK-S-6	Deformasyon	FAAE	HK-S-6FAAE
HK-S-7	Hortum konnektörlerinin kırılması	FAAU	HK-S-7FAAU
HK-S-8	Montaj braketinden ayrılması	FAAV	HK-S-8FAAV
HK-S-9	Deformasyon	FAAE	HK-S-9FAAE
HK-S-10	Korozyon	FAAP	HK-S-10FAAP

Çizelge 3. Risk değerlendirme matrisi.

Table 3. Risk assessment matrix.

Ağırlık Oluşma Sıklığı	Katastrofik (1)	Kritik (2)	Marjinal (3)	İhmal Edilebilir (4)
Sık (A)	Yüksek	Yüksek	Ciddi	Orta
Olası (B)	Yüksek	Yüksek	Ciddi	Orta
Nadir (C)	Yüksek	Ciddi	Orta	Düşük
Pekaz (D)	Ciddi	Orta	Orta	Düşük
İmkansız (E)	Orta	Orta	Orta	Düşük
Hariç (F)	Hariç			

Çizelge 4. Hata etkisi olasılık değeri.

Table 4. Fault effect probability value.

Hata Etkisi	β Olasılık Değeri
Gerçek kayıp	1
Olası kayıp	>0,1 ile <1,0 arası
Düşük olasılıkla olabilecek kayıp	>0 ile =0,1 arası
Etki yok	0

Çizelge 5. Motor alt sistemi hata modu kritiklik verileri.

Table 5. Engine subsystem fault mode critical data.

Hata Modu No	Hata Kodu	Ağırlık Sınıfı	Kritiklik Skoru
HK-MY-1	FAAA	1	100000
HK-MY-2	FAAB	1	100000
HK-MY-8	FAAF	1	100000
HK-MYA-8	FAAO	2	100000
HK-MYA-9	FAAP	2	100000
HK-MY-3	FAAC	2	80000
HK-MY-4	FAAD	3	80000
HK-MY-7	FAAE	3	50000
HK-MY-9	FAAG	3	50000
HK-MYA-1	FAAD	3	50000
HK-MYA-3	FAAD	3	50000
HK-MYA-4	FAAN	1	50000
HK-MYA-5	FAAE	3	50000
HK-MYA-6	FAAN	2	50000
HK-MYA-7	FAAE	3	50000
HK-MY-5	FAAE	3	25000
HK-MY-6	FAAE	3	25000
HK-MY-10	FAAH	3	25000
HK-MY-11	FAAI	1	25000
HK-MYA-10	FAAR	4	25000
HK-MYA-12	FAAT	2	20000
HK-MYA-2	FAAD	3	10000
HK-MYA-11	FAAS	4	5000
HK-MY-13	FAAE	3	5000
HK-MY-16	FAAE	3	5000
HK-MY-19	FAAE	3	5000
HK-MY-22	FAAE	3	5000
HK-MY-25	FAAE	3	5000
HK-MY-28	FAAE	3	5000
HK-MY-14	FAAK	2	4000
HK-MY-17	FAAK	2	4000
HK-MY-20	FAAK	2	4000
HK-MY-23	FAAK	2	4000
HK-MY-26	FAAK	2	4000
HK-MY-12	FAAJ	2	2000
HK-MY-15	FAAJ	2	2000
HK-MY-18	FAAJ	2	2000
HK-MY-21	FAAJ	2	2000
HK-MY-24	FAAJ	2	2000
HK-MY-27	FAAJ	2	2000
HK-MY-29	FAAK	2	2000
HK-MY-30	FAAE	2	2000

Çizelge 5 incelendiğinde ön görülen arızaların etkilerinin sistemin temel fonksiyonlarına göre birlikte ele alındığında, birçok arızanın kısa periyotlu bakım görevlerinde ele alınmasının gerekli olmadığı görülmektedir. Söz konusu kritiklik önceliklendirmesi doğrudan sistem fonksiyonlarına etki edebilecek arızaların önlenmesine odaklanabilmek için avantaj sağlamaktadır.

Motor alt sisteminin hata modu kritiklik verileri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6'da motor alt sistemine ilişkin 42 adet konu belirlenmiştir. Bu elemanların hata modu kritiklik verileri saptanmış ve yapılması gerekenler ortaya konulmuştur.

Çizelge 6'da yer alan son sütundaki Sonuçlar kısmına ilişkin motor bakım görevlerini içeren açıklamalar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. Motor alt sisteminin hata modü kritiklik verileri.

Table 6. Engine subsystem fault mode critical data.

No	Parça Adı	Hata Modu No	Hata Modu	Fmı	Sonuç
1	Elektronik Kontrol Modülü	HK-MY-1	Haberleşme Hatası	FAAA	OC TASK
2	Elektronik Kontrol Modülü	HK-MY-2	Sistem Güç Hatası	FAAB	OC TASK
3	Elektronik Kontrol Modülü	HK-MY-3	Hafıza hatası	FAAC	OC TASK
4	Yakıt basınç sensörü	HK-MY-4	Arızalanması	FAAD	OC TASK
5	Yük. Bas. Yak. Enj. Pompası ¹	HK-MY-5	YPAMD	FAAE	LUB/SERV TASK
6	Yük. Bas. Yak. Enj. Pompası ¹	HK-MY-6	Kam şaft muhafazasında deformasyon	FAAE	LUB/SERV TASK
7	Yük. Bas. Yak. Enj. Pompası ¹	HK-MY-7	Pompa kafasında deformasyon	FAAE	LUB/SERV TASK
8	Yük. Bas. Yak. Enj. Pompası ¹	HK-MY-8	CDBPYS	FAAF	OC TASK
9	Yük. Bas. Yak. Enj. Pompası ¹	HK-MY-9	Pompa pistonlarının sıkışması	FAAG	LUB/SERV TASK
10	Yakıt su ayırıcısı	HK-MY-10	Yakıt sensör devresinde su	FAAH	NO PM REQ
11	Aktüatör	HK-MY-11	EYKADKD	FAAI	OC TASK
12	Yakıt Enjektörü 1	HK-MY-12	Açık devre olması	FAAJ	COMB OF TASKS
13	Yakıt Enjektörü 1	HK-MY-13	Deformasyon	FAAE	COMB OF TASKS
14	Yakıt Enjektörü 1	HK-MY-14	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	COMB OF TASKS
15	Yakıt Enjektörü 2	HK-MY-15	Açık devre olması	FAAJ	COMB OF TASKS
16	Yakıt Enjektörü 2	HK-MY-16	Deformasyon	FAAE	COMB OF TASKS
17	Yakıt Enjektörü 2	HK-MY-17	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	COMB OF TASKS
18	Yakıt Enjektörü 3	HK-MY-18	Açık devre olması	FAAJ	COMB OF TASKS
19	Yakıt Enjektörü 3	HK-MY-19	Deformasyon	FAAE	COMB OF TASKS
20	Yakıt Enjektörü 3	HK-MY-20	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	COMB OF TASKS
21	Yakıt Enjektörü 4	HK-MY-21	Açık devre olması	FAAJ	COMB OF TASKS
22	Yakıt Enjektörü 4	HK-MY-22	Deformasyon	FAAE	COMB OF TASKS
23	Yakıt Enjektörü 4	HK-MY-23	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	COMB OF TASKS
24	Yakıt Enjektörü 5	HK-MY-24	Açık devre olması	FAAJ	COMB OF TASKS
25	Yakıt Enjektörü 5	HK-MY-25	Deformasyon	FAAE	COMB OF TASKS
26	Yakıt Enjektörü 5	HK-MY-26	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	COMB OF TASKS
27	Yakıt Enjektörü 6	HK-MY-27	Açık devre olması	FAAJ	COMB OF TASKS
28	Yakıt Enjektörü 6	HK-MY-28	Deformasyon	FAAE	COMB OF TASKS
29	Yakıt Enjektörü 6	HK-MY-29	Düşük enjektör aktüatör voltajı	FAAK	COMB OF TASKS
30	Yakıt tankı	HK-MY-30	Deformasyon	FAAE	OC TASK
31	Yağ seviye sensörü	HK-MYA-1	Arızalanması	FAAD	OC TASK
32	Yağ basınç sensörü	HK-MYA-2	Arızalanması	FAAD	OC TASK
33	Yağ sıcaklık sensörü	HK-MYA-3	Arızalanması	FAAD	OC TASK
34	Yağ deposu	HK-MYA-4	Delinmesi, çatlaması	FAAN	OC TASK
35	Yağ deposu	HK-MYA-5	Nefeslikte deformasyon	FAAE	OC TASK
36	Yağ hortumları	HK-MYA-6	Delinmesi, çatlaması	FAAN	OC TASK
37	Yağ hortumları	HK-MYA-7	Deformasyon	FAAE	OC TASK
38	Yağ pompası	HK-MYA-8	Kavitasyon	FAAO	LUB/SERV TASK
39	Yağ pompası	HK-MYA-9	Korozyon	FAAP	LUB/SERV TASK
40	Filtre bypass valfi	HK-MYA-10	Pistonun ana gövdede sıkışması	FAAR	OC TASK
41	Filtre bypass valfi	HK-MYA-11	Valf gövdesinde çatlak, kırılma	FAAS	OC TASK
42	Filtre mekanizması	HK-MYA-12	Tıkanma	FAAT	HT TASK

1:Yüksek basınç yakıt enjeksiyon pompası; YPAMD: Yakıt pompası aktüatör muhafazasında deformasyon; CDBPYS: Common rail dişli tip besleme pompasında yakıt sızıntısı; EYKADKD: Elektronik yakıt kontrol aktüatör devresinde kısa devre

Çizelge 7. Motor bakım görevleri.

Table 7. Engine maintenance tasks.

Görev	Açıklama	Kaç Adet
OC TASK	Görsel kontrol, işlerlik kontrolü, CİT, kalibrasyon, ayarlama görevleri	16
LUB/SERV TASK	Yağlama, gresleme, sıvı bütünleme, sıvı değiştirme, gaz basma görevleri	6
HT TASK	Planlı sökme/takma görevleri	1
COMB OF TASKS	OC TASKS+ HT TASKS	16
FF TASK	Güvenlik ile ilgili konularda hata ayıklama	1

Çizelge 7'deki açıklamalardan izlenebileceği gibi görevlerin büyük kısmı Görsel kontrol, işlerlik kontrolü, CİT, kalibrasyon, ayarlama görevleri (OC TASK) üzerinde yoğunlaşmıştır. Sistem arızalarının kritikliklerine göre

önceliklendirmesi ile Çizelge 6 ve Çizelge 7 de görülen arıza – bakım görevi eşleştirilmesi önleyici bakım planlamasının temelini oluşturmaktadır.

Sonuç

Öngörülen hataların; oluşma sıklığı, ağırlık sınıfı, hata etki olasılığı, hata modu oranı, çalışma zamanı, hata modu kritikliği ve parça kritikliği parametrelerinin çarpımları ile kritiklik seviyesi belirlenmiştir. Bu kapsamda kritiklik değeri 80000 ve üzeri durumların öncelikli ele alınması gerektiği saptanmıştır. Elde edilen sonuç ile traktör bakım planlamasına dahil edilmesi gereken noktalar aracın görevini etkileyen kritik fonksiyonlarına göre belirlenebilmektedir.

İşletmelerin makine parkındaki traktörler için bakım planlarının, beklenen kritik fonksiyonlara etkisine göre;

- Arıza oranlarındaki azalma ile plansız arıza bekleyişlerinin azaltılması,
- Arıza oranlarındaki azalma ile güvenilirlik oranının artması,
- Traktörün kritik fonksiyonlarına etkisi olmayan bakım görevlerinin elimine edilmesi ile bakım görevlerinde malzeme ve işgücü gereksinimlerinin azaltılması,
- Bakım sürelerinin kısalması ile traktörün operasyonel hazır olma oranlarının artırılması,
- Düzeltici ve önleyici bakım görevleri için bakım noktalarında tutulan yedek parça vb. malzemelerin stoklama maliyetlerinin azaltılması,
- Traktör tasarım sürecinde; bakım ekipmanı tasarımı, teknisyen eğitimi ve sorun giderme çalışmalarının optimize edilebilmeleri için veritabanı oluşturulmasına önemli katkı sağladığı görülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan traktör içinde motor dışındaki diğer alt sistemleri için de oluşturulacak GMB analizleri sonucunda oluşturulacak bakım görev havuzundaki görevleri birleştirilerek periyodik bakım planlamasının optimize edilebileceği görülmüştür.

Kaynaklar

Afey I. 2010, Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. doi:10.4236/eng.2010.211109 Published Online November 2010 (<http://www.scirp.org/journal/eng>). *Engineering*, 2010, 2, 863-873

- Anadhi M, Mareeswaran M, Ayyvoo G, Dillibabu R. 2014. Optimization of Productivity through Reliability Centered Maintenance in Agro-Based Industries. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, pp: 2278-1684
- Anonim, 2009. TAI, 2009. Lojistik Mühendisliği Eğitim Notları
- Anonim, 2018. TAGEM, Tarımsal Mekanizasyon Sektör Politika Belgesi 2018-2022, 67 s. (erişim tarihi: 10.03.2019).
- Anonymous, 2003. PTC Reliability Practitioner. Guide Data Tables, S: Annex-A.
- Anonymous, 1980. MIL STD 1629 Procedures For Performing A Failure Mode, Effects, And Criticality Analysis,
- Anonymous, 2022. <https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/2022/creating-initial-scheduled-maintenance-plans-for-aircraft-msg-3>, erişim tarihi: 21.09.2022.
- Barlow R, Hunter L. 1960. Optimum Preventive Maintenance Policies. *Operations Research* 1060. 8: 90-100.
- Dekker R. 1996. Applications of maintenance optimization models: A review and analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 51(3): 229-240.
- Işın Z. 2009. Ömür Devri Maliyet Analiz Yaklaşımı ve Savunma Projelerinde Uygulamaları, *Savunma Sanayi Gündemi*, 2009, S: 39-43
- Jin L, Yamamoto W. 2017. Adaptive Age Replacement Using On-Line Monitoring, *Procedia Engineering* 174: 117-125
- Khodabakhshian R, 2013. A Review of Maintenance Management of Tractors and Agricultural Machinery: Preventive Maintenance Systems Lyonet, P. 1991. *Maintenance Planing: Methods and Mathematics*, Capman&Hall, S: 2
- Tarar MA. 2014, Study Reliability Centered Maintenance (RCM) of Rotating Equipment through Predictive Maintenance, 2nd International Conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014), March 21-22, 2014 Dubai (UAE)
- Vishnu CR, Regikumar V. 2016. Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study, *Global Colloquium in Recent Advancement and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology (RAEREST 2016)*, S: 1080-1087
- Vilarinho S, Lopes I, Oliveira J. 2017, Preventive maintenance decisions through maintenance optimization models: a case study. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy
- Yssaad B, Khiat M, Chaker A. 2014, Reliability centered maintenance optimization for power distribution Systems, *Electrical Power and Energy Systems* 55 (2014) 108-115, journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijepes