

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİLO ARAÇLARI BAKIM ÇİZELGELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Hüseyin Uğur ÇIRAK

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Baha GÜNEY

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

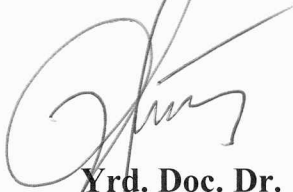
FİLO ARAÇLARI BAKIM ÇİZELGELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Hüseyin Uğur ÇIRAK

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19 / 06 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Yrd. Doç. Dr.
Baha GÜNEY
Jüri Başkanı**



**Yrd. Doç. Dr.
İmdat TAYMAZ
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.
Mümtaz İPEK
Üye**

Bu tez, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAPK) Başkanlığı tarafından 2008- 50- 01- 016 referans numarası ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca daima beni destekleyen, bilgisini paylaşan ve en önemlisi mesai kavramı olmadan çalışmalarına yön veren tez danışmanım, hocam; Sayın Yrd. Doç. Dr. Baha GÜNEY'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok sevdiğim aileme; en sıkıntılı zamanlarda çalışma azmimi yeniden kazanmama yardımcı olan sevgili nişanlım Rukiye ŞAH'a, her zaman örnek aldığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYMAK'a, desteğini uzaklardan da olsa hissettiren Elektrik-Elektronik Yük. Müh. Melikşah ÖZAKTÜRK'e ve Yüksek Lisans eğitimim sırasında burslarıyla beni onurlandıran TÜBİTAK Bilim ve İnsan Destekleme Daire Başkanlığına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tramvay filosu işletme ve bakım verilerini sağlamalarından dolayı İstanbul Ulaşım A.Ş'ye, yazılım konusunda her an beni bilgileriyle destekleyen Bil. Müh. Faruk ÇANKAYA'ya, kaynak araştırmasında yardımcı olan Mak. Müh. Erhan IŞIK'a ve MKE Kapsül Fabrikası Üretim Müdürlüğü çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim.

Hüseyin Uğur ÇIRAK

Haziran 2009

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BAKIM.....	3
2.1. Bakım Kavramı.....	3
2.1.1. Sistem bakım kavramı.....	5
2.2. Tarihsel Gelişimi.....	6
2.3. Bakım Faaliyetlerinin Amacı.....	6
2.4. Bakım Sisteminin Önemi.....	7
2.5. Hedefler.....	7
2.6. Bakımın İşletmedeki Yeri ve Diğer Birimlerle İlişkisi.....	8
2.6.1. Bakımın işletmedeki yeri.....	8
2.6.2. Bakımın diğer birimlerle ilişkisi.....	8
2.7. Tamir Bakım Faaliyetlerinin Üretime Etkisi.....	9
2.8. Arızalanma Tipleri.....	11
2.8.1. Mekanik sistemlerin arızalanma karakteristiği.....	11
2.8.2. Elektrik-Elektronik sistemlerin arızalanma karakteristiği.....	12

2.8.3. Yazılım sistemlerin arızalanma karakteristiği.....	12
2.9. Bakım Faaliyetleri ve Bakım Tipleri.....	13
2.9.1. Plansız bakım.....	13
2.9.2. Planlı bakım.....	13
2.9.2.1. Planlı bakımın amacı.....	13
2.9.2.2. Planlı bakımın yararları.....	14
2.9.2.3. Planlı bakım türleri.....	15
2.9.2.4. P.B programının hazırlanmasında izlenecek yollar...	16
2.10. Bakım Planlamasında Maliyet Unsuru.....	16
2.10.1. Bakım maliyeti.....	16
2.10.2. Bakım harcamalarının gruplandırılması.....	20
2.11. Filo Bakım.....	21
2.11.1 Filo bakım yönetimi.....	22
BÖLÜM 3.	
ÇİZELGELEME.....	23
3.1. Çizelgeleme Problemleri.....	23
3.2. Çizelgeleme Türleri ve Kullanım Alanları.....	25
3.2.1. İş tabanlı çizelgeleme.....	26
3.2.2. Operasyon tabanlı çizelgeleme.....	26
3.2.2.1. Network tabanlı modelleme.....	26
3.2.2.2. Simülasyon tabanlı modelleme.....	27
3.2.2.3. Matematiksel modelleme.....	28
3.3. Bakım Çizelgeleme.....	28
3.3.1. Bakım çizelgeleme ile ilgili yapılmış çalışmalar.....	29
BÖLÜM 4.	
SİMÜLASYON VE MODELLEME.....	35
4.1. Simülasyonun Tanımı.....	35
4.2. Simülasyon Süreci.....	42
4.2.1. Model formülasyonu ve planlama.....	42
4.2.2. Veri toplanması.....	43
4.2.3. Model geliştirme.....	44

4.2.4. Doğrulama.....	44
4.2.5. Değerlendirme.....	45
4.2.6. Denemeler.....	47
4.2.7. Deneysel tasarım.....	48
4.2.8. Sonuçların analizi ve dökümantasyon.....	49
4.2.9. Uygulama.....	49
4.3. Simülasyonun Uygulama Alanları.....	50
4.4. Simülasyonun Avantajları.....	51
4.5. Simülasyonun Dezavantajları.....	52
4.6. Simülasyon Modelleri.....	53
4.6.1. Monte carlo simülasyonu.....	53
4.6.1.1. Monte carlo simülasyon modelinin matematisel analizi	56
BÖLÜM. 5	
İSTANBUL ULAŞIM A.Ş.' DE FİLO BAKIM YÖNETİMİ.....	61
5.1. İstanbul Ulaşım A.Ş.....	61
5.2. Ulaşım A.Ş.' de Kullanılan Araç Filoları.....	61
5.2.1. Hafif metro.....	61
5.2.2. Metro.....	62
5.2.3. Tramvay.....	62
5.3. Ulaşım A.Ş. Araç Güzergahları.....	63
5.3.1. Kabataş- Zeytinburnu arasında çalışan tramvay araçları.....	65
5.4. Ulaşım A.Ş.' de Filo Yapısı ve Bakımlar	66
5.4.1. Düşük tabanlı tramvay aracına ilişkin bilgiler.....	67
5.4.1.1. Tramvay aracına yapılan bakımlar.....	68
5.4.1.2. Ulaşım Bilgi Sistemi (UBS).....	71
BÖLÜM 6.	
UYGULAMA.....	74
6.1. Tramvay Filo Bakımı.....	74
6.2. Amaç.....	75
6.3. Kabuller.....	75
6.4. Tramvay Bakım Optimizasyon Projesi (TRBOP).....	80

6.5. Veri Analizi.....	101
6.5.1. SPSS’de uygun analiz türünün belirlenmesi.....	114
6.5.2. T- Testi.....	121
6.5.3. Paired-sample t-testi (Eşleştirilmiş örneklem t- testi).....	122
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	126
KAYNAKLAR.....	130
EKLER.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	134

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TB	: Tamir bakım
GA	: Genetik algoritma
KB	: Koruyucu bakım
SA	: Tavlama benzetim algoritması (Simulated annealing)
TÜB	: Toplam üretken bakım (Total Productive Maintenance)
APS	: İleri planlama ve çizelgeleme
LP	: Lineer programlama
F	: Bakım sıklığı
D	: Gecikme miktarı
UBS	: Ulaşım bilgi sistemi
B2	: 20.000 km'lik Bakım
B4	: 40.000 km'lik Bakım
B8	: 80.000 km'lik Bakım
B16	: 160.000 km'lik Bakım
TRBOP	: Tramvay Bakım Optimizasyon Projesi
TBS	: Toplam bakım süresi
OBS	: Ortalama bakım süresi
BBS	: Boş bekleme süresi
İ.B.B.	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
UITP	: Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği
M.B.S.	: Mevcut bakım sistemi
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
NP	: Non- Polinomial

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması.....	3
Şekil 2.2.	Endüstride bakımın önemi.....	6
Şekil 2.3.	Mekanik sistem arıza karakteri.....	11
Şekil 2.4.	Elektrik – elektronik sistemlerin arıza karakteri.....	12
Şekil 2.5.	Yazılım sistemi arıza karakteri.....	12
Şekil 2.6.	Bakım- onarım çalışmalarında ortaya çıkan maliyetler.....	18
Şekil 4.1.	Fiziksel model akış diyagramı.....	40
Şekil 4.2.	Simülasyon aşamaları algoritması.....	46
Şekil 4.3.	Gelişigüzel sayıların frekansa bağlı grafiği.....	57
Şekil 4.4.	Gelişigüzel sayı eksenine n-tane sonuç bölgesinin yerleştirilmesi	59
Şekil 4.5.	Gelişigüzel sayı gelme olasılığı dağılımı.....	60
Şekil 5.1.	Ulaşım A.Ş filusunun güzergahı.....	64
Şekil 5.2.	Esenler bakım atölyesinin görünümü.....	66
Şekil 5.3.	Atölyeden bir görünüm.....	68
Şekil 6.1.	Bakımların gelme olasılığı.....	77
Şekil 6.2.	TRBOP akış diyagramı.....	81
Şekil 6.3.	TRBOP'un el yordamıyla çalışmasının akış diyagramı.....	83
Şekil 6.4.	Mevcut bakım sisteminin fiziksel görünümü.....	85
Şekil 6.5.	Artan bakım senaryolarının fiziksel görünümü.....	86
Şekil 6.6.	Azalan bakım senaryosunun fiziksel görünümü.....	87
Şekil 6.7.	TRBOP'un ekran çıktısı.....	89
Şekil 6.8.	Programın boş ekranı.....	89
Şekil 6.9.	TRBOP ekran görünümü.....	90
Şekil 6.10.	M.B.S.'de ağır mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	91
Şekil 6.11.	M.B.S.'de mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	91
Şekil 6.12.	M.B.S.'de elektrik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	91

Şekil 6.13.	M.B.S.'de tramvayların bakım süreleri.....	92
Şekil 6.14.	Bakım istasyonlarının performansının görünümü.....	92
Şekil 6.15.	Mevcut bakım sisteminde TB ve boş bekleme süreleri.....	93
Şekil 6.16.	Artan bakım senaryosunun TRBOP ekranında görünümü.....	94
Şekil 6.17.	Artan bakım senaryosunda ağır mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	94
Şekil 6.18.	Artan bakım senaryosunda mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	94
Şekil 6.19.	Artan bakım senaryosunda elektrik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	95
Şekil 6.20.	Artan bakım senaryosunda tramvayların bakım süreleri.....	95
Şekil 6.21.	Bakım istasyonlarının performanslarının görünümü.....	96
Şekil 6.22.	Artan bakım senaryosunun TB ve boş bekleme süreleri.....	96
Şekil 6.23.	Azalan bakım senaryosunun TRBOP ekranında görünümü.....	97
Şekil 6.24.	Azalan bakım senaryosunda ağır mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	98
Şekil 6.25.	Azalan bakım senaryosunda mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	98
Şekil 6.26.	Azalan bakım senaryosunda elektrik bakım ekibinin çalışma süreleri.....	98
Şekil 6.27.	Azalan bakım senaryosunda tramvayların bakım süreleri.....	99
Şekil 6.28.	Bakım istasyonlarının performanslarının görünümü.....	99
Şekil 6.29.	Azalan bakım senaryosunun TB ve boş bekleme süreleri.....	100
Şekil 6.30.	Bakım politikalarının kıyaslanması.....	100
Şekil 6.31.	Mevcut bakım senaryosu – Artan bakım senaryosu grubunun ekran çıktısı.....	102
Şekil 6.32.	Mevcut bakım senaryosu – Azalan bakım senaryosu grubunun ekran çıktısı.....	103
Şekil 6.33.	Artan bakım senaryosu – Azalan bakım senaryosu grubunun ekran çıktısı.....	103
Şekil 6.34.	Mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosunun bakım bilgilerinin SPSS'e girilmesi.....	107
Şekil 6.35.	SPSS'de bakım değerlerinin grafikte gösterimi.....	108

Şekil 6.36.	Artan ve Mevcut bakım senaryolarının kıyaslanması.....	109
Şekil 6.37.	Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun bakım bilgilerinin SPSS'e girilmesi.....	109
Şekil 6.38.	Azalan ve Mevcut bakım senaryolarının kıyaslanması.....	110
Şekil 6.39.	SPSS'de bakım değerlerinin grafikte gösterimi.....	111
Şekil 6.40.	Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun bakım bilgilerinin SPSS'e girilmesi.....	112
Şekil 6.41.	SPSS'de bakım değerlerinin grafikte gösterimi.....	113
Şekil 6.42.	Artan ve azalan bakım senaryolarının kıyaslanması.....	113
Şekil 6.43.	SPSS'de normal dağılıma uygunluk testi.....	115
Şekil 6.44.	One- sample kolmogorov- smirnov testi.....	116
Şekil 6.45.	SPSS'de verilerin gruplandırılması.....	118
Şekil 6.46.	SPSS'de verilerin homojenliğinin analizi.....	119
Şekil 6.47.	SPSS iletişim kutusu.....	119
Şekil 6.48.	Paired-Sample T -Test iletişim penceresi.....	123
Şekil 6.49.	Güven aralığı iletişim kutusu.....	123

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1.	20.000 km'lik bakım için mekanik bakım formu.....	69
Tablo 5.2.	Tramvay araçları haftalık bakım listesi.....	70
Tablo 6.1.	Kilometreler ve yapılacak bakımlar.....	76
Tablo 6.2.	Bakım aralıklarının belirlenmesi.....	77
Tablo 6.3.	Örnek rassal sayı atanması.....	78
Tablo 6.4.	Bakım ekiplerinin süre dağılımı.....	78
Tablo 6.5.	Mevcut bakım sistemi ile ilgili bakım bilgileri	85
Tablo 6.6.	Artan bakım senaryosu ile ilgili bakım bilgileri.....	86
Tablo 6.7.	Azalan bakım senaryosu ile ilgili bakım bilgileri.....	87
Tablo 6.8.	M.B.S. ile artan bakım senaryosunun kıyaslanması.....	104
Tablo 6.9.	M.B.S. ile azalan bakım senaryosunun kıyaslanması.....	105
Tablo 6.10.	Artan bakım ile azalan bakım senaryosunun kıyaslanması.....	106
Tablo 6.11.	M.B.S. ve Artan bakım sürelerinin SPSS'de analizi.....	108
Tablo 6.12.	M.B.S. ve Azalan bakım sürelerinin SPSS'de analizi.....	110
Tablo 6.13.	Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun SPSS'de analizi.....	112
Tablo 6.14.	Normal dağılım uygunluk tablosu.....	114
Tablo 6.15.	Normal dağılım uygunluk tablosu.....	117
Tablo 6.16.	Normal dağılım uygunluk tablosu.....	117
Tablo 6.17.	SPSS'de verilerin homojenliğinin test edilmesi.....	120
Tablo 6.18.	SPSS'de verilerin homojenliğinin test edilmesi.....	120
Tablo 6.19.	SPSS'de verilerin homojenliğinin test edilmesi.....	120
Tablo 6.20.	M.B.S ile artan bakım senaryosunun karşılaştırılması.....	124
Tablo 6.21.	M.B.S. ile azalan bakım senaryosunun karşılaştırılması.....	124
Tablo 6.22.	Artan bakım senaryo ile azalan bakım senaryosunun karşılaştırılması.....	125

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bakım Planlama, Simülasyon Modelleme, Çizelgeleme

Günümüzde şehirlerde artan nüfusa paralel olarak ulaşım sorunları da ortaya çıkmaktadır. Bu sorunların çözümü için yerel yönetimler raylı toplu taşıma sistemine büyük yatırımlar yapmaktadır. Raylı ulaşım ağı genişledikçe sistemin aksamadan, verimli şekilde çalışması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması için bakım faaliyetleri önem kazanmıştır. Araçların düzgün çalışması, düzenli aralıklarla yapılacak önleyici bakım işlemleri ile sağlanabilir. Böylece meydana gelebilecek muhtemel ekipman arızaları asgari seviyeye indirerek, bu arızaların araçlara ve ticari servise vereceği zararlar önlenebilir ve araçların istenen performansda çalışması sağlanır. Önleyici bakımın uygulanabilmesi için periyodik bakım faaliyetlerinin mevcut kısıtlar altında çizelgelenmesi gerekmektedir. Çizelgeleme problemleri, kısıtlarımızı kullanarak en iyi çözümü bulma problemleridir. Çözüm için geliştirilen modeller ve problem temsilinde kullanılan veri biçimleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu tür problemlerin belirli kısıtlar altında çözümünün gerçekleştirilmesi klasik matematiksel yöntemlerle çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Gerekli kabulleri yaparak simülasyon modelleme yöntemi ile çözümlenmelere ulaşılabilir.

Bu çalışmamızda İstanbul'un raylı toplu taşıma sisteminin kullanılan tramvay filosuna uygulanan bakım politikaları ele alınmıştır. Bunun içinde ilk önce İstanbul Ulaşım A.Ş. Pazartekke Bakım Atölyesindeki tramvay filosu ve bakım faaliyetleri incelenmiştir. 55 adet tramvay aracı için hazırlanan haftalık bakım periyodunda belli kabuller yapılarak ve simülasyon modelleme sistemi kullanılarak farklı senaryolar için bakım filosunun haftalık bakım süreleri çizelgelenmiştir. Uygulanan bakım politikası ile tezimizde geliştirdiğimiz bakım politikaların toplam bakım süreleri, istasyonların toplam boş bekleme süreleri ve bakım ekipmanlarının verimlilikleri birbirleriyle karşılaştırılmış, son olarak da elde edilen bakım verileri SPSS'de ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Uygun bakım politikasının tespiti yapılmıştır.

FLEET MAINTENANCE SCHEDULING

SUMMARY

Keywords: Maintenance Planning, Simulation Modelling, Scheduling

Nowadays, increasing in population of cities naturally results in transportation problems as well. To solve these problems, local governments have mainly invested in rail public transportation systems. With the expansion of rail transportation network, it is important to provide maintenance services so as to sustain operation of the system efficiently and increase availability of fleet and passenger satisfaction. The maintenance process should be done by means of effective and timely preventive maintenance in order to make vehicles work properly. Thus, the failures which may occur during operation could be prevented thus eliminates bad effects on commercial services and total useful lifetime of the vehicles are extended. To be able to apply the preventive maintenance, the maintenance services are required to be scheduled. However, there are some constraints as available number of maintenance teams, physical limitations as maintenance workshop area. The scheduling problems are to find the best solution under constraints. Those models developed for solutions are quite different depending on the model used in problem representation. It is generally not easy to solve complex problems under certain constraints by the use of mathematical modelling. By use of simulation modelling method, the solution can be obtained with application of certain assumptions.

In this thesis, effects of different maintenance policies on some maintenance performance criteria are investigated. The study is applied to tram fleet operating in the public rail transportation system of Istanbul. The tram fleet and maintenance process at Istanbul Transportation Co. Pazartekke Maintenance Workshop were analyzed first. The weekly working of maintenance teams under different scenarios was scheduled by using of simulation modelling system and the weekly maintenance plan prepared for 55 trams. The existing maintenance policy and the maintenance policies developed in this thesis were compared in terms of their effect on total maintenance time, the idle time of the tram maintenance stations and the efficiency of the maintenance teams. Finally, the obtained maintenance data were analysed comprehensively in the SPSS software to see how much new developed policies improve the performance of the tram maintenance system.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Üretim, toplumun varlığı ve gelişmesi için gerekli olan nesnelere sağlamak amacıyla yapılan faaliyetlerin tümüdür. Bu faaliyetlerin yapılabilmesi için bazı operatörlere ihtiyaç vardır. Bu operatörler makine, alet ve teçhizatlardır.

Makine, alet ve teçhizatlar kullanıldıkça yıpranmaya, bunun sonucu olarak da arızalanmaya, fonksiyonlarını tam anlamıyla yerine getirememeye, kalitede düşüklüğe ve işletme maliyetlerinin artmasına sebebiyet verebilirler.

İşletmeler, üretim planlarının tutarlı olmasını isterler. Bunun yanında duruş zamanlarını minimize edip tüm zamanı üretim fonksiyonlarını yerine getirmek için çaba sarf ederler. Çünkü her duruştan kaynaklanan kayıp zaman ve kayıp üretim, işletmenin maliyetlerini kat kat artırmaktadır. İşte bu noktada bakım planlamanın önemi anlaşılmış olacaktır.

Yapılan bakım planlamanın etkinliği ile bu duruş zamanları minimize edilmeye çalışılır. Ayrıca kullanılan makine, alet ve teçhizatın faydalı ömrü de uzatılarak işletme uzun süreli makine yenileme fiyatlarına ulaşır.

Büyük şehirlerde trafik ve ulaşım probleminin çözümü için dünyanın birçok ülkesinde raylı sisteme önem verilmiş ve trafik problemleri hafifletilmiştir. Ülkemizde, raylı sistemlere verilen önem son yıllarda artmış ve günümüzde toplu ulaşımda büyük öneme sahip duruma gelmiştir. Büyük şehirlerimizde karayolu taşımacılığında yaşanan darboğazların yol açtığı trafik sıkışıklığının hafifletilmesi için raylı toplu ulaşım sistemlerine yapılan yatırımlar giderek artmaktadır. Raylı sistemlerin aksamadan ve verimli çalışabilmesi için bakım faaliyetlerinin önemi bu yatırımlar doğrultusunda artmıştır.

Raylı sistem araçlarımızı hizmet verir durumda tutmak, müşteri memnuniyeti ve sistemin devamlılığı açısından kaçınılmazdır. Hizmet sistemlerinde destek faaliyetlerinden biri olan bakım faaliyeti, maliyetlerin kontrol altına alınabilmesi ve bu sistemlerin çalışma düzeyinin ideal seviyede tutulması noktasında konumu ihmal edilemeyecek bir düzeydedir. Bu nedenle zamanında ve gerektiğinde yapılmayan bakım faaliyetleri yüzünden sistemler ve makineler görevlerini yerine getiremez duruma gelmektedirler. Bu yüzden bakım faaliyetlerinin yönetiminde devamlılığın sağlanması gerekmektedir.

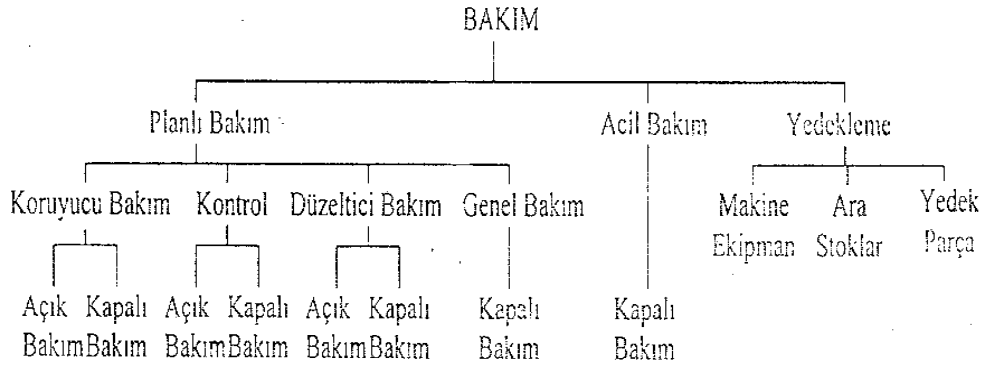
Bu çalışmamızda ülkemizin en büyük nüfusuna sahip İstanbul'daki mevcut Tramvay, Metro ve Hafif metro işletmeciliği yapan Ulaşım A.Ş tarafından, mevcut tramvay hattı ve inşa edilecek olan yeni tramvay hatlarında kullanılmak üzere satın alınan 55 adet tramvay araç filosunun bakımının zamanında yapılmasında maliyet kısıtını da göz önüne alarak istenilen sürelerde periyodik bakımlarını yapmak, bakım ekiplerinin atıl zamanlarını azaltmak ve istasyonların verimliliğini arttırmak için yeni bakım politikaları geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu bakım politikaları geliştirirken de günümüzde Ulaşım A.Ş'nin uyguladığı bakım sisteminde bazı kabuller yaparak benzetim modelleri geliştirilerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bakım politikalarını geliştirirken de MS Visual Studio .Net C# programlama dilinden yararlanarak farklı senaryolara göre karşılaştırma yaparak en iyi bakım zamanı, istasyonların en az boş kalma zamanı ve bakım ekipmanlarında en fazla verimi alacak bakım politikaları birbirleriyle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

BÖLÜM 2. BAKIM

2.1. Bakım Kavramı

Sürekliliği sağlamak ve istenilen performansı elde etmek için yapılan faaliyetlere bakım adı verilir. Günümüz endüstrisinde önemi gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu durum işletmeye içinde bulunduğu ürün pazarında rakip firmalarla rekabet edebilme gücü sağlamaktadır. Çünkü bakım yapılmak suretiyle üretilen ürünlerin kalitesinde azalma yaşanmadan, işletmeyi ek maliyetlerden kurtararak bu gücü elde edebilir hale getirmektedir.

Bakım sistemleri herhangi bir üretim veya hizmet tesisinde, kurulu sistemin çalışmasının kabul edilebilir bir düzeye çıkartılması veya böyle bir düzeyde tutulması için yapılan planlı veya plansız tüm faaliyetleri kapsar. Bakım faaliyetleri Şekil 2.1'de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1. Bakım faaliyetlerinin sınıflandırılması

Planlı bakım faaliyetleri üretim sistemindeki beklenmedik arıza ve bozulmaların ihtimalini azaltmak amacı ile önceden belirlenmiş zamanlarda yapılan ve önceden belirlenmiş işleri kapsayan faaliyetlerdir. Koruyucu bakımda, ilgili faaliyetlerin

zaman aralıkları, süreleri, işgücü, yedek parça ve diğer kaynak gereksinimleri ilgili makine ve ekipmanın özelliklerine ve geçmiş tecrübelerle dayanarak önceden belirlenir ve zaman içinde sık değişmez. Kontrol faaliyetleri de koruyucu bakım faaliyetlerine benzerler, ancak süreleri kısa işgücü ve kaynak gereksinimleri çok azdır ve düzeltici bakımlara yol açabilirler. Düzeltici bakımda ise ilgili faaliyetlerin süreleri, işgücü, yedek parça ve diğer kaynak gereksinimleri kontrol ve acil bakım faaliyetleri raporlarına ve üretim birimlerinden gelen talep ve ikazlara göre belirlenir ve bir uygulamadan diğerine çok farklı olabilir. Bu tip bakımlarda zaman aralıkları da sabit değildir ve gelen talep ve ikazlara olduğu kadar ilgili makinenin (üretim, bakım veya başka bir kaynaklı) planlanmış duruşlarına yakından bağlıdır. Gene arıza ve bozulmaları azaltmaya yönelik olarak, makine ve ekipmanın bazı spesifik karakteristiklerinin (ısı, titreşim, çatlaklar gibi) özel cihazlarla sürekli veya periyodik olarak denetlenmesi ve yapılan gözlemlere göre ilgili bakım işlerinin tanımlanması ve icrası "kestirimci bakım" olarak adlandırılır ve düzeltici bakım sınıfına girer. Kestirimci bakım faaliyetlerinin de zaman aralıkları, süreleri, işgücü, yedek parça ve diğer kaynak gereksinimleri bir uygulamadan diğerine çok farklı olabilir. Genel bakım faaliyetleri bakım amacı ile bütün üretim tesisinin uzunca bir süre (2 ile 6 hafta) üretime ara verdiğinde yapılan faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin de zaman aralıkları, süreleri, işgücü ve kaynak gereksinimleri önceden belirlidir ve zaman içinde sık değişmez.

Acil bakım faaliyetleri ise bir anlamda "yangın söndürme" faaliyetlerine benzerler. Bu tanım ancak ihtiyaç ve acil durum hasıl olduğunda ve bozulmalara müdahaleye yönelik faaliyetleri kapsar. Burada önemli olan acil duruma en kısa sürede ve en etkin biçimde müdahale edebilmek, oluşabilecek tehlike, hasar ve üretim kaybını en aza indirebilmektir. Bazı hallerde makine ve ekipmanı en kısa sürede çalışır duruma geçirebilmek için geçici tamirat yapılması (ve zaman alıcı asıl tamiratın düzeltici bakım gibi müsait bir zamana ertelenmesi) da bu tip faaliyetler arasındadır. Açık bakım ilgili makine ve ekipmanın üretim faaliyetlerine devam ederken yapılabilen bakımları, kapalı bakım ise ancak ilgili makine ve ekipmanın üretim faaliyetlerini durdurduğu (veya ara verdiği) zaman yapılabilen bakımları ifade eder.

Yedekleme faaliyetleri üretim süreci için kritik bazı makine ve ekipmanın (veya bunların parçaları ile çıktılarının) yedeklerinin (stoklarının) hazır bulundurulmasına yöneliktir. Makine ve ekipmanın yedeklenmesi durumunda, çalışan bir makinede arıza olduğunda, yedeği hemen devreye sokularak üretim aksaması önlenir. Ara stokların bulundurulması durumunda ise, çalışan bir makinede arıza olduğunda o makinenin çıktıları üzerine yapılan diğer üretim faaliyetlerine ara stoklar kullanılarak devam edilir ve bu şekilde, en azından kısa bir süre için, üretimin aksaması önlenir. Yedek parça stoklanması ise, bilhassa acil bakımlarda, ilgili makinenin en kısa sürede çalışır duruma getirilmesine yöneliktir. Bakım faaliyetleri tesislerin en kritik faaliyetleri arasındadır. Birçok kuruluşta bakım faaliyetleri işçilik, malzeme, enerji ve üretim maliyetlerinin azaltılmasında ve ürün kalitesinin artırılmasında anahtar rolü oynar. Ancak ilgili bakım yöneticileri dışında, kuruluş üst yönetimlerinin genellikle bu faaliyetlerin hayatîyetinin tam bilincinde olduğu söylenemez. Zira bakım faaliyetleri ile yatırım maliyetleri, yedek parça stokları, müşteri güveni, makine parkı teknoloji seviyesi, işgücü eğitimi ve tecrübesi, yönetici becerisi ve üst yönetim stratejileri arasında hassas ilişkiler ilk bakışta görülmeyebilir.

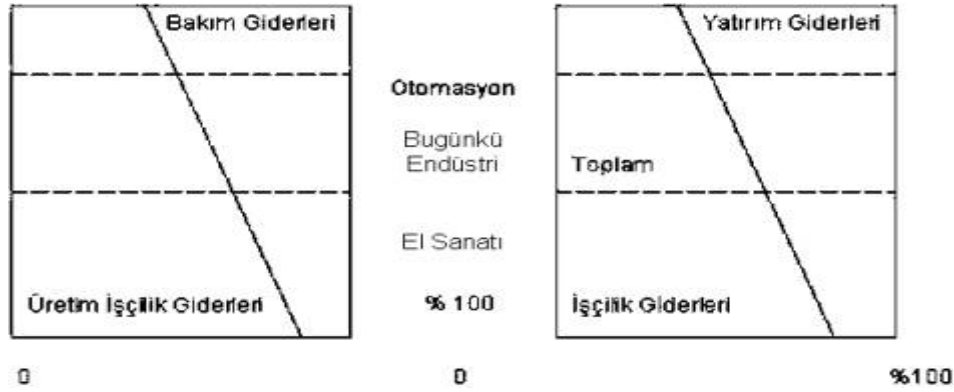
2.1.1. Sistem bakım kavramı

Arızaların, sistemin servis düzeyini etkilemeden önce tespit edilmesi ve giderilmesi suretiyle, sistem kesinti süresi en aza indirilir. Bu aşağıdaki ölçütlerin bakım faaliyetlerine dâhil edilmesiyle sağlanmaktadır:

- a) Dikkatlice planlanan muayenelerin yapılması (önleyici bakım),
- b) Her bir birim için gerekli bakım derecesinin belirlenmesi,
- c) Yeterli miktarda yedek parça, özel alet ve test donanımının bulundurulması,
- d) Etkin bir arıza ve bakım bildirim sisteminin uygulanması.

2.2. Tarihsel Gelişim

Bakım, aletin ilk icat edildiği veya işletmeye konduğu andan itibaren var olan bir operasyondur. Endüstri geliştikçe ve otomasyona gidildikçe yatırım giderleri artmakta, işçilik giderleri azalmaktadır. Yatırım giderlerine bağlı olarak bakım giderleri de artmaktadır.



Şekil 2.2. Endüstride bakımının önemi

Büyük teknolojik sıçramalarla gelişen endüstri çağında özellikle gelişmekte olan ülkemizde birçok hallerde, iyi eğitilmiş ve yetenekli işçi yetersizliği ile karşılaşılmaktadır. Bakım yöneticileri gerekli bakım işlerini yürütebilmek için her zaman uygun vasıfta yeteri kadar eleman temini için yapacağı talepleri genellikle pek dikkate almazlar. Yöneticiler, üretimde daha fazla eleman çalıştırılmakta olduğunu dikkate alarak o yönde daha çok çaba harcarlar ve bakımda bir yetenekli elemana sahip olmanın, on adet yeteneksiz üretim işçisinden daha iyi olduğu gerçeğini kolayca unuturlar.

2.3. Bakım Faaliyetlerinin Amacı

Bakım sisteminde zamanla arızalar meydana gelebilir ve bunlar üretim veya hizmet sürecinin aksamasına, dolayısıyla kayıp zamanların çoğalmasına sebebiyet verebilir. Bir üretim tesisindeki bakım politikaları, bakım sistemlerinin en etkin ve verimli bir biçimde çalışmasını sağlayarak sistemden elde edilecek faydanın maksimuma

yakınlaşmasını sağlamaktır. Bu ana amaç doğrultusunda alt amaçlar da şu şekilde sıralanabilir:

- a) Arıza sebebiyle duruşları en aza indirmek ve yatırım karlılığını korumak,
- b) Makine ve ekipmanın işler halini sürdürmesini sağlamak,
- c) Makine ve ekipmanın ömrünü uzatmak,
- d) Ürünleri kalite düzeyini korumak,
- e) Iskartayı azaltarak israfı önlemek,
- f) Arıza sebebiyle oluşabilecek kazaları en aza indirmek,
- h) Üretim planlarının etkinliğini sağlamak.

2.4. Bakım Sisteminin Önemi

Gelişen toplumun değişen isteklerini tam anlamıyla eksiksiz karşılamaya çalışan üretim sistemlerine ulaşabilmek için bakım uygulamaları önem arz etmektedir. Bu işletmeler için bakımın önemini şöyle sıralayabiliriz:

- a) Daha fazla yatırım - Mekanizasyonun artması,
- b) Daha fazla otomasyon-Makinelerin karmaşıklığının artması,
- c) Yedek parça ve bakım malzemeleri çeşidinin artması,
- d) Daha yüksek maaş ve ücret düzeyi,
- e) Diğer teşebbüsler ile rekabet,
- f) Daha yüksek üretim kalitesi,
- g) Teslim tarihlerinin daha düzenli olması ihtiyacı.

2.5. Hedefler

Bakım planlamasının hedeflerini kısaca şöyle sıralayabiliriz:

- a) İşletmenin olanaklarının (tesis, makine, teçhizat ve binaların) faydalı ömrünü uzatmak.
- b) Yıpranmayı ve eskimeyi en düşük düzeye indirerek işletmenin değerini korumak.
- c) Makinelerin ve donanımın üretim için emre hazır sürelerini en yüksek düzeyde tutmak.
- d) Mamulün kalite düzeyini koruyacak veya arttıracak şekilde işletme olanaklarının kaliteli olmalarını sağlamak.
- e) Acil durumlar için bulundurulmuş bütün, yedek üniteler, kurtarma teçhizatı, yangın söndürme tesisi vb donanımların çalışır durumda hazır bulunmasını sağlamak.
- f) Bütün bu hedefleri yerine getirmek için yapılan çalışmalarda personelin emniyetinde herhangi bir fedakârlığa yol açmamak ve şahıs emniyetini arttırmak.
- g) Bütün bu sayıların uzun dönemde en düşük maliyetle sağlanmasını gerçekleştirmek.

2.6. Bakımın İşletmedeki Yeri ve Diğer Birimlerle İlişkileri

2.6.1. Bakımın işletmedeki yeri

Bir işletmenin tüm birimleri göz önüne alındığında aslında bunların merkezinde bakım faaliyetleri yer almaktadır. Yani bir işletmenin daha ileri seviyelere taşınmasında en büyük rol bakım birimine aittir. Bakım işletmenin can damarıdır. Çünkü her birimin daha etkin çalışması bakımdan geçer.

2.6.2. Bakımın diğer birimlerle ilişkileri

Bu ilişkileri şöyle sıralayabiliriz:

1. Kısa Dönem

1.1. Bakım- Çizelgeleme İlişkisi: Bakım departmanı kullanılan teçhizatın arızalanmasını azaltmak ve ömrünü uzatmak amacıyla fazla önleyici bakım yapmak isteyecektir. Fakat üretim çizelgesini yapanlar da duruşların sıfır olmasını ve tüm zamanlarını üretim için kullanmayı isterler. Bu türden bir çekişme yaşanır.

1.2. Bakım- Planlama İlişkisi: Bakım departmanı, bakım esnasındaki duruşlardan dolayı oluşan üretim kaybını en aza indirmek için üretilen ürünlerin stok miktarının fazla tutulmasını talep eder. Fakat bu durum planlamacıların istemediği durumdur. Zira fazla stok, fazla üretim maliyeti anlamına gelmektedir. Onların politikası da az stok ve az üretim maliyetidir. Bu noktada çatışma yaşanır.

2. Uzun Dönem

2.1. Bakım- Kalite Kontrol İlişkisi: Mekanik sistemler ilk kullanılmaya başlandığı andan itibaren etkinliğini yitirmeye başlar. Bu onun karakteristik özelliğindedir. Bu sebeple prosten çıkan çıktıların kalitesinde bir düşüş yaşanmaktadır. Bu sebeple kalite kontrol departmanı çok sık bakım yapılmasını talep etmektedir. Fakat eldeki imkânların (işgücü, makine, teçhizat, vb.) kısıtlı olması sebebiyle bakım departmanı, bu imkânlardan en etkin bir biçimde istifade etmeyi amaçlamaktadır. Bu noktada çatışma yaşanır.

2.2. Bakım- İnsan Kaynakları İlişkisi: Bakım departmanı, arızaların minimuma indirilmesini sağlamak ve geri dönüş süresini en aza indirmek amacıyla, operasyonun yapılabilmesi için bir kısıt teşkil eden işgücünün zengin olmasını talep eder. Fakat insan kaynakları ise üretimin temel maliyetlerinden olan işgücünü en aza indirgeyip işletmeyi rekabet piyasasında güçlü hale getirmeyi amaçlar.

2.3. Bakım- Sistem Tasarımı: Bakım, işletmede en fazla alanın kendi hakları olduğunu savunur. Çünkü oluşan arızaların beklemeye maruz kalmaksızın anında giderilmesini ve üretime sunulmasını amaçlar. Sistem tasarımcıları ise eldeki kaynağı en etkin bir biçimde dağıtmayı amaçlar.

2.7. Tamir Bakım Faaliyetlerinin Üretime Etkisi

Araştırmacılar şirket seviyesinde ortalama bakım giderlerinin ürün maliyetinin %6' sına ulaştığını ancak iyi bir planlama ile bu giderlerin %30- %50 azaltılabileceğini belirtmektedir. Öte yandan bir makineye ekonomik ömrü boyunca yapılan bakım giderlerinin indirgenmiş toplamı genellikle o makinenin ilk yatırım giderini

fazlasıyla aşmaktadır. Üretimin programlara uygun biçimde sürdürülmesi, üç temel üretim unsurundan birini oluşturan makine ve tesislerin aksamadan çalışmasına bağlıdır. Makinelerin belirli zamanlardaki bakımları ve beklenmedik zamanlarda ortaya çıkan arızaların giderilmesi üretim akışını mümkün olduğu kadar aksatmadan yapılmalıdır. Üretim sistemi büyüdükçe, üretim miktarı arttıkça tamir- bakım (TB) faaliyetlerinin önemi artar. Yüzlerce tezgâhtan oluşan bir üretim hattında birkaç makinenin arızalanması, zincirleme etkilerle bütün sistemi felce uğratabilir. Sipariş üretiminde arızalanan veya bakıma alınan makinelerin yokluğunu bir ölçüde giderme olanağı vardır. Fakat sürekli üretimde özellikle proses imalatında arızaların üretim üzerindeki etkisi çok büyüktür. Örneğin, bir petrol rafinerisinde bir noktada beliren arıza tüm sistemin durmasına yol açar. Arıza giderildikten sonra normal üretim düzeyine çıkıncaya kadar da durum aynıdır. Otomasyonun ağırlık taşıdığı fabrikalarda sorunu güçleştiren bir faktör daha vardır: Otomatik makinelerin arızalarının giderilmesinde son derece iyi yetiştirilmiş, yetenekli, kalifiye TB personeline ihtiyaç vardır. Özellikle karmaşık mekanizmaların ve elektriksel veya elektronik cihazların yer aldığı makinelerde kalifiye TB elemanlarının çalıştırılması zorunludur.

TB faaliyetlerinde üretimin aksamasını minimum düzeyde tutmak gerekli, fakat yeterli değildir. Herhangi bir makinenin bakıma alınması diğer makinelerin boş kalmasına sebep oluyorsa kapasite kaybı var demektir. Çok makineli sistemlerde TB yüzünden kapasite kaybının önlenmesi ayrı bir sorundur. Diğer taraftan TB işlerini yürütecek işgücünden yararlanma oranını da yüksek tutmak gerekir. TB faaliyetlerinde belirsizlik bulunduğundan eldeki kısıtlı işgücü kaynaklarından %100 yararlanmak mümkün değildir. Bu oranın yüksek tutulması TB faaliyetlerinin toplam maliyetinin düşürülmesi açısından önem taşır. TB faaliyetlerindeki aksaklıkların üretim akışı, verimlilik ve dolayısıyla maliyetler üzerindeki etkileri şöyle sıralanabilir:

1. Makinelerin ve dolayısıyla onları çalıştıran işçilerin boş kalmaları,
2. Dolaylı işçilik imalat genel masraflarının artması,
3. Müşteri taleplerinin karşılanamaması, satışlarda düşmeler,

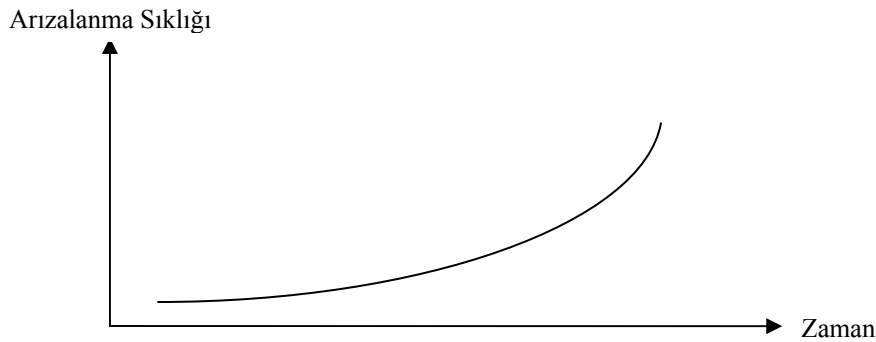
4. Aksaklığın meydana geldiği departmanla ilgili bulunan diğer departmanlardaki gecikme ve boş beklemler,
5. Iskarta oranının artması, kalitenin düşmesi,
6. Siparişlerin zamanında teslim edilememesi yüzünden müşteriyi kaybetme veya tazminat ödeme [1].

2.8. Arızalanma Tipleri

Ekipmanların ortalama arızalanma sıklığı, kullanıldığı süre boyunca sabit değildir. Arızalanma sıklığı zamana göre değişimi Şekil 2.3’de göstermektedir. Ekipman ilk kez kullanılmaya başlandığında arızalanma sıklığı yüksek olabilir. Bunun sebebi ekipmanı kullanan elemanların tecrübesizliği ve imalat sırasında gözden kaçan bazı parçaların belirli bir standardın dışında oluşudur. Arızalanmalar sonucu standart dışı parçalar değişip işlerin de zamanla tecrübe kazanmasıyla arızalanma sıklığı minimuma doğru yaklaşma gösterir. Daha sonra ortalama bir seviyede hemen hemen sabit hale gelir.

2.8.1. Mekanik sistemlerin arızalanma karakteristiği

Mekanik sistemlerde ilk kullanıldığı andan itibaren zaman ilerledikçe arızalanma olasılıklarında artış yaşanır. Bunun sebebi aşınmalardır. Kullanıldıkça aşınmalardan meydana gelen hatalar artmaktadır. Sistem istenen spesifikasyon sınırları dışında çıktılar vermeye başlar. Arızalanma sıklığının zamana göre değişimi Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Mekanik sistem arıza karakteri

2.8.2. Elektrik-Elektronik sistemlerin arızalanma karakteristiği

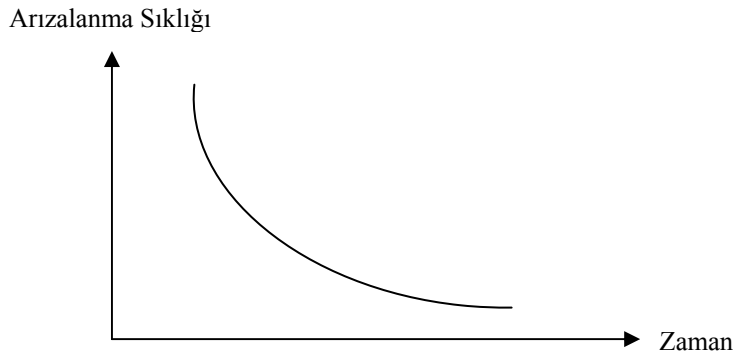
Bu sistemler mekanik sistemler gibi aşınma yaşamazlar. Onun için arızalanma olasılıkları her zaman sabit özellik gösterir. Arızalanma sebebi yalnızca kullanılan güçteki dengesizlikten meydana gelir. Potansiyel farktaki dengesizlik sebebiyle hattan çekilen güç eksik ya da fazla miktardaki güç sistemi negatif yönde etkiler ve bozulmasına sebep olur.



Şekil 2.4. Elektrik-Elektronik sistemlerin arıza karakteri

2.8.3. Yazılım sistemlerin arızalanma karakteristiği

Bu sistemlerde hatalar, sistemin ilk kullanılmaya başlandığı anda maksimumdur. Çünkü sistemden beklenen her şey ilk anda karşılanamayabilir. Kullanıldıkça eksiklikler gün ışığına çıkar ve bunlar tamamlanmaya çalışılır. Kullanım süresi ilerledikçe hata verme olasılıkları minimuma yaklaşır.



Şekil 2.5. Yazılım Sistemi arıza karakteri

2.9. Bakım Faaliyetleri ve Bakım Tipleri

2.9.1. Plansız bakım

Bu sistemde makine veya tesis arıza yaptığıında müdahale edilir. Plansız bakım üretim veya hizmet sisteminde herhangi bir sebepten ötürü kısmen veya tamamen arızalanan bir donanımı tamamen çalışır hale getirecek faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir. Bakımın direkt maliyeti düşüktür. Bakım servisinin umumi masrafları asgari seviyede tutulabilir. Çünkü bu sistem çok az planlama ve kırtasiye işleri gerektirir.

2.9.2. Planlı bakım

Planlı bakımın genel kavramı, makine veya tesise belirli bir plan ve programa göre işlem yapılarak, normal işletme icaplarına göre çalışmasını temin etmektir. Planlı bakım faaliyetleri üretim sistemindeki beklenmedik bir arıza ve bozulmaların olma olasılığını azaltmak amacıyla önceden belirlenmiş zamanlarda yapılan ve önceden belirlenmiş işleri kapsayan faaliyetlerdir. Ayrıca planlı bakım sistemi, firmanın bakım politikasını teknik ve parasal açıdan yönetim, bakım faaliyetlerini, daha yüksek standartları ve maliyet etkinlikleri ile kontrol eder.

2.9.2.1. Planlı bakımın amacı

- Makinelerin duruşunu en aza indirerek mümkün olan en yüksek düzeyde üretimi sağlamak.
- Önceden hazırlanacak üretim programlarının gerçekleşmesini sağlamak.
- Makinelerin ekonomik ömrünü uzatmak.
- Arıza hasarları en aza indirmek suretiyle onarım giderlerini azaltmak.
- Planlı bakım yoluyla bakım giderlerini azaltmak.

2.9.2.2. Planlı bakımın yararları

- Daha az makine arızası olacağından duruşlar daha iyi kontrol edilebilir ve makine kullanma süresi artar. Bunun sonucu imalat miktarı artar ve daha garantili ve iyi teslim zamanı tespit edilebilir.
- Makinelerin zamanında sıhhatli ayarlar yapılacağından daha iyi verim elde edilir. Böylece mamulün kalitesi muhafaza edilir, kusurlu mamul oranı azalır.
- Arızalardan oluşan ara onarımlar azalır ve onarımlar arasında geçen süre uzar. Böylece bakım işgücü ve teçhizatından daha iyi istifade edilir.
- Onarım masrafları azalır. Ara kontrollerde yapılan işlemler ve değiştirilen parçaların maliyetleri, arızalara nazaran daha düşük olur.
- Makinelerin faydalı ömrü uzar. Genel olarak daha iyi bir bakım sebebiyle makinelerin yenilenmeleri için lüzumlu zaman uzar.
- Yedek makine ve teçhizat ihtiyacı azalır ve tesisin yatırımında tasarruf sağlanır.
- Bakım masrafları azalır. Planlı bakım, işçi ve malzeme masraflarında tasarruf sağlanır.
- Daha iyi yedek parça kontrolü yapılabilir ve stok miktarı azaltılabilir. Masraflarında tasarruf sağlanır.
- Daha uygun bir çalışma sağlanır. Bakım masraflarının aşırı olduğu bölümler dikkati çeker. Gerekli araştırmalar yapılarak lüzumsuz işler veya yanlış uygulamalar düzeltilebilir. Operatörlerin çalışma durumlarının ıslahı ile makineleri hor kullanmaları sonucu arıza ihtimalleri ve aşırı yıpranmalar giderilebilir.
- Arızalar sebebiyle üretimde çalışan işçilerin prim kaybı daha az olur.
- İşçilerin emniyeti ve tesisin korunması daha iyi temin edilebilir. Böylece tazminat ve sigorta masrafları daha az olur.
- Yukarıdaki sebeplerle üretimin birim maliyeti düşer.

2.9.2.3. Planlı bakım türleri

a) Koruyucu bakım:

Ekipmanların ne kadar bir süre arızalanmadan hizmette bulunduğu ve arızalanmaya ne kadar yatkın oldukları konusunda benzer ekipmanlar arasında bazen bir ilişki kurulabilir. Yapılan bakım faaliyeti işte bu ekipmanın yaşlanmasını ele alır. Koruyucu bakım hatalı durumları açığa çıkarmak üzere periyodik muayenelerle ekipmanın planlı bakımının yapılmasıdır. Bir koruyucu bakım programı arızaların minimize edilmesini amaçlar. Periyodumuzun frekansı takvimsel bir ölçü olabileceği gibi servis saati veya başlatma sayısı gibi sayısal bir ifade de olabilir. Örneğin biz bir aracın yağını her 3000 kilometrede bir veya her üç ayda bir değiştiriyor olabiliriz. Hangi koruyucu bakım faaliyetlerinin yapılacağına karar vermek önemli bir husustur. Çoğunlukla bu bilgiyi geçmişte gerçekleşmiş olan arızalanmalardan, o ekipmanımızın karakteristiğinden ve o ekipmanı tedarik ettiğimiz satıcımızın tavsiyelerinden elde etmekteyiz. Eğer bir ekipman da aynı arıza belirli sürede bir tekrar ediyorsa bu bize o arıza için koruyucu bakım faaliyeti tanımlaması yapmamızı ve örneğin ayda bir bu işlemi gerçekleştirerek bu arızanın önüne geçmemizi sağlar. Ekipmanın karakteristiği ise yaşı, türü ve o ekipmanın taşıdığı kritik önemdir. Son olarak üreticinin veya satıcının bize sağladığı kullanım kılavuzlarında bize rutin bakım faaliyetleri tavsiye edilmiştir. Bu bilgi de elbet onlara müşterilerinden gelen şikâyetler üzerine hazırlanmış bir bilgidir [2].

b) Önleyici bakım:

Birçok arıza türü ekipmanımızın yaşlanması, hizmet verdiği süre ile alakalı değildir. Bir kısmı arızalanacaklarını bu arızanın gerçekleşme süresince veya arızalanmak üzere iken bazı uyarılar verir. Eğer bir ekipmanın arızalanma aşamasının son seviyesi bulunabilirse bunun önüne geçilebilir. Önleyici bakım faaliyetlerinde titreşim izleme, yağ analizi ve kızılötesi termografi, ultrasonik testler türü teknikler bizim bu seviyeyi tespit etmede kullandığımız teknikleridir. Önleyici bakım teknikleri sürpriz felaket getirici arızalanmaların azaltılmasını ve ekipmanın sorunsuz çalışma süresinin uzamasını sağlar [2].

2.9.2.4. Planlı bakım programının hazırlanmasında izlenecek yollar

İlk Adım: Yapılabilirlik (Fizibilite) Araştırması

Araştırma raporu, önerilen planlı bakım planım ve özgül nedenlerini ve kesin maliyet göstergeleriyle ödeme olanaklarını özetlemelidir. Buna ek ve belki de daha önemli olarak rapor, birleşik bir bakım üretim (imalat) yapılabilirlik analizini içermelidir. Yapılabilirlik analizi için fabrikadaki işgücü ve donatım göz ardı edilmemelidir. Eğer bir planlı bakım planı teoride mükemmel ise onun başarısı tümüyle belirtilmiş zamanda işgücünün ve donatımın elde edilebilirliğine bağlıdır. Yapılabilirlik araştırması üst yönetimin, mümkün olanı sağlama yolundaki anlayışına ve isteğine dayanmalıdır. Planlı bakım programının tüm potansiyel değeri, bakım yönetiminin koruyucu bakıma ayıracağı işgücünün sağlama yüzdesi ile orantılı olacaktır.

Daha sonra: Planlı önleyici bakım uygulaması yapılacak olan her teçhizat için bir "Bakım Sıralaması" hazırlanmalıdır. İlk önce, bir kaç önemli ana makineye bu planlı önleyici bakım sıralaması uygulanır. Sonra bu sıralama uygulamalarında tecrübe kazanıldıkça sıralamaya daha çok makine dâhil edilir. Sıralamaya makinelerin dâhil edilmesi. Optimum Bakım Seviyesi elde edilinceye kadar devam etmelidir.

Bakım sıralaması hazırlandıktan sonra: İş spesifikasyonları hazırlanmalıdır. Bu noktada insan ilişkileri (ast- üst ilişkileri) ve iletişim faktörleri ön planı tutacaklardır, iş spesifikasyonlarını tatbik etmek ve kontrolünü sağlamak için, yıllık olan bir "Bakım Programı" hazırlanmalıdır. Muayenesi yapılacak olan makineler bu programa göre saptanacaktır [3].

2.10. Bakım Planlamasında Maliyet Unsuru

2.10.1. Bakım maliyeti

Daha önce de belirtildiği gibi, bakım politikaları bakım faaliyetlerinin en etkin ve verimli bir şekilde ve en az maliyetle icra edilmesine yöneliktir. Bakımla ilgili hemen hemen tüm stratejik düzeydeki kararlar da bakım maliyetlerinden doğrudan etkilenir.

Dolayısı ile üretim kuruluşlarında bakım maliyetlerini gerçekçi bir şekilde belirlemek ve zaman içinde titizlikle takip etmek çok önem kazanmaktadır.

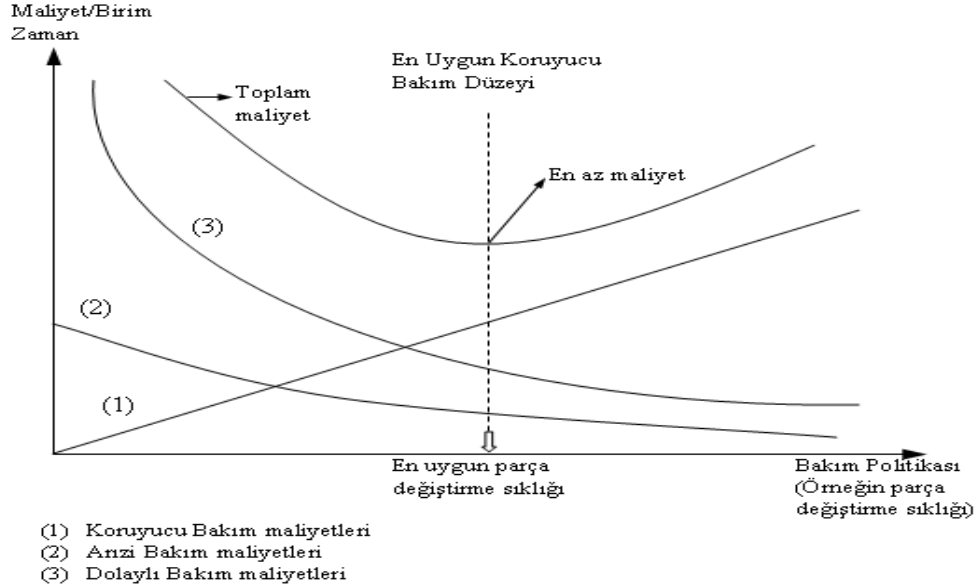
Bakım- onarım çalışmaları sırasında meydana gelen maliyetler üç grupta toplanır:

1. Koruyucu bakım maliyetleri: Muayene, ayarlama, yağlama, parça değiştirme, revizyon ve rektifiye işlemleri için yapılan harcamalardan oluşmaktadır.
2. Arıza bakım maliyetleri: Plan dışı bakım kapsamına giren her türlü acil bakım ve onarım çalışmaları için yapılan harcamalardan oluşmaktadır.
3. Dolaylı bakım maliyetleri: Bakım sırasında üretimin durmasından dolayı üretim kaybının yol açtığı maliyetlerden oluşmaktadır.

Bakım- onarım da arızalanmalar da pahalıdır. Bu yüzden makinenin veya üretim sisteminin üretkenliğini korurken, bakım politikalarına bağlı maliyet faktörleri arasında bir denge kurmak gerekir. Şekil 2.6'de üç maliyet kaynağı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Şekilde iki önemli nokta görülmektedir. Birincisi, toplam bakım- onarım maliyetleri dolaysız maliyetlerden çok daha yüksektir ve bu nedenle maliyetlerin üzerinde önemle durulması gerekir. İkincisi, toplam maliyet eğrisi minimum noktada oldukça yayvan olduğundan planlı bakım- onarım çalışmalarının en uygun düzeyinden yapılabilecek bazı sapmalar önemli sonuçlar doğurmayacaktır. Bu sapmalar zaten kaçınılmazdır, çünkü dolaylı bakım maliyetlerini titizlikle belirlemek güçtür. Fabrikanın hizmet verebilmesi için gereken günlük değişiklikler, ürünler arasındaki katma değer farklılıkları ve hatalı bakım yüzünden ortaya çıkan fazladan üretim maliyetlerinin oranını belirlemenin güçlüğü yaklaşık da olsa, dolaylı maliyetlerin hesaplanması için önceden belirlenmiş bir formülün kullanılmasını gerektirir. Uygulamalar, gerekli koruyucu bakım-onarım düzeyinin belirlenmesinde toplam bakımı maliyetleri yaklaşımının önemli yararlar sağladığını göstermiştir. Koruyucu bakım ve arıza bakım, bakım faaliyetleri olarak sınıflandırıldığında bakım maliyetleri;

- i) Bakım faaliyetleri giderleri,
- ii) Üretim kaybı ve ceza maliyetleri,



Şekil 2.6. Bakım-onarım çalışmalarında ortaya çıkan maliyetler

olarak ikiye ayrılabilir. Bu iki tip maliyetten birincisi yönetimin doğrudan kontrolündedir, ikincisi ise değildir. Ancak, genelde üretim kuruluşlarında bakım faaliyetleri giderleri arttıkça üretim kaybı ve ceza maliyetleri azalır. Bakım faaliyetleri giderleri aşağıdaki kalemleri içerir;

- Maaş ve ücretler: Bu kalem bakımla ilgili yönetici, ustabaşı, işçi gibi her türlü personele yapılan ödemeleri kapsar.
- Malzeme giderleri; Bakım birimi tarafından, direkt veya endirekt şekilde kullanılarak tüketilen her türlü malzemelerin bedelini kapsar.
- Yatırım giderleri: Bakım biriminin direkt veya endirekt olarak kullandığı her türlü ekipmanın birimin payına düşen amortismanını kapsar.
- İdari giderler: Yönetim ve diğer birimlerden alınan hizmetlerin maliyetini, binaların kira ve amortismanından birimin payına düşen miktarı ısıtma ve aydınlatma gibi

ortak giderlerden birimin payına düşen miktarı, sigorta ve kredi giderleri gibi mali hizmetlerden birimin payına düşen miktarı kapsar.

- Fason giderleri: Firma dışından temin edilen bakım hizmetlerinin ve işgücünün maliyetini kapsar, bilhassa genel bakım sırasında ve yeni ekipman kurulumu sırasında gündeme gelir.

- Planlama giderleri: Bakım planlama sisteminin kurulması ve işletilmesi ile ilgili olarak tasarım ve mühendislik hizmetleri giderleri, yazılım maliyetleri, eğitim giderleri ve tüketim malzemesi giderlerini kapsar.

- Yedekleme giderleri: Yedekte tutulan makine ve ekipmanın amortismanı ile bakım politikaları çerçevesinde tutulan ara stokların stoklama maliyetini (depolama, sigorta, finansman, koruma maliyetleri) kapsar.

Ancak, altı kalemin planlı bakım giderleri ve acil bakım giderleri olarak, faaliyet sınıfları bazında ayrı tutulabilmesi de çok önemlidir. Malzeme giderleri ile fason giderlerini bu faaliyet sınıflarına ayırtırmak oldukça kolaydır. Planlama giderleri de ağırlıklı olarak planlı bakım faaliyetleri ile ilgilidir. Maaş ve ücretler malzeme giderleri ve idari giderlerin bu faaliyet sınıflarına ayırtırılmasında ise genelde kuruluşun planlı bakım ve acil bakım faaliyetleri için kullandığı adam saat miktarı esas alınır.

Üretim kaybı ve ceza maliyetleri aşağıdaki kalemleri içerir:

a) Üretim kaybı maliyetleri: Gerek planlı bakım gerekse de acil bakımla ilgili duruşlardan veya yavaşlamalardan ötürü yapılamayan üretimin sebep olduğu gelir kaybını veya telafi edilebilmesi için gereken giderleri (fazla mesai gibi) kapsar.

b) Atıl kapasite maliyetleri: Gerek planlı bakım, gerekse de acil bakımla ilgili duruşlardan ötürü atıl kalan kapasitenin maliyetini kapsar. Bu çerçevede atıl işgücü kapasitesi çok önemlidir, ancak atıl makine ve ekipmanın duruş süresi boyunca amortismanı, kirası, enerji tüketimi gibi maliyetler de bu kapsamdadır.

c) Kalite düşüklüğü maliyetleri: Bazı arıza ve bakımlar ilgili makine veya ekipmanın duruşuna sebep olmaz, ancak ürettiği üründe bir kalite düşüklüğüne yol açar. Bu kalite düşüklüğünün sebep olacağı gelir kaybı veya telafi edilmesi için gereken giderler bu maliyet kalemi kapsamındadır.

d) Ceza maliyetleri: Gerek planlı bakım, gerekse de acil bakımla ilgili duruşlardan veya yavaşlamalardan ötürü kuruluşun sağlayamadığı taahhütlerin ve terminlerin müeyyidelerini kapsar. Bu müeyyideler bir maddi tazminat olabileceği gibi müşteri güven kaybı veya memnuniyetsizliği gibi ölçülmesi zor kavramlar da olabilir.

"Gelir kaybı", "atıl kapasite", "kalite düşüklüğünün etkisi", "termin kaçırma müeyyideleri" gibi kavramlar değişik kabuller altında çok değişik şekillerde tanımlanıp ölçülebilecek kavramlardır. Dolayısı ile bu tip maliyetlerin sağlıklı belirlenmesi oldukça zordur. Ancak, her halükarda ciddiyete alınıp incelenmesi gerekir zira maliyetler hakkında bir fikir sahibi olmadan bakım faaliyetleri ile ilgili sağlıklı karar verebilmek pek mümkün değildir. Öte yandan, bu maliyetlerin de planlı bakım giderleri ve acil bakım giderleri olarak, faaliyet sınıfları bazında ayrı ayrı tutulabilmesi gerekir [5].

2.10.2. Bakım harcamalarının gruplandırılması

Bakım bölümünün harcamalarını 4 ana grupta toplayabiliriz:

1. Yatırım harcamaları:

1.1. Yeni makine, teçhizatın masrafları,

1.2. Gelişme (modifikasyon) söz konusu ise bunun getireceği masraflar,

1.3. Yenileme, değiştirme masrafları,

2. Bakım ve onarım harcamaları:

2.1. Arızaların onarım masrafları,

2.2. Rutin muayeneler ve Önleyici bakım masrafları (yağlama vs. gibi),

2.3. Binaların onarım ve idame masrafları (boyama vs. gibi),

2.4. Aşınma söz konusu olduğunda yenilemenin masrafları,

3. Yardımcı hizmetlerin harcamaları:

3.1. Elektrik, buhar, su, basınçlı hava temini ve dağıtımının getirdiği masraflardır. Bu tesislerin onarım masrafları gerçek bakım masraflarıdır.

4. Diğer hizmetlerin harcamaları:

4.1. Basılı formların, temizlik işlerinin, kantin, tıbbi işlerin yol açtığı masraflardır.

2.11. Filo Bakımı

Büyümeden önce potansiyel problemleri tanımlayarak, koruyucu ve önleyici bakım programları yüksek maliyetli ve zaman tüketen tamirleri elimine etmeye yardımcı olur. Sonuç olarak, bu gibi programlar başarılı bir filo operasyonu altında yatar. Özel olarak, filonun tramvay, hafif metro ve metronun kilometrelerine göre önleyici bakımdan geçerken, gaz kullanan araçları her 3000 milde veya üç ayda bir koruyucu bakım kontrolü geçirirken, dizel motorlu ekipmanlar altı aylık bir çizelgede bakılırlar. Teknisyenler, mevsimsel ve özel ekipmanı kullanımlarının frekansına göre muayene ederler. Birçok başarılı yönetici önleyici bakımı, koruyucu bakımın içine karıştırırlar. Koruyucu ve önleyici bakım programları, tamirin ihtimalini azaltsalar da, onları kolayca uygulamak yeterli değildir, yöneticiler etkinliklerini kararlaştırmak için ayrıca programlar tayin etmelidirler. Önemli filo operasyonlarını ve bakım bilgisini toplamak ve analiz etmek için gibi. Bir filo bakım programıyla iş emirleri, donanım envanteri, parçaların kullanımı ve stok seviyeleri, teker izlenimi ve bölüm olarak yakıt kullanımı gibi bilgiler takip edilebilir. Yakıt yönetimi ise işçi, zaman ve yakıt maliyetlerinde kazanç sağlar. Ayrıca araç tiplerini, parça gereksinimlerini ve ilişik prosedürleri listeleyen ve tamir zamanlarını tahmin etmek için kılavuz sağlayan bir başka programa da ihtiyacımız vardır.

2.11.1. Filo bakım yönetimi

Filo operasyonları yaşam döngüleri boyunca araçların koruyucu bakımları üzerine odaklanacak bir felsefede temellendirilmiştir. Tasarım spesifikasyonları en uygun etkin işlemi, daha uzun hayat döngülerini, daha az maliyet ve zaman tüketen bakımı ve teknolojik ilerlemelerin kullanımını sağlamak için geliştirilmiştir. Filo teknisyenleri şimdi yeni ekipmanı kabul etmeden önce incelemeli ve kötü kullanım, ihmal ve düşük yararlanmaya karşı filoyu kontrol etmelidir. Kullanıcılar belirli muayene ve güvenli operasyonlarda ayrıca eğitilir.

Araç edinimini, bakım tarihçesini ve maliyetlerini, parça envanterini ve bağımsız atölye performanslarını toplamak, izlemek ve analiz etmek için bir yazılım geliştirilebilir. Değişik sınıfta araç için araç spesifikasyonlarınca ayrıntılı ve kestirimci maliyet icmalleri kadar genel bilgi sağlar. Yöneticiler ve denetleyiciler işletmelerinde performans verisi elde edebilirler ve diğer yönetimler ve özel sektör ile yarışabildiklerini ölçmek için benchmark'lar oluşturabilirler [4].

Araç filosunun doğru bir şekilde çalıştırılması öncelikle doğru organizasyon yapısından ve yönetiminden geçmektedir. İşletme filosunun ve lojistik operasyonların entegrasyonu filo, araç-takip, ithalat, ihracat, depo ve gümrükleme vb. bölümler arasında koordinasyonu ile mümkündür. Pazarlama, muhasebe, finans, insan kaynakları ve bilgi işlem bölümlerinin sağlıklı bir biçimde işlevlerini yerine getirmesi ise lojistik operasyonlar için büyük güç yaratmaktadır.

Araç işletmeciliği zor bir çalışma alanıdır. Araç filosunun etkin yönetimi, kaliteli lojistik hizmet anlayışının temelinde yer alan unsurların başında gelmektedir. İşletmeler için mevcut araç sayısının zaman içerisinde artırılması ve filoya dönüştürülmesi zor bir karar sürecidir. Günümüzde araç bedelleri yüksektir fakat her bir aracı etkin ve doğru bir şekilde işletme amaçlarına uygun kullanmak çok daha fazla maliyetlidir. Dolayısı ile filo sahibi işletmeler için birincil amaç mevcut araçların etkin ve verimli çalıştırılmasıdır.

BÖLÜM 3. ÇİZELGELEME

Üretim çizelgeleme, bir ürünü oluşturan iş parçalarının eldeki tek veya çok sayıda makinelerde hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin saptanmasıdır.

3.1. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme problemleri, üretim tipine göre çok farklı biçimlerde olabilir. Literatürde, çizelgeleme problemleri için pek çok sınıflandırmalar yapıldığı görülür. Herhangi bir sınıflandırmanın amacı, problem sınıflarının anlaşılmasını sağlamak ve her bir sınıfın farklı özelliklerini saptamaktır [5].

Graves, üretim çizelgeleme problemlerinin beş boyutlu bir sınıflandırmasını yapmıştır:

İlk boyut, gereksinim üretmedir. Gereksinimler açık ve kapalı atölyelerde üretilir. Açık atölyede gereksinimler doğrudan doğruya müşteri siparişleriyle üretilir. Kapalı bir atölyede ise gereksinimler stoktan karşılanır ve üretim görevleri sadece mevcut stoktan sipariş kararı vermekten ibarettir. Gereksinim üretmeye bağlı olarak üretim çizelgeleme problemi, çok farklı biçimlerde olabilir. Açık bir atölye için en basit biçim, siparişlerin her bir makinede sıralandığı sıralama problemidir. Kapalı bir atölye için üretim çizelgeleme problemi, hem sıralama kararlarını hem de yeniden sipariş verme işlemiyle ilgili parti büyüklüğü kararlarını içerir. Şüphesiz, gerçek yaşamda, tamamıyla açık veya kapalı bir atölye ortamı olmamasına rağmen çizelgeleme problemlerinin çoğu açık veya kapalı olarak düşünülür.

İkinci boyut, işlem karmaşıklığı, her bir üretim görevleriyle ilgili işlem kademelerinin sayısı ile ilgilidir. İşlem karmaşıklığı boyutu, kademe sayısına göre dört farklı kısımda incelenebilir.

Tek- Kademe Tek- Makina problemi, en basit problem biçimidir. Burada bütün işler, tek makinede işlenmek üzere tek bir işlem kademesini gerektirir. Çivi üretimi buna bir örnektir. Bu çok basit biçim, çok karmaşık problemler için çözüm aramada başlangıç noktasıdır.

Tek- Kademe Paralel- Makina problemi, tek makine problemine benzemektedir. İkisi arasındaki fark, her bir iş paralel makinaların birisinde işlenmek üzere yine tek bir işlem kademesini gerektirir. Aynı işi yapan makine sayısı fazladır. Yine, çivi üretimi buna örnek gösterilebilir. Çivi imal edilen makineden birkaç tanesinin atölyede bulunmasıyla oluşan atölye tipidir.

Çok kademe problemleri, her bir işin işlem sırasında çok kesin bir öncelik ilişkisinin bulunduğu durumlardır. Her bir iş, makineler gurubunda öncelik ilişkisine göre işlenmeyi gerektirir. Çok kademeli problemler, akış tipi ve atölye tipi olmak üzere iki şekilde incelenebilir. Akış tipi problemde, bütün işler aynı işlem sırasıyla aynı makine gurubunda işlenir. Diğer bir deyişle, işlerin makinelerdeki işlem sırası (teknolojik kısıt) ve öncelik ilişkisi aynıdır. Atölye tipi problem ise, sınıflandırmadaki en genel ve en karmaşık olanıdır. Belli bir işe ait işlem kademeleri sayısı üzerine hiçbir kısıt yoktur. Başka bir deyişle, atölye tipi problemde her bir iş, farklı makinelerde işlenmek üzere kendine özgü bir işlem sırasına sahiptir [6].

Üçüncü boyut, çizelgeleme ölçütü, çizelgenin nasıl değerlendirileceğini gösterir. Çizelge değerlendirmede genel olarak iki ölçüt kullanılır. İlk ölçüt, çizelge maliyetidir. Belirli bir çizelgeye ait maliyet; üretim hazırlıkları ile ilgili sabit maliyetleri, değişken ve fazla mesai maliyetlerini, stok elde bulundurma maliyetlerini ve de siparişleri karşılayamama maliyetlerini kapsar. İkinci değerlendirme ölçütü, çizelge performansdır. Bu ölçütler, ya işlerin atölyede harcadığı zamanı en azlamaya yönelik ölçütler ya da gecikmelerin mümkün olduğunca en azlanmasını sağlayacak olan teslim tarihine dayalı ölçütlerdir.

Çizelge değerlendirme, genellikle, hem maliyet hem de etkinlik ölçütlerinin karışımına dayanır. Sınıflandırmadaki dördüncü boyut, gereksinim tanımlama, problemin parametrelerinin başka bir deyişle bütün sayısal değerlerin önceden bilinip

bilinmemesiyle ilgilidir. Eğer bütün parametreler miktar olarak önceden biliniyor ve sabit ise, problem deterministik olarak tanımlanır. Aksi halde problem stokastik olarak tanımlanır. Örneğin, açık atölye için işin her bir kademesine ait işlem zamanı bilinebilir. Bu durumda, atölye deterministik olarak tanımlanır. Tam tersine, işlem zamanı bilinmeyebilir ve belli bir olasılık dağılımından rastgele üretilen bir değişken olabilir. Bu durumda atölye, stokastik olarak tanımlanır. Benzer şekilde, kapalı bir atölye için stoktan sipariş verme kararlarına yol açan müşteri talep prosesi önceden tahmin edilebilir ve bu durumda problem, deterministik olarak tanımlanır. Yine, tam tersine, proses bilinmeyebilir ve belli bir olasılık dağılımından üretilen rastgele bir değişken olabilir; bu durumda, proses stokastik olarak tanımlanır.

Beşinci boyut, çizelgeleme ortamı, üretilen gereksinimler için gerekli girdiler üzerine varsayımlarla ilgilidir. Çizelgeleme periyodu boyunca üretilen gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarı önceden saptanır ve atölye ortamına sonradan ek iş girişi yapılmaz ve de atölye ortamında hiçbir belirsizlik durumu söz konusu değil ise, çizelgeleme ortamı statik olarak tanımlanır. Diğer yanda, problem, çizelgeleme periyodu boyunca üretilen gereksinimlerin miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarına sonradan ek iş girişi yapılabilecek biçimde tanımlanabilir. Başka bir deyişle, çizelgeleme periyodu boyunca atölye ortamına herhangi bir anda yeni iş girdileri olabilir ve bu durumda atölye ortamı dinamik olarak tanımlanır. Gerçekte, çizelgeleme problemleri stokastik ve dinamiktir. Ancak, çoğu problem, statik ve deterministik olarak tasarlanır. Bunun nedeni, çeşitli varsayımlarla basitleştirilen statik ve deterministik modellerin iyice anlaşılması, gerçek-zamanlı modellerin ortaya konmasının ilk adımıdır. Ayrıca, mikroişlemciler ve robotlar üretim hatlarına girmekte ve dolayısıyla, işlem zamanlarında belirlilik sağlanmaktadır [7].

3.2. Çizelgeleme Türleri ve Kullanım Alanları

Ticari anlamda kullanılan birçok çizelgeleme yazılımı olmasına rağmen, çizelgeleme ve çalışma mantığı olarak farklı uygulamalar mevcuttur. Herhangi bir yazılım spesifik özelliklerine göre değerlendirmeye geçmeden önce, çizelgeleme ve çalışma

mantığının uygun olmadığı belirlenmelidir. Çizelgeleme mantığına göre değerlendirmek gerekirse karşımıza iki temel kategori karşımıza çıkacaktır.

3.2.1. İş tabanlı çizelgeleme

Belli bir kriteri iyileyen algoritmik veya kişisel (heuristic) kurala göre bir iş seçildiğinde, o işe ait tüm operasyonlar aynı anda Gantt şemasına yerleştirilir. Bu mantıkta belirlenen çizelgeleme kuralına göre “işler” sıralanır. Sıralama ileriye doğru veya geriye doğru olabilir.

3.2.2. Operasyon tabanlı çizelgeleme

Belli bir kriteri iyileyen algoritmik veya kişisel (heuristic) kurala göre bütün işlere ait tüm operasyonlar teker teker değerlendirilir. Yani, belirlenen kurala göre seçilen işe ait tüm operasyonlar aynı anda çizelgelenmez, bütün işlere ait her bir operasyon teker teker belirlenen kurala göre değerlendirilir. Bu mantıkta belirlenen çizelgeleme kuralına göre “operasyonlar” sıralanır. Sıralama ileriye doğru, geriye doğru veya sabit bir operasyon üzerinde her iki yöne doğru olabilir.

Planlama ile çizelgeleme arasında tanım olarak farklılıklar olsa da, birbirini tamamlayan konulardır. Planlama ile çizelgelemenin sıkı bir şekilde entegre edilmesi ihtiyacı yazılımların değişik yaklaşımları desteklemesi sonucunu ortaya çıkarmaktır. “İleri planlama ve çizelgeleme” (APS) yazılımlarını bu anlamda 3 genel kategoriye sokmak mümkündür.

3.2.2.1. Network tabanlı modeller

Network tabanlı APS yazılımları, müşteri siparişleri ve bu siparişlerin üretim sistemi içinde izledikleri rotalara ağırlığın verildiği bir yaklaşım sergiler. Network tabanlı sistemler, sistem içerisindeki tüm siparişlerin global anlamda izlenmesini sağlayarak, çakışmaların önlenmesini ve performans kriterlerinin global düzeyde iyileştirilmesi üzerinde yoğunlaşır. Çalışma mantığı yukarıdan aşağı doğrudur. Yani çizelgeleme işlemi sipariştten operasyonlara doğru ilerler. Sipariş girilir girilmez,

malzeme ve kapasite ihtiyaçları belirlenir ve seçilen kurala göre kaynaklara atanır ve bu işlemler her sipariş girişinde tekrarlanır. Son yıllarda ortaya çıkan çizelgeleme yazılımlarının büyük çoğunluğu ağırlıklı olarak bu metodu kullanmaktadırlar.

Network tabanlı APS yazılımlarının en büyük avantajı, üretim sistemindeki öncelik\önem sorunlarını global düzeyde çözebilmesi, ileride ortaya çıkabilecek darboğazları belirleyebilmesi ve siparişleri senkronize edebilmesidir.

Bu metodu kullanan APS yazılımlarının bazılarında “çoklu geçiş” (multiple pass) mantığı kullanılmıştır. Örneğin, sisteme bir sipariş veya iş girildiğinde önce malzeme ihtiyacı belirlenir daha sonra kaynak kısıtlarına göre kapasite ihtiyacı belirlenir, bu aşamada herhangi bir problem çıkarsa tekrar malzeme ihtiyaç aşamasına dönülür. Bu işlem malzeme ve kapasite planlaması dengelenene kadar devam eder. Bazı network tabanlı APS sistemlerinde çoklu geçiş sistemi yerine tek bir geçiş kullanılır. Yani sipariş veya iş girildiğinde, malzeme ihtiyacı ve kapasite ihtiyacı aynı anda her bir operasyon için belirlenir.

İş merkezlerinin çok büyük önem arzetmediği sistemlerde network tabanlı APS yazılımları büyük avantaj sağlar. Sipariş usulü çalışan sistemlerde, müşterinin taleplerine hızlı karşılık verebilme konusunda ek geçiş mantığı, çoklu geçiş mantığına göre daha uygundur.

3.2.2.2. Simülasyon tabanlı modeller

Bu kategorideki APS yazılımlarında üretim sisteminin tamamına global düzeyde bakmak yerine, spesifik lokal hedefleri gerçekleştirebilmek için belirli iş istasyonları üzerine yoğunlaşır. Lokal hedeflerin global önceliklerinden daha önemli olduğu sistemlere daha uygundur. Çalışma mantığı aşağıdan yukarıya doğrudur. Bir veya birden fazla iş istasyonu için lokal öncelikler belirlenir ve geriye kalan diğer işler sınırlanır. Makinelerin boş kalmasının maliyetinin yüksek olduğu üretim sistemlerinde, belli istasyonların mümkün olduğunca tam kapasite sürekli çalışmasının istenildiği durumlarda simülasyon tabanlı APS sistemleri kullanmak avantajlıdır. Bu yaklaşımda, belirli iş istasyonları için en yüksek kapasite

kullanımına ulaşılması hedeflenir. Bu yaklaşımda, belirli iş istasyonları için en yüksek kapasite kullanımına ulaşılması hedeflenir. Bu yaklaşımın dezavantajları ise şunlardır: Lokal optimum durumu, sistemin global anlamda optimum olması anlamına gelmediği gibi global düzeyde daha kötü olmasına bile sebebiyet verebilir. Müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek, üretim sistemlerindeki değişikliklere kolay adapte olabilmek bu mantıkta biraz zordur.

3.2.2.3. Matematiksel modelleme

Matematiksel modeller “optimum sonuç” sunmayı hedeflerler. Sinir ağları, dal-sınır algoritması, doğrusal programlama, dinamik programlama, genetik algoritmalar, yapay zeka ve kişisel (heuristic) iterasyonlar bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Optimum çözümü sunmak gibi bir avantaj sunmalarına karşın, üretim sistemlerindeki değişkenlikler, bu tür modellerin bilgisayar üzerinde olsa bile çözümünün uzun zaman alması, yanlış model kurma riski gibi dezavantajları vardır. Yaygın olarak pek kullanılmayan bu yaklaşım, genellikle üretim sisteminin stabil olduğu, özellikle sürekli olay bazında üretim yapan sistemlerde başarıyla uygulanmıştır. Siparişe göre üretim yapan ve sistemin sık değiştiği işletmelere çok uygun bir yaklaşım değildir. Son yıllarda geliştirilen bazı gelişkin APS sistemleri hem network hem de simülasyon yaklaşımını aynı anda destekleyebilmektedirler. Burada amaç hem global hem de lokal düzeyde bir veya birden fazla kriteri iyileştirebilmektedir [7].

3.3. Bakım Çizelgeleme

Üretim sistemlerinde; üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetleri en önemli konulardan birisidir. Üretim çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda tezgah ve ekipmanların istenilen her vakitte kullanılabilirliği kabul edilmiştir. Oysa ki gerçekte; bu tezgah ve ekipmanlar pek çok koruyucu bakım işlemine tabii tutulmakta, beklenmedik arızalarla karşılaşmaktadır.

Koruyucu bakımlar, çizelgelenmiş bakım faaliyetleridir ve tezgah ve ekipmanları gerekli çalışma şartlarında tutmak için yapılırlar. Koruyucu bakım standartları oluşturulurken ekipmanların teknik kullanım kılavuzlarından faydalanır. Periyodik

muayeneler, kritik parça değişimleri, kalibrasyon ve yağlama v.s. gibi işlemler koruyucu bakım kapsamındadır.

Çizelgeleme, iş gücünün, malzeme ve ekipmanların, kullanılabilirliği; işlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli uzmanlık becerilerinin doğru iş plan sıralamasını ve işin tamamını yapabilmek için çeşitli işlere ekonomik iş gücünün atanmasını dikkate alan, faaliyetlerin dikkatli bir şekilde hazırlanmış ileri planlamasıdır. Çizelgeleme, iş yüklerinin iş gücü ile dengelendiği ve işlerin sabit ve düzenli bir şekilde akışını sağlayacak yükleme tekniklerinin uygulanmasıdır. Uygun bir şekilde yapıldığında etkin bir çizelgeleme, işlerin düzgün bir biçimde ve ekonomik olarak tamamlanmasını ve işlerin ilgili kaynaklara düzgün bir şekilde atanmasını sağlayacaktır.

3.3.1 Bakım çizelgeleme ile ilgili yapılmış çalışmalar

Bakım planlama ve çizelgeleme faaliyetleri ile ilgili çeşitli teknikler kullanılarak farklı yönlerde ve alanlarda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Üretim destek sistemlerinden; jeneratör ve güç ünitelerinin bakımlarının çizelgelenmesi de oldukça ilgi çekmiş ve pek çok araştırma yapılmış bir konudur.

Güç ünitelerinin çizelgelenmesinde; Huang, üyelik fonksiyonlarının genetik temelli düzenlendiği bir fuzzy (Genetik Evolved Fuzzy) sistem önermiştir. Bulanıklaştırılmış amaç ve kısıtlar optimal bakım çizelgesini bulmak için bulanık dinamik programlamada kullanılmıştır.

Dahal vd., jeneratör bakımlarının çizelgelenmesi konusunda çalışmışlardır. Geneleksenel modellemenin ve çözüm metotlarının çeşitli kısıtlarının üstesinden gelmek için bulanık uygunluk fonksiyonlu bir GA önermişlerdir. Bulanık uygunluk fonksiyonlu GA'nın sonuçları ile sayısal (crisp) uygunluk fonksiyonlu GA'nın sonuçları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Sonuçlar, fuzzy uygunluk fonksiyonlu GA'nın etkin ve kullanışlı bir yaklaşım olduğunu daha iyi çözümler üreterek göstermiştir.

El- Shark vd., güç ünitelerinin; yük, yakıt ve bakım maliyetleri belirsizlikleri altındaki, güvenlik kısıtlı bakım çizelgelerinin oluşturulmasında kullanılacak evrimsel programlama temelli bir çözüm tekniğine sahip bulanık bir model geliştirmişlerdir. Modeli iki farklı durum için çalıştırarak sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Mohanta vd., enerji tesislerinin güvenilirliği göz önüne alan bulanık bir model sunulmuştur. Bakımlarının çizelgelenmesinin güvenlik ve güvenilirliğinin optimizasyonu gibi çok boyutlu bir problemin çözümü için bir hibrit GA/SA tekniğini denemişlerdir. Yük belirlemedeki belirsizlik nedeni ile bulanık bir yük belirleme indeksi de kullanılmıştır.

Yukarıda verilen kaynaklardan da anlaşılacağı gibi, yapılan kaynak taramasında; bakım çizelgeleme konusunda, ağırlıklı olarak; güç tesislerinin, jeneratörlerin v.s. bakımlarının çizelgelenmesi problemi çok rağbet görmüş, fazlaca çalışılmış ve hemen hemen tüm çözüm teknikleri kullanılarak farklı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Çalışmalarda genellikle; yük kayıplarının ve maliyetlerinin, minimizasyonu; güvenilirliğinin maksimizasyonu ve bakım operasyonlarının tamamlanma zamanlarının en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Üretim alanında yapılmış bakım çizelgeleme çalışmaları da aşağıda sunulmuştur:

Cornell vd., arızaların ve çizelgelenmiş bakımların analitik olarak modellenmesinde Markov zincirlerini kullanmışlardır. KB politikaları için analitik formüller geliştirmişlerdir.

Ram ve Olade, arızalar arası süreler için weibull dağılımını kullanmışlardır. Bir üretim planı için; toplam, çizelgelenmiş ve arıza bakım maliyetlerini optimize edecek analitik bir model sunmuşlardır.

Paz ve Leigh, bakım çizelgeleme ile ilgili alanlarda yapılmış akademik ve pratik çalışmaları araştırmış ve incelemişlerdir. Daha fazla araştırılması gereken pratik ve teorik hususlar belirtilmiştir. Klasik çizelgeleme ile bakım çizelgeleme arasında

karşılaştırma yapılarak benzerlikler ve farklılıklar ortaya konmuş, bakım çizelgeleme ile ilgili yapılmış simülasyon çalışmaları analiz edilmiştir.

Hariga, çok sayıda makinadan oluşan grupların periyodik bakımlarının çizelgelenmesi konusunda çalışmışlardır. Çalışmada iki farklı tip bakım belirlenmiştir. Birinci tip bakımın makineyi normal çalışma şartlarına getirdiği ikinci tipin ise makineyi yeni gibi konumuna getirdiği kabulü ile matematiksel bir model çözümü olarak sunmuşlardır.

Gopalakrishnan vd., tek ve çok uzmanlıklı iş gücü varlığı kısıtı altında KB çizelgelemenin etkinliğini arttıracak analitik modeller geliştirmiştir. Makine geçmiş bilgilerine ve işin önemine bağlı olarak işin önceliğini belirlemek için lojistik regresyon kullanmışlardır. Optimal KB çizelgesi, toplam iş öncelik skorunun maksimizasyonunu sağlamaktadır.

Ahire vd., tek veya daha fazla nitelikte uzmanlık (elektrik, mekanik v.s.) gerektiren bakım işlerine uygun iş gücünün atanmasına çalışmışlardır. Çalışmada amaçlanan, iş gücü ve uzmanlık kısıtları altındaki bir dizi KB işinin tamamlanma zamanlarını (makespan) minimum yapacak atama seçeneğini bulmaktır. KB süresinin elverişliliği ile ilgili hiçbir kısıt yoktur. Özellikle, gemi ve uçak gibi ağır teçhizatların, yıllık genel bakımlarında kullanışlıdır. NP zor sınıfında yer alan bu probleme, Evrimsel stratejilerinin uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Evrimsel stratejilerin detaylı performans analizleri ve tavlama benzetimi algoritması ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Bris vd., çeşitli bakım stratejilerine göre muayenesi yapılan ve bakım operasyonları gerçekleştirilen ekipmanlarının kullanılabilirlik ve maliyet modelleri için geliştirdikleri yöntemleri anlatmışlardır. KB ve KB maliyetini minimize edecek GA ve simülasyon tabanlı bir optimizasyon metodu kullanmışlardır.

Tsai vd., KB'yi üç faaliyeti birlikte düşünerek ele almaktadır: mekanik servis, tamir ve değiştirme. Mekanik servis; yağlama, temizleme, kontrol etme ve ayarlama gibi güçlü bozulmaları kısmen hafifleten faaliyetleri ifade etmektedir. Tamir, sadece

bozulma hızının azaltılmasını değil, kısmi bozukluğunun iyileştirmesinide içermektedir. Değiştirme ise bir bileşenin orijinal şartlarına geri kazandırılmasıdır. Güveniliri modelinin önerilmesinin ardından her bir bileşenin ortalama çalışma ve ortalama arızalı zamanları da araştırılmış, bileşenlerinin değiştirilme zamanları kullanılabilirliğin maksimizasyonuna dayalı olarak belirlenmiştir. Burada, periyodik koruyucu bakım politikasının programlanmasında sistemin KB zamanı, aralıklar içerisinde en küçük olanı tercih edilmiştir. Her KB aşamasında birleşenler için faaliyet seçimi, sistemin bakım ile ilgili olarak faydasını maksimum yapacak şekilde kararlaştırılmıştır. Tekrarlı bir şekilde, çizelgeleme adım adım ilerletilmiş, sistemin ömrü ön görülen ömre ulaştığında durdurulmuştur. Tamamlanmış çizelge, bileşenler için uygulanacak faaliyet ve her aşamada sistemin kullanılabilirliği ile toplam maliyet bilgilerini sağlamaktadır.

Grigoriev vd., bakım çizelgeleme ve probleminde, servis ve operasyon maliyetlerinin en küçükleyecek şeklinde ve her bir periyotta hangi makinenin servis göreceğinin belirlenmesi için çalışmışlardır. (Her periyotta sadece bir makinenin servis görebileceği kabulünü yapmışlardır.) Çalışmada LP tekniklerini kullanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Gharbi ve Kenny, çalışmalarında çok makineli bir imalat sisteminin üretim ve koruyucu bakım kontrolü problemi üzerinde çalışmaktadır. Simülasyon ve istatistiksel metotla birleştirmek maliyet fonksiyonunun tahmin edilebilmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

Marquez vd., yarı iletken üreten bir firmada koruyucu bakım planlama ve atölye düzeyi bakım çizelgeleme konusunu incelemişlerdir. Çalışmalarında KB çizelgelemeyi geliştirmek için imalata ve dinamik bir yapıda uygulanabilecek alternatif çizelgeleme politikalarının belirlenmesine imkan sağlayan sürekli zamanlı monte carlo simülasyonu modellemesinin kullanılmasını göstermişlerdir. Simülasyon modeli kullanılarak üretim ekipmanlarının mevcut durumlarında ve değişik çalışma şartlarında farklı çizelgeleme politikaları uygulanmış, politika sonuçları karşılaştırılmıştır.

Huang'ın, çalışmasının konusu; “Bir makine grubu için bakım çizelgeleme problemi” olarak adlandırıldığı, bakım maliyetlerini düşürecek makinelerinin bakımlarının çizelgelenmesidir. Problemin önce matematiksel modeli üzerinde analizler yapmış ve bu analizlere göre optimal çözümü etkin bir şekilde verecek arama algoritmasını sunmuştur.

Ulusoy vd., uygulamalı olarak geliştirdikleri koruyucu bakım planlama ve kontrol sistemini kurmuşlardır. Sistemlerinde KB işlerinin çizelgelenmesi günlük bazda gerçekleştirilmek de ve her gün ertesi günün çizelgelenmesi hazırlanmıştır. Uygun KB işleri kümesi dikkate alınarak oluşturulan çizelgede KB işlerinin öncelik değerleri KB kapasitesi dolana kadar uygun zamanlara KB atamaları yapılır. KB işlerinin öncelik değerleri ile belirlenen sırada KB kapasitesi dolana kadar uygun zamanlara KB atamaları yapılır. KB işlerinin öncelik değerlerinin belirlenmesi çizelgelenme süreci içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Uygun küme içindeki işlerden hangilerinin günlük çizelgelemeye dahil edileceklerinin belirlenmesinde kullanılan kriterler bir öncelik fonksiyonu şeklinde ifade edilmiştir. Oluşturulan öncelik fonksiyonunun üç değişkeni: “Bakım Sıklığı (F)”, bir KB işinin tüm üretim sistemi içinde görece öneminin yansıtan öznel bir ölçüt olan “Önem Derecesi” ve bir KB işinin son yapıldığı tarihten sonra geçen bakım periyodunu kaç gün aştığını gösteren “Gecikme Miktarıdır (D)”. Bu üç değişkenden oluşan fonksiyonu klasik bir fayda fonksiyonu şeklinde ifade ederek uygulamışlardır. Uygulamadan elde edilen sonuçları değerlendirmek ve uygulamayı yönlendirmek için oran analizi yönetimini kullanmışlardır.

Yang vd., makalelerinde imalat sistemlerinde bakım ve üretim seviyesinin ayarlanması operasyonlarının birleşik çizelgelerinin analizi ve optimizasyonunu ele almaktadır. Bakım ve üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının birleşik çizelgesinin amacı, nispeten eski makinenin yavaş çalıştırılması veya yeni bakımı yapılmış makinenin hızla çalışması suretiyle üretim hedeflerinin karşılanmasına ve bakım operasyonlarının zamanlarının, imalat proseslerini çok fazla aksatmayacak şekilde ayarlanmasına olanak sağlayacaktır. Monte carlo benzetimi temelli metot bakım üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının çizelgesinin maliyet etkinliğini değerlendirmesi için önerilmiştir. Genetik algoritma temelli metot ise bu

operasyonlarının maliyet etkinliğini maksimize edecek çizelgelerinin araştırılmasına imkan vermesi için önerilmiştir. Bakım ve üretim seviyelerinin ayarlanması operasyonlarının birleşik çizelgesinin matris kromozon gösterimi tanıtılmış ve kromozon evrimi ile kromozon seçimi için çeşitli mekanizmalar önerilerek imalat sistemleri için sayısal benzetimlerle analiz edilmiştir.

Bakım çizelgeleme konusu; uçak, gemi ve taşıma araçları için araştırılmış bir konu olmuştur. Yang vd., uçak bakımlarını gerçekleştiren bakım ekiplerinin planlaması ve çizelgelenmesi konusunda çalışmışlardır. Bakım personelinin tüm bakım türlerini icra edebildikleri varsayımıyla karma tam sayılı programlamayı çözüm tekniği olarak kullanmışlardır.

Samaranayake vd., Sriram ve Haghani, uçak bakımlarının çizelgelenmesinde; Zhou vd., Haghani vd., ve Shafahi, otobüslerin bakım çizelgelemesinde; Deris vd., gemilerin bakımlarının çizelgelenmesi konusunda çalışmışlardır [8].

BÖLÜM 4. SİMÜLASYON VE MODELLEME

4.1. Simülasyonun Tanımı

Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır.

Bir başka tanıma göre simülasyon, gerçek bir prosesin veya sistemin zamana bağlı olarak modelini tanımlayan matematiksel bir modeldir. Simülasyon ister elle, isterse bilgisayar ile yapılsın, bir sistemin yapay kayıtlarının oluşturulması ve gerçek sistemin işletim karakteristikleriyle ilgili sonuçlarının elde edilmesinde bu yapay kayıtların incelenmesini kapsamaktadır.

Simülasyon, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden - sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Simülasyon, gerçek hayattaki olayların bilgisayar ortamına aktarılması işlemidir. Sanal ortamlar sağlayan yazılımlardır. Bir sistemin simülasyonu, bu sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir.

Simülasyonlar, genel tasarım formları içinde metin, test, canlandırma, seslendirme, alıştırma-uygulama gibi pek çok tasarım seçeneğinin uygulanmasına olanak tanırırlar. Yapararak, yaşayarak öğrenmeyi sağlarlar.

Eğitimsel simülasyon, bir olay veya aktivitenin etkileşim sonucu öğrenilmesini sağlayan modellemedir.

Simülasyon; önerilen veya gerçek dinamik bir sistemin modellenmesi ve zaman içindeki davranışın gözlenmesi işlemidir. Bir simülasyon çalışması, herhangi bir sistemin davranışının incelenmesi ve farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması amacı ile yapılır. Simülasyon çalışmalarında uygulanan iki adım; model tasarımı ve deneylerdir. Model tasarımı sistemin tüm önemli durumlarını temsil eden bir modelin kurulmasıdır. Geçerli bir model kurulduktan sonra deneyler kısmı başlar. Simülasyon genellikle mevcut olmayan veya pahalı ve zor gerçekleştirilebilecek sistemlerin denenmesine imkan sağlar.

Gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde ölçekli model çalışmalarının yerini bilgisayar ortamında yapılan sayısal simülasyon çalışmaları almaktadır. Bu çalışmalarda matematiksel model haline getirilmiş olan gerçek sistem modellenerek (örneğin Matlab'da) simülasyon yoluyla analiz edilir. Böylece gerçek ve ölçekli sistem modeli uygulamalarında gözlenen iş, zaman ve maliyet kaybının yanında bir daha geriye dönüşü mümkün olmayan ve insan hayatına mal olabilecek hataların önüne de geçilmiş olur. Buna nükleer güç santrallerinde olabilecek bir patlamanın veya uzay aracında olabilecek bir aksaklığın neden olabileceği sonuçlar örnek olarak verilebilir. Simülasyonda matematiksel bir modelin kullanılıyor olması parametre değerlerinin kolayca değiştirilmesine imkan sağlar. Dolayısıyla bunların sistem performansına olan etkilerini gözlemek ve analiz etmek kolaydır. Ancak analizin doğruluğu yapılacak olan simülasyonun doğru temellere dayanmasına bağlıdır. Bu temeller başlangıç değerleri olarak adlandırdığımız yer ve hız değişimi ve giriş sinyalinin değişimindeki değerlerdir. Bunların doğru olarak kullanımı özellikle doğrusal olmayan sistemlerin analizinde kendisini gösterir.

Bilgisayar simülasyonu, sistem dizaynı ve analizinde hızla popüler olan bir araçtır. Simülasyon, mühendis ve planlamacılara sistemin dizaynı ve işletimiyle ilgili zamanında ve zekice kararlar vermeleri için yardımcı olur. Simülasyon tek başına problemleri çözemez fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir. Koşul “what –if” analizi yapabilen bir araç olan simülasyon önerilen herhangi bir çözüm için sayısal ölçüm ve analiz yapılabilir ve kısa zamanda en iyi alternatif çözümü bulmaya yardımcı olur. Yeni bir sistemi kurmadan veya işletme politikalarını test etmeden önce bilgisayarda sistemi modelleyerek, sistem ilk

çalıştırıldığında karşılaşılabilecek birçok tuzağı önceden görmemize yardımcı olur. Devreye alma aşamasında iyi ürün elde etmek için aylar belki de yıllar süren çalışmalar simülasyonla günlere hatta saatlere sıkıştırılmış olur.

Üretim işletmelerinde kullanılmasına ilişkin ise; gerçek bir üretim sisteminin tasarlanması ve çalışma sürecince oluşturulan bir modelde sistemin dinamik davranışlarının farklı üretim organizasyon yapıları ve yönetim stratejileri ile değerlendirilmesi amaçlanır. Elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre üretim sisteminin daha verimli bir şekilde düzenlenmesi hedeflenmektedir. Simülasyon, çeşitli şekillerde üretim ünitelerine yol gösterici olabilir. Bununla birlikte bütün simülasyon uygulamaları daha iyi karar verebilmek için kullanılır. Genel olarak kullanılan analiz tekniklerini dörde ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi ve en gerçekçi olanı gerçek sistem uygulaması üzerinde yapılan çalışmalardır. Ancak her uygulama sonunda (arabaların kazalardaki dayanıklılığı, uzay aracı, uçak ve helikopterin uçuşu gibi) gözlenen eksikliklerin giderilmesi yeni bir sistem uygulaması gerektirebileceğinden maliyet, iş gücü ve zaman bakımından uygun gözükmemektedir. Bunun yanında sistemin çalışmasına etki edecek faktörlerin normal yaşam süresi içerisinde istenildiği zaman oluşması beklenemez. Örneğin bir geminin testi esnasında fırtınanın kopması, dalgaların yükselmesi, güvertenin buz tutması gibi hadiseler ve bunların şiddetleri ile miktarlarının istenen oranda oluşması düşünülemez. Buna alternatif olarak uygulanan ikinci yöntem sistemlere ait ölçekli modellerin yapay ortamlar içerisinde analiz edilmesidir. Ancak sistemlerde gözlenen aksaklıkların giderilmesi yapılan her uygulama sonunda yeni bir sistem modelinin yapımını gerektirir. Bakıldığında bu çalışmalar gerçek uygulamaya oranla daha az iş gücü, zaman ve maliyet gerektirse de küçümsenmeyecek miktarlardadır. Böylece verimlilik artış ve maliyetin düşümü sağlanır. Diğer bir deyişle simülasyon kullanımının ana sebebi, “karar vermeyi” desteklemektir. Simülasyon hangi tür amaçlarla kullanıldığına yönelik örnekleri sıralarsak; sistem performansının tahmini, sistemdeki bir takım özelliklerin değerlendirilmesi, farklı alternatifler arasında seçim, sistem problemlerinin tespiti vb. sayılabilir.

Simülasyon, sistem performansının birçok faktöre bağımlı olarak nasıl değiştiğinin gözlemlenmesine olanak sağlar. Bu faktörlere örnek olarak aktivitelerin gerçekleşme

süreleri, parçaların sisteme geliş ve ilerleme hızları, maliyet ve gelirler, personel ve makine kullanım yüzdeleri verilebilir. Bu, simülasyon çalışması yapılan firmadaki birçok iş birimine, operasyonların en ucuz maliyet ve en iyi kalitede nasıl gerçekleştirileceğine dair bilgi sağlaması açısından da önemlidir. Karar verici konumundaki her iş grubu veya bölüm, en iyi çözüme ulaşmak için gerekli, kendisine ait toplanmış veriye sahip olabilir.

Simülasyon, yöneticilerin verdikleri kararların şirketin iş sonuçları ve değeri üzerindeki etkilerini daha net bir şekilde algılamalarına da yardımcı olmaktadır. Model bir kez kurulduktan sonra şirketin değişik bölümlerinde çalışanların da kendi konularıyla ilgili verdikleri kararların işin diğer bölümlerine ve sonuçlara nasıl yansıdığı konusunda eğitilmeleri kolaylaşmaktadır. Böylelikle şirkette karar alma sürecinin kalitesi iyileştirilmiş olmaktadır.

Belki de en önemlisi, simülasyon modelleri ile yapılan çalışmaların yöneticileri rakiplerin bakış açısı ile bakmaya zorlamasıdır. Rakiplerini daha iyi tanıyan yöneticilerin onların stratejik hareketlerini daha hızlı ve daha iyi değerlendirme fırsatı olmaktadır.

Tüm simülasyon modelleri girdi- çıktı modelleridir. Yani, etkileşimli alt sistemlerine bir girdi verildiğinde, bir çıktı verirler. Bu manada, simülasyon modelleri, arzulanan bilgi ve sonuçları elde etmek için, “çözmek” den çok “koşulurlar”. Analitik problemlerde gördüğümüz türden, çözümleri üretmekte yetersiz kalırlar. Yalnızca, deneyci tarafından belirlenen koşullar altındaki sistemin davranışını incelemek için bir araçtırlar. Bu durumda, simülasyon bir teori değil, problem analizi için bir yöntemdir.

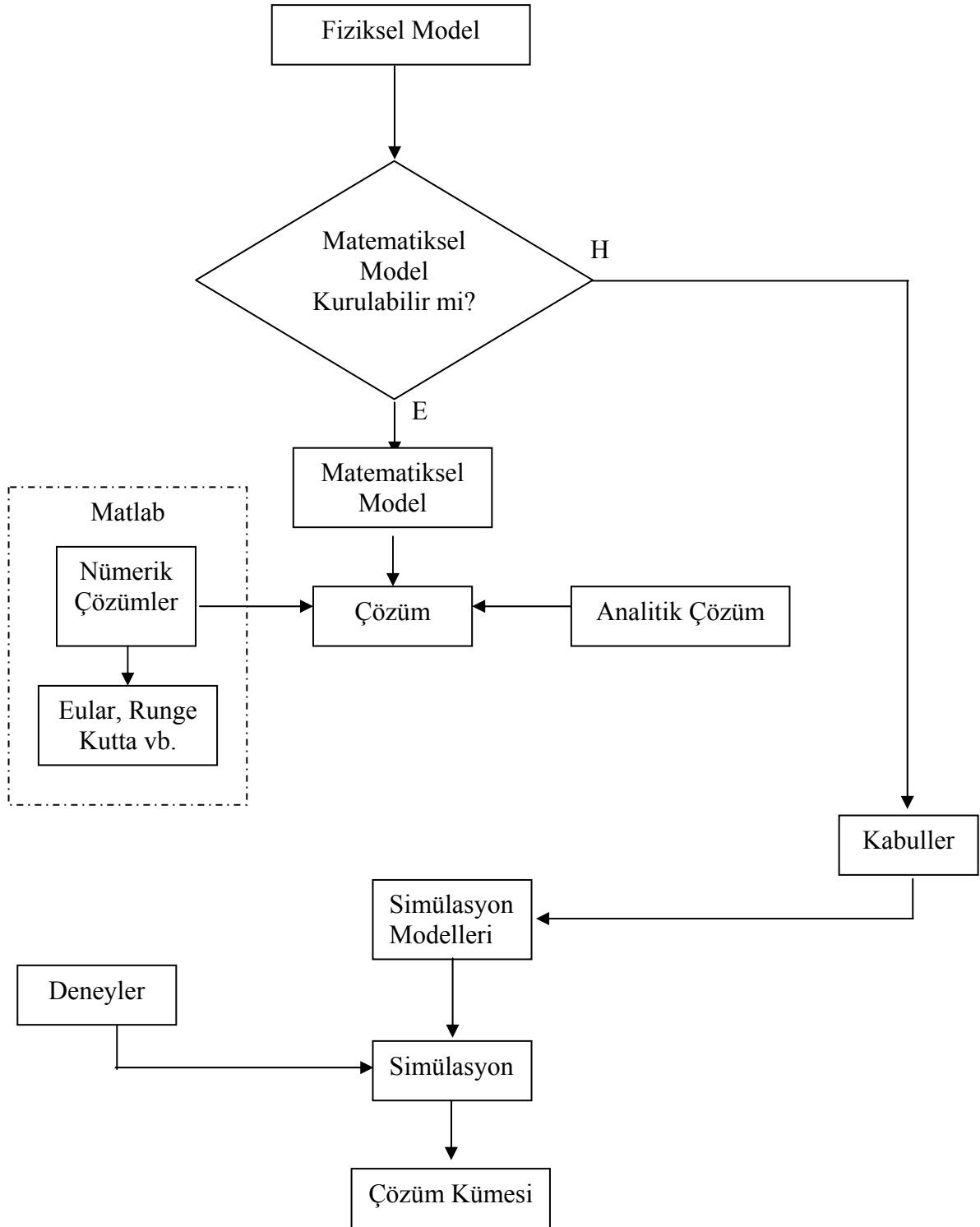
Sisteme ilişkin özel bir bilgiye gereksinim duyulduğunda ve bu bilgi bilinen kaynaklardan sağlanamıyor ise, deneysel bir sorun ortaya çıktı demektir. Gerçek sistem üzerinde doğrudan yapılan deney, model ve mevcut koşullar arasında iyi bir denge sağlanarak, güçlüklerin büyük bir kısmının ortadan kaldırılması sağlanır. Sonuçta doğrudan deneyinde büyük sakıncaları vardır. Bunlar:

- İşletme işlemlerini engelleyebilir.
- Kişiler sistemin bütünleyici parçası iseler, gözlemlenmeleri sonucu davranışları değişebilecektir.
- Deneyin her yinelenmesinde benzer işlem koşullarının korunması çok güç olabilir.
- Aynı örnek hacmini elde etmek daha zaman alıcı ve maliyetli olabilir.
- Gerçek yaşamda çok değişik türden seçenekler üretmek mümkün olmayabilir.

Konuya bu yönüyle bakıldığında simülasyon yöntemini kullanmanın ne zaman yararlı olacağı sorusu ortaya çıkacaktır. Bu koşulları şu şekilde sıralayabiliriz:

Problemin tam bir matematiksel formülasyonu yok ise ya da analitik bir yöntem geliştirilmemişse;

- Analitik yöntemlerin kullanılabilir olduğu ancak matematiksel çözümleme yollarının çok karmaşık olması nedeniyle,
- Analitik çözümlerin bulunduğu ancak bu işin sorumlusu olan kişinin matematik becerisini aştığı durumlarda,
- Bazı parametrelerin öngörülmesine ek olarak, zaman süresi içinde sürecin benzetilme öyküsünün gözlenmesinin arzu edildiği durumlarda
- Deneylerin yürütülmesi ve olayların mevcut çevreleri içinde gözlemlenmesindeki zorluk nedeni ile simülasyon yöntemi kullanılabilir.



Şekil 4.1. Fiziksel model akış diyagramı

Matematik estetikten yoksun olmasına karşın simülasyon, yönetimi sorunlarının analizinde en çok kullanılan nitel tekniklerden bir tanesi olmaya devam etmektedir. Ancak yine de, her yaklaşım gibi simülasyon da belli sakıncaları içermektedir. Bunlar:

- İyi bir simülasyon modelinin geliştirilmesi sıklıkla, pahalı ve zaman alıcı bir işlemdir. Artı bir yaratıcılık gerektirir.
- Bir simülasyon modeli, gerçek durumu yansıtmadığı bir anda, gerçek dünya durumunun modeli gibi algılanabilir.
- Simülasyon modelinin sonuçları genellikle sayısaldir. Bu ise sayılara bağlı kalınmasına neden olabilir.
- Simülasyon modeli bir kez kullanıldıktan sonra, araştırmacılar, bu tekniği, analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimini gösterirler.

Bu açıklamalar çerçevesinde iyi bir simülasyon modelinden neler beklendiğini şöyle sıralayabiliriz:

- Kullanıcı tarafından kolaylıkla anlaşılmalıdır.
- Amaç ve hedef yönlü olmalıdır.
- Anlamsız sonuçlar vermeyecek sağlamlıkta olmalıdır.
- Kullanıcı tarafından denetimi ve işletilmesi kolay olmalıdır.
- Tam olmalıdır.
- Model değişikliği ve güncelleştirilmesi için kolaylıkla uyarlanabilir olmalıdır.
- Evrimsel olmalıdır; yani basit bir şekilde başlayıp giderek karmaşıklaşmalıdır.

4.2. Simülasyon Süreci

Her simülasyon çalışmasının kendine özgü özellikleri olmasına rağmen, bir çoğu aşağıda tanımlanan adımların tamamlanmasına ihtiyaç duyar. Bu adımlar maddeler halinde aşağıda tanımlanmıştır.

Problemi çözecek şekilde hazırlanmamışsa, detaylı ve eksiksiz olması bir anlam ifade etmez. Etkili bir çalışma yapabilmek için, potansiyel problemleri olan sistem parçalarının incelenmesi ve çalışmanın buna göre hazırlanması gerekir. İyi bir model, gelecek ihtiyaçları da göz önüne alarak, sistemin diğer parçalarını da kolayca içine alacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Fakat içinde fazlalık ve gereksiz bilgilerin bulunduğu bir model bilgisayar üzerinde diğer modellere göre daha yavaş çalışabilir ve maliyeti daha yüksek olabilir. Üzerinde çalışılacak problemin kesin ve öz bir tanımının yapılabilmesi, beklenenden zor olabilir. Çalışma sonucuyla ilgilenen tek kişi, genellikle sadece modeli oluşturan kişi değildir. Mühendisler, yöneticiler, operatörler ve birçok çalışanın, oluşturulan model ve yapılan çalışmadan değişik beklentileri vardır. Çalışmanın yapısı ve içeriği hakkında genel bir tanım oluşturmak, bu kişilerden gelecek verilerin ve gerekli desteğin daha kolay elde edilmesini sağlayacaktır.

Simülasyon çalışmasının amaçları, genellikle ele alınan problem tarafından belirlenir, çünkü model kurulduktan sonra, model üzerinde yapılacak çalışmaların problemi çözmesi hedeflenmektedir. Potansiyel sistem iyileştirme metodlarının değerlendirilmesinin, çalışma hedeflerinin belirlenmesinde rolü büyüktür, ancak bu metodlar, simülasyon çalışmasında ortaya çıkabilecek yeni alternatif metodları önleyecek şekilde dar olarak tanımlanmamalıdır. Bunlara ek olarak, simülasyonun bir proje çalışması olarak ele alınması ve zaman hedefleri ile kritik nokta tanımlamalarının yapılması faydalıdır.

4.2.1. Model formülasyonu ve planlama

Simülasyon hedeflerinin ve problemin belirlenmesinden sonra, modeli kuracak olan kişi modelin kavramsal iskeletini oluşturabilir. Bu iskelet, modelde ele alınacak ana

olayları ve elemanları içerir. Ele alınacak sistemin bir taslağının ya da yerleşim düzenine ait bir çizimin kullanılması, çalışmaya çeşitli faydalar sağlar. İlk olarak, bu çizimler modeli kurmak için gerekli tüm detayların belirlenmesi ve çalışma sırasında sürekli hatırlanmasını sağlar. İkinci olarak, grafiksel gösterimler, her bir kaynaktaki ilgili verilerin sistematik olarak toplanmasını sağlamak için kullanılabilir. Ayrıca, sistemi anlamayı kolaylaştırmak için, sistemdeki akışlar ve etkileşimler (flows and interactions) bu çizimler üzerinde gösterilebilir. Sistemdeki operatörlerin, malzeme taşıyıcıların izledikleri güzergah ve kullandıkları yollarda bu çizimler üzerine aktarılabilir.

Toplanan verilerin doğruluğunun, elde edilen sonuç üzerinde etkisi büyüktür. Yapılan ilk plan içerisinde; gerekli olan verilerin, bilgi kaynaklarının ve bu bilgilerin nasıl elde edileceği belirlenmelidir. İlk olarak, çalışma hedefleriyle ilgili olan bu bilgilerin çıkartılması gerekir. Tecrübeli bir model kurucu, çalışmada yer alan diğer kişilere hangi verilerin gerekli, hangilerinin gereksiz olduğu konusunda yardım etmelidir. Sistemin bire bir kopyasını çıkarmaya yönelik harcanan çaba genellikle gereksizdir. Detayların, gerekli olduğu zaman eklenmesi, çalışmanın hedeflerine ulaşması açısından takip edilmesi gereken en uygun yoldur. Teknik karmaşıklıklar, model ile modelin kurulma amacı arasındaki ilişkiden daha az öneme sahiptir.

4.2.2. Veri toplanması

Organizasyonlar, sistem içerisindeki bazı operasyonları için (makine arıza sıklıkları, belirli süreçler için işlem süreleri) detaylı bilgiye sahipken bazı işlemler için kabataslak bilgiye sahip olabilirler. Yetersiz veya eksik veri bulunması durumunda modeli kuracak olan kişinin yapabileceği üç şey vardır:

- Sisteme en hakim kişilerden yardım alabilir,
- Verileri kendisi toplayabilir,
- Verilerle ilgili tahminler yapabilir.

Modelde tahmini verilerin kullanılması durumunda, daha sonra yapılacak duyarlılık analizinde (sensitivity analysis) bu verilerin sistem üzerindeki etkilerini anlamak

için, değişik değerler kullanılmalı ve verilerin uç değerleri, toleransları çok iyi analiz edilmelidir. Bu tür bir çalışma, daha detaylı verilerin toplanmasının daha uygun olacağını gösterebilir.

Önce makro veri olarak adlandırılan, sistemle ilgili temel bilgilerin ve istatistiklerin toplanması gerekir. Bu makro verilerin amacı, modelin giriş parametreleriyle ve daha sonraki çalışmalarda kullanılacak olan verilerin toplanmasıyla ilgili detayları içeren parametrelerin temelini oluşturmaktadır. Bu durum, modeli kuran kişinin, projenin daha ileri ki aşamalarında veri toplanması sürekli olarak yapılması gereken bir işlemdir. Simülasyon çalışması ilerledikçe ve makro veriler modele girildikçe, mikro verilerin toplanması önem kazanır. Birçok durumda, model kurucu, proje sırasında daha doğru ve güncellenmiş veriye ulaşabilir. Bir simülasyon modeline, yeni ve güncellenmiş verilerin kolaylıkla girilebilmesi bir avantajdır. Bu yüzden, çoğu model kurucu, daha kesin ve sağlıklı verilerin girilebilmesine imkan tanıyan daha esnek modeller kurmayı tercih ederler.

4.2.3. Model geliştirme

Modelleme, genellikle sistemin soyut bir ortamının oluşturulmasıyla başlar ve gittikçe daha detaylı bilgilerin eklenmesiyle devam eder. Bu soyut model, sistemin mantıksal bir modelidir ve sistemdeki olaylar arasındaki ilişkileri tanımlar. Bilgisayar üzerinde kurulan bu modelin gerçekleştirilebilmesi için, modeli kuran kişinin gerçek sistemin yapısını soyut olarak düşünebilmesi gerekir. Verilerin toplanması modelin kurulması esnasında da yapılabilir. Son kullanıcılar ile model kurucu arasındaki sürekli iletişimin model kurma aşamasındaki önemi gözardı edilmemelidir. Detaylarla ilgili ortak çalışma, projenin amaçlarından sapmasını önleyeceği gibi, önerilen değişikliklerin güvenilirlik temellerini oluşturur. Modele güvenilirliğin sağlanmasında iki önemli aşama; doğrulama ve değerlendirmedir.

4.2.4. Doğrulama (Verification)

Model, modeli kuran kişinin amaçları doğrultusunda çalışıyorsa doğrulanmış demektir. Modelin doğrulanması, simülasyonun çalıştırılması ve işlemlerin

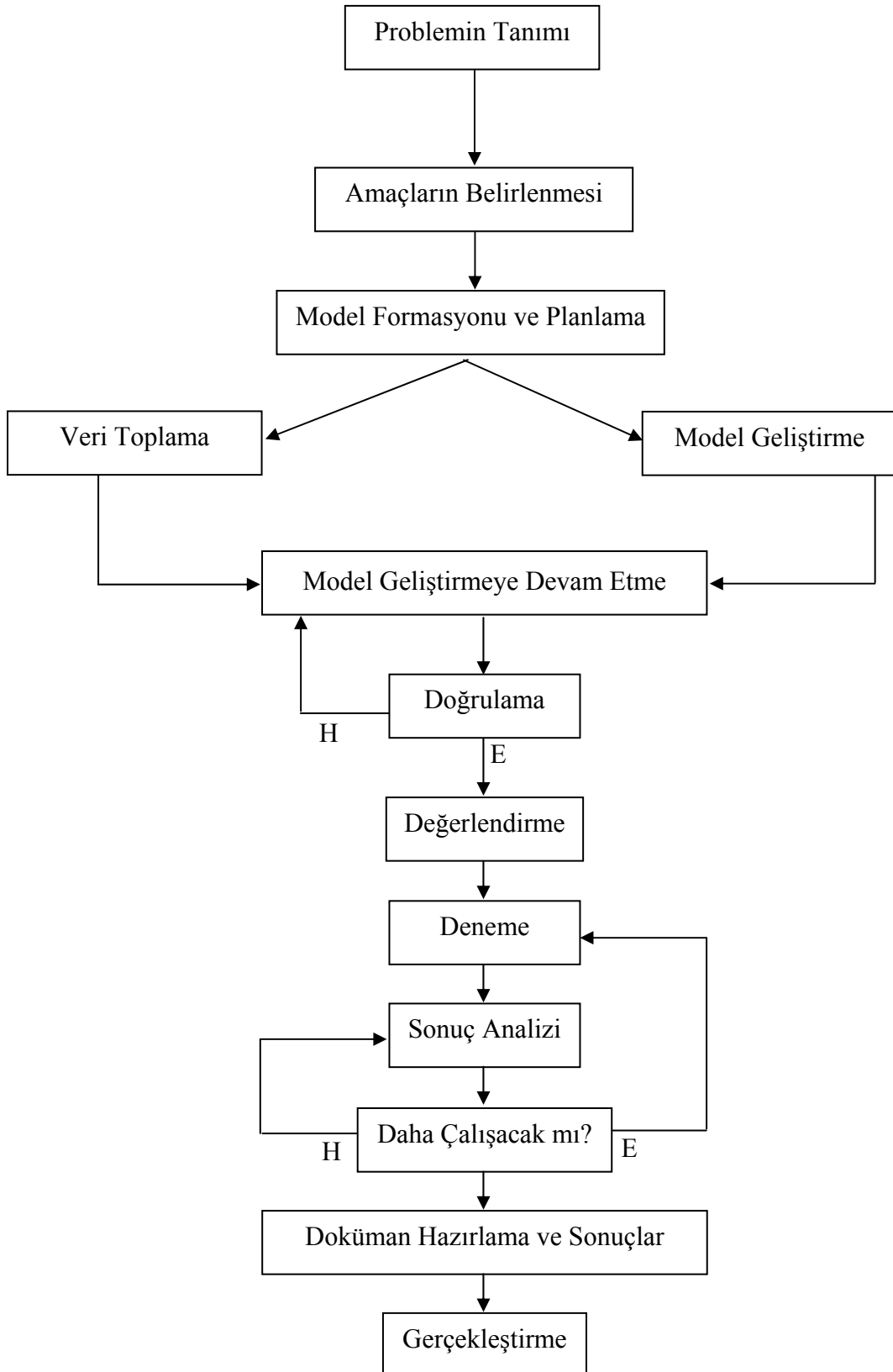
gözlemlenmesiyle yapılabilir. Kompleks modeller bir kaç kez muhtemel hataların düzeltilmesini (debugging) gerektirebilir. Çalışmanın hedefleriyle paralel çıkan sonuçlar, modelin doğrulandığını gösteren en önemli kanıtlardır.

Modelin doğrulanmasında ve hataların düzeltilmesinde bir kaç yardımcı araçtan yararlanılabilir. Örneğin, sistemdeki parçaların veya müşterilerin hareketlerinin sağlıklı olarak görülebileceği bir hızda animasyon yapılabilir. Fakat animasyon tek başına bir doğrulama aracı olarak kullanılmamalıdır. Değişkenler ve sayaçlar istenilen sonuçların bir göstergesi olarak animasyonda kullanılabilir. Diğer bir doğrulama sistemi de, model yapısının bir başka kurucu tarafından incelenmesidir. Simülasyon sonuçları, daha önce yapılmış model sonuçları ile karşılaştırılabilir. Modelin performansı, değişik durumlar altında test edilebilir.

4.2.5. Değerlendirme (Validation)

Değerlendirme, kurulan modelin, üzerinde çalışılan sistemdeki problemi yansıtıp yansıtmadığının belirlenmesidir. Değerlendirme testi, modeli kuran kişinin diğer potansiyel kullanıcılar ve sistemdeki işlemlerle ilgili kişilerle yapacağı ortak bir çalışma olmalıdır.

Modeli kuran kişi, genellikle modeli ve modelin gerçek sistemle olan ilişkisini gösteren yapısal bir plan çıkarır. Modeli kuran kişi, aynı zamanda modelde kullanılan tahmini verilerin olası etkilerini ve önemini de açıklar. Sistemi iyi bilen kişilerden alacağı yardımla da bu tahmini verilerin doğruluğunu kontrol etmelidir. Animasyon genellikle doğrulamadan sonra yapılırsa da, bir değerlendirme aracı olarak ta kullanılabilir. Giriş verilerini değiştirerek, kurulan modelin sonuçlarıyla sistemin kendi çıktılarını karşılaştırmak, test etme yollarından biridir. Giriş parametrelerinin değerlerini artırıp azaltarak sistem üzerindeki etkilerini incelemek, modelin gerçek sistemle olan benzerliğinin belirlenmesinde kullanılabilir. Rastgele sayı kaynakları (random number generator) gibi giriş verilerinin değiştirilmemesine, sadece giriş parametrelerinin değiştirilebileceğine dikkat edilmelidir. Bu tür bir test, yeterince veri girişinin yapıp yapılmadığını belirleyen bir esneklik analizi olarak da görülebilir.



Şekil 4.2. Simülasyon aşamaları algoritması.

Bir başka yaklaşım da, sistemi çok iyi bilen uzmanların sistemle model arasındaki benzerlik ve farklılıkları bulmalarıdır. Bu işlem “turing test” olarak adlandırılır. Bu uzmanlara, orijinleri gösterilmeyen fakat aynı formattaki sistem ve model sonuçları verilir ve önemli farklılıkları ayırt etmeleri istenir. Buna benzer başka bir yöntem ise, geçmiş verilerin model üzerinde denenerek, model sonuçlarının gerçek sisteme ait sonuçlarla karşılaştırılmasıdır.

4.2.6. Denemeler (Experimentation)

Bir simülasyon modeli, temel olarak “ne-eğer” (“what-if”) analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araç olarak ele alınmalıdır. Kullanıcısına değişik dizayn ve işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini gösterir. Simülasyon, tek başına problemleri çözemez fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir. Koşul (“what-if”) analizi yapabilen bir araç olan simülasyon, önerilen herhangi bir çözüm için sayısal ölçüm ve analiz yapabilir ve kısa zamanda en iyi alternatif çözümü bulmaya yardımcı olur.

Çoğu durumda, projede yer alan kişilerin değişik alternatif çözümlere ilişkin temel ve basit fikirleri vardır. Her alternatifi model üzerinde denemeden önce, kabul edilebilir sonuçlar elde etmek için gereken simülasyon zamanının ve modelin eğer mümkünse durgun duruma (steady-state) gelmesi için gerekli zamanın hesaplanması gerekir. Durgun durum demek simülasyon çıktılarının durgun olduğu anlamına gelmez, durgun durum, verilerin dağılımı ya da çıktılarıdaki istatistiksel varyansın zamanla değişmeyecek olmasıdır.

Rastgele karakteristikleri olan herhangi bir deneyde olduğu gibi, simülasyon çalışmaları rastgele olaylar içerdiği için, simülasyon çıktıları da doğası gereği rastgele olacaktır. Bu sebeple, tek bir simülasyonun çıktısı, oluşma ihtimali olan birçok sonuçtan sadece bir tanesini yansıtır. Bu nedenle sonucu test etmek için birçok defa deneme tekrar edilmelidir. Aksi halde normalde beklenmeyen bir sonuç üzerinde karar verilebilir. Çıktıda istenen hassasiyet derecesine bağlı olarak çıktı için bir güven aralığı oluşturulması istenebilir.

Simülasyon denemeleri yapılırken aşağıdaki sorular sorulmalıdır:

- Sistemin durgun durumuyla mı ilgileniyorum yoksa bir operasyonun belirli bir durumuyla mı?
- Modelin doğru başlangıç konumunu nasıl belirlerim? (eliminating start-up bias)
- Modelin beklenen doğru davranışını tahmin etmekte kullanılacak olan gözlemleri elde etmenin en iyi metodu nedir?
- Simülasyonun uygun çalışma süresi ne kadardır?
- Kaç tekrar yapılmalıdır?
- Kaç farklı rastgele değişken kaynağı (random number streams) kullanılmalıdır?

Bu soruların cevapları büyük ölçüde şu üç faktör tarafından belirlenecektir:

- Simülasyonun doğası,
- Simülasyonun amacı (kapasite analizi, alternatif karşılaştırmalar gibi),
- Gereken hassasiyet (kaba tahmine karşı güven aralığı tahmini).

4.2.7. Deneysel tasarım (Experimental Design)

Deneysel tasarım, alternatiflerin karşılaştırılması ve analizi için prosedürlerin belirlenmesidir. Amacı, simülasyondan elde edilen bilgilerden maksimum derecede faydalanırken harcanan çabayı azaltmaktır. Böyle bir plan yapmadan alternatifler arasında gerçekçi karşılaştırmalar yapmak zor olabilir. Rastgele değişen elemanları içeren alternatiflerin deneme testi, aynı rastgele sayı kümesiyle yapılabilir. Her deneme için benzer olaylar sırası yaratılabilir ve alternatifler arasındaki farkı görebilmek için varyans azaltma teknikleri kullanılabilir. Değişik alternatif

çözümlerin performansları, seçilen bir kritere göre istatistiksel olarak karşılaştırılabilir.

4.2.8. Sonuçların analizi ve dokümantasyon

Her model konfigürasyonunun sonuçlarının mutlaka iyi bir dokümantasyonu yapılmalıdır. Normal raporlara ek olarak, yapılacak dikkatli bir dokümantasyon, modeli kuran kişinin hangi alternatifin en iyi sonucu verdiğini belirlemesine ilave olarak, yeni alternatifler doğuracak eğilimlerin de kolaylıkla ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bazı durumlarda, algılanan iyileşmenin istatistiksel önemini belirlemek için ek tekrarlara ihtiyaç duyulabilir.

Genel olarak modeli kuran kişi, modellenen alternatiflerin, kullanılan varsayımların ve elde edilen sonuçların bir listesini oluşturur. Simülasyon yazılımları, genellikle sonuçları istatistiksel olarak tablo formatında oluşturur. Buna ek olarak animasyon ve çıktı grafikleri, simülasyon sonuçlarının sunulması açısından oldukça önemli yardımcılarıdır. Simülasyonu yapılan modelin görsel etkisi de göz önüne alınmalıdır.

Sunuş bitirildikten sonra yapılacak daha fazla analiz yoksa modelin ispatlanmış olan önerileri yerine getirilmeye hazırdır. Eğer simülasyon iyi bir şekilde dökümante edilmişse öneriyi gerçekleştirecek olan ekibe önemli bir kaynak sağlanmış olur.

4.2.9. Uygulama (Implementation)

Uygulama gerçekte, simülasyon projesi ile başlar. Büyük projelerde, önerilerin uygulanabilmesi, izlenen adımların uygunluğuna bağlıdır. Modeli kuran kişi ve diğer ilgili personel, simülasyon projesinin uygulanmasında rehberlik etmelidir.

Proje için bir bitiş zamanı belirlense de, iyi oluşturulmuş modeller proje bitiminden sonra rafa kaldırılmaz, genellikle sistemin başka parçalarını da içine alacak şekilde geliştirilirler ya da başka modellerle entegre edilip sürekli iyileştirme çalışmalarında kullanılırlar. Bu aşamada model kurucu model mantığı ve varsayımlara ilgili

dokümantasyonu sürekli iyileştirme çalışmaları için saklamalı ve yapılan çalışmalara göre güncellemelidir.

4.3. Simülasyonun Uygulama Alanları

Simülasyonun kullanıldığı bazı uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir :

1. Üretim/imalat sistemlerinin tasarım ve analizi,
 - 1.1. Montaj hattı dengeleme,
 - 1.2. İşgücü planlaması,
 - 1.3. Malzeme taşıma sistemleri.
2. Yeni askeri silah ve sistem taktiklerinin saptanması,
3. Bir envanter sistemindeki sipariş planlarının incelenmesi,
4. Satış tahminleri,
5. Üretim planlaması ve çizelgelemesi,
6. İletişim sistemlerinin ve bunlar için gerekli mesaj protokollerinin tasarımı,
7. Otoyollar, havaalanları, metrolar ve limanların tasarım ve işletimi,
 - 7.1. Ambulans bulundurma noktalarının ve buralardaki araç sayılarının saptanması,
 - 7.2. Yangın söndürme istasyonlarının yerlerinin ve buralarda bulundurulması gerekli minimum araç sayılarının saptanması,
8. Finansal veya ekonomik sistemlerin analizi,
9. Dağıtım kanallarının tasarımı,

10. Bir bilgisayar sisteminin donanım ve yazılım gereksinimlerinin belirlenmesi,
11. İşletme yöneticilerinin eğitilmesi (işletme oyunları/firma benzetimi),
12. Alınacak riskleri minimize etmek için uzay uçuşları denemeleri,
13. Tamir-bakım sistemleri.

4.4. Simülasyonun Avantajları

- Simülasyon esnek bir çözüm yöntemidir.
- Diğer modellere kıyasla anlaşılması daha kolaydır.
- Aşamalı olarak uygulanabilme imkanı vardır.
- Klasik çözüm yöntemlerinin kullanılmadığı büyük karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkilidir.
- Bir başka yöntemde incelenmesi olanaksız olan koşullar ve kısıtlar simülasyon ile rahatça modellenebilir.
- Model kurucu, yönetici ile yakın ve sürekli ilişkide olduğundan yöneticinin görüşlerinden yararlanabilir.
- Model aynı zamanda yöneticinin görüşlerini de yansıttığından uygulanabilme olanağı yüksektir.
- Sonuçları ancak aylar, yıllar sonra alınabilecek durumlarda simülasyon ile çok kısa sürede analiz edilebilir.
- 'Eğer-ne' (what-if) türü senaryoların modellenmesiyle yöneticilere değişik seçenekleri değerlendirme olanağı tanınır.

- Simülasyon, modellenen sistemi değiştirmeden yeni fikir ve politikaların model üzerinde rahatça uygulanmasına olanak verir. Hem mevcut bir sistem için önerilen değişiklikleri hem de mevcut olmayan sistemleri analiz etme ortamı sağlar.

- Pek çok faktörün etkisi aynı anda ve etkileşimli olarak incelenebilir.

- Kullanıcı simülasyonu istenen zamanda durdurup yeniden başlatabildiğinden deney koşulları üzerinde tam bir kontrole sahiptir. Oysa gerçek sistemlerin içinde çalıştığı saat geriye alınamaz, durdurulamaz.

4.5. Simülasyonun Dezavantajları

- İyi bir simülasyon modelini geliştirmek vakit alıcı ve pahalıdır.

- Optimum çözüm üretme garantisi yoktur. Bir çeşit deneme-yanılma yöntemidir.

- Yöneticiler denemek istedikleri alternatifler için tüm koşul ve kısıtları ortaya koymalıdır; yoksa simülasyon kendi başına çözüm üretmez.

- Her simülasyon modeli kendine özgüdür. Genelde çözümler ve çıkarsamalar başka problemlerin çözümünde kullanılamaz.

- Uygulamasındaki kolaylıklar dolayısıyla analitik çözümlerin göz ardı edilmesine neden olabilir.

- Skolâstik yapısı çok sayıda deneyi gerektiren istatistiksel analizleri öngörür.

- Modellemede ve bulguların analizinde yapılacak hatalar, yanlış sonuçlara yol açabilir [9].

4.6. Simülasyon Modelleri

- a) Matematiksel ve kesikli simülasyon modelleri,
- b) Monte carlo simülasyonu modelleri,
- c) Deterministik ve stokastik simülasyon modelleri,
- d) Kesikli ve sürekli simülasyon modelleri.

Bu tez çalışmamızda simülasyon modellerinden monte carlo simülasyon modelini kullanacağımızdan detaylı olarak bu simülasyon modelinden bahsedeceğiz.

4.6.1. Monte carlo simülasyonu

Günümüzde endüstriyel problemlerin doğasındaki karmaşıklık ve sürekli yeni teknik yöntemlerin kullanılması maalesef pek çok analitik çözümü olanak dışı bırakmaktadır. Problemlerin yapısı değişen teknolojiyle birlikte karmaşık bir hale gelmekte ve bütünleşik sistemlerin sayısı hızla artmaktadır. Analitik yaklaşımların aksine simülasyon modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha başarılı olurlar. Değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemlemek daha kolaydır. Ancak yoğun bilgisayar kullanımını gerektirir. Gerçek sistemden toplanan bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak, sayısal bir takım sonuçlara ulaşmak hedeflenir. Bunların değerlendirilmesi ve sonuçlarına ulaşılması sistem performans ölçütlerinin birtakım tahminleridir. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir.

Simülasyon tekniğinin Monte Carlo tekniği olarak adlandırılması Von Neumann ve Ulam bilim adamları tarafından yapılmış olup ilk uygulamalarını nötron yayılımı problemlerinde bu yöntemi kullanmışlardır [10]. Monte Carlo metodu nötron difüzyon problemlerinden bir istatistiksel metod ortaya koyar. Monte Carlo tekniği, özel bir denemede ya da bir simülasyon çalışmasında bir ya da daha çok olasılık dağılımından rastgele sayılar seçme tekniğidir. Hesaplamalarda fiziksel sistemi

tanımlayan olasılık yoğunluk fonksiyonlarından rastgele seçilmiş sayılarla gerçekleştirilir [11]. İstatistik ve belirleyici kodlar arasındaki en önemli fark, istatistik kodda parçacığın davranışının yaklaşık bir değerini oluştururken, bununla birlikte belirleyici kod da parçacığın davranışı için transport denklemlerini çözer [12].

Monte Carlo yöntemi, deneysel ve istatistiksel problemlerinin çözümüne rastgele sayılarla yaklaşımlara verilen genel bir isimdir. Bu yöntem, özellikle 1930'lardan sonra hızla gelişmeye başlamış bir tekniktir. Los Alamos laboratuvarlarında nükleer silah geliştirilmesi projesinde çalışan bilim adamları tarafından ilk kez ortaya atılmıştır. Bu metotlar olasılık teorisine tabidir. Metodun bir probleme uygulanması, problemin tesadüfi sayıları kullanarak simülasyon edilip hesap edilmek istenen parametrenin bu simülasyonlarının sonuçlarına bakılarak yaklaşık hesaplanması fikrine dayanır. Metot da basit sayısal integral hesaplama yöntemlerinden, günümüz istatistik teorisinin yoğun hesaplama gerektiren Bayes çıkarılma yöntemlerini pratik ve rutin olarak uygulanabilir hale getiren modern simülasyon tekniklere ulaşan bir gelişim izlemiştir [13].

Simülasyon kelimesinin modern anlamda kullanılışı 1940 yılı sonlarında John Von Neumann ve Stanislaw Ulam'ın çalışmalarına Monte carlo simülasyonu adını vermeleri ile başlar. Monte carlo simülasyonu, duyarlılık metodu, momentler metodu ve tam cebirsel çözümleme gibi risk analizi yöntemlerinden birisidir.

Sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, riski daha iyi temsil etmesi nedeniyle mühendislik, eğitimde ölçme ve değerlendirme, askeri teknoloji, fen ve mühendislik alanında, nükleer teknoloji ve uzay sisteminde, istatistiksel analiz ve sosyoekonomik sahalarında sıkça başvurulan bir yöntemdir [14].

Genel anlamda simülasyon, gerçeğin temsil edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Simülasyonun amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek gerçek sistemi kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek çok karışık ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma problemleri başarı ile başka anlamlar da kazanmıştır.

Bu sayede sosyal bilimciler de fizik kimyacılar gibi laboratuvar deneyimlerine benzer deneyleri bilgisayarda gerçekleştirme olanağı bulmuştur. Josep H.Mice simülasyonu, bir sistemin kendisi üzerinde doğrudan denemeler yapmak veya bu sistem ile ilgili bir problemin analitik çözümünü bulmak yerine sistemin modelini kurup denemelere girişme anlamında kullanılmıştır.

Monte Carlo tekniği, özel bir denemede ya da bir simülasyon çalışmasında bir ya da daha çok olasılık dağılımından rastgele sayılar seçme tekniğidir. Yöntem daha son çoklu integral değerlendirme problemleri gibi oldukça karmaşık olmayan problemlerin çözümüne kolaylıkla adapte edilmiştir. Bazı bilimciler yöntemin sadece varyans azaltma tekniklerinin örnekleme işlemlerinde kullanılması şeklinde sınıflandırılmasını önermişlerdir. Buna rağmen yöntemin bugünkü kullanımı, genellikle olasılık dağılımlarından rastgele değerlerin seçimi şeklindedir. Geçmiş uygulamalarda şans oyunları bir simülasyon tekniği olarak adlandırılmış olmasına rağmen aralarında belirgin farklılıklar olduğu kesindir. Şans oyunu, oyuncuların faaliyetlerinin bir sonucu olarak bir modelin davranışını gözlemek ve karar vermek için bir oyun modelinin kullanılmasıdır.

Monte carlo, şans oyunları ve model örnekleme yöntemlerini içermektedir. Simülasyon tekniklerinin en büyük dezavantajı, Monte carlo, şans oyunları ve model örneklemesinde var olan düzgün bir terminolojiden yoksun olmasıdır. Buna karşılık uygulanabilir oldukları durumlarda, bir mühendis, bir ekonomist, bir yöneylem araştırmacısı veya bir işletme analisti görevini kolaylıkla üstlenebilir. Herhangi bir amaç için geliştirilen ve çalıştırılan bir simülasyon modeli kontrol edebilir koşullar altında sistemin dinamik davranışlarının kontrol altına alınmasına imkan sağlar. Daha güzel bir ifade ile simülasyon teknikleri, ilgili problemlerinin analizinde bir laboratuvar hizmetini üstlenir. Simülasyonun ilk kullanımları, Joseph H. Mice ve Morgenthaler'in tanımlarına uygun olarak, mühendislik ve bilimsel çalışmalarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Literatürde, bu tür simülasyon modellerine Analog Simülasyon modelleri adı verilmektedir. Analog model, bir özelliğin benzeyen bir başka özellikle simgelendiği modellerdir. Bu tanıma göre analog simülasyonlar, kesin olarak kendisine benzeyen diğer bir sistemi temsil etmek için fiziksel bir sistemi kullanan simülasyonlardır. Ekonomide, işletmelerde ve diğer

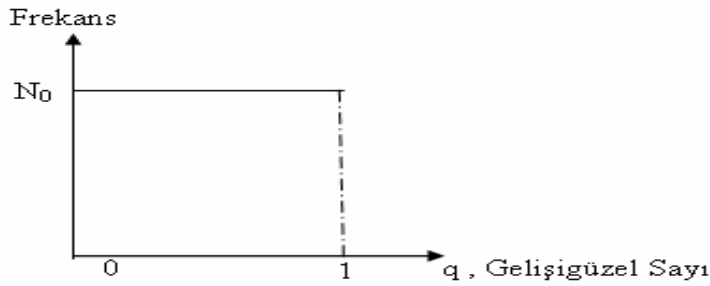
sosyal bilimlerde kullanılan simülasyon teknikleri, dinamik bir süreci temsil eden sayısal bir model üzerinde denemeler yapmayı içerir. Sistemin değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon modellerinde gözlemek daha kolaydır. Ancak yoğun bilgisayar kullanımını gerektirir. Gerçek sistemden toplanan bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak sayısal birtakım sonuçlara ulaşmak hedeflenir. Bunların değerlendirilmesi ve yorumlanması yapılarak sistem performans ölçütlerine ait birtakım tahminlerde bulunulur. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir. Simülasyon modeli, sadece matematik denklemlerine değil, denemelere dayanır ve model optimum sonuçlar ortaya çıkarmaz fakat simülasyon modelleri yardımı ile alternatif çözümler ortaya konarak, optimum sonuca en yakın çözüm seçilir [15].

4.6.1.1. Monte carlo simülasyon metodunun matematiksel analizi

Monte carlo metodunda sayısal olarak bir deneyi veya olayı taklit etmek için temel araç 0-1 arasında değerler alan düzgün dağılımlı sayıları kullanmaktır. Bu sayıları q ile gösterelim. Bu sayılar bir bilgisayar programı ile türetilebilir. Belli bir ölçü veya deneyde bulunabilecek değerler kümesi bir gelişigüzel sayı kümesi oluşturur. Gelişigüzel sayılar kümesinde herhangi bir sayının gelme olasılığı ötekilerden farklı olabilir. Olasılıklar aynı ise böyle bir kümeye düzgün dağılımlı gelişigüzel sayılar kümesi denir [16].

Gelişigüzel sayılar her bir rakamı aynı olasılıkla seçilmiş ve birbirinden bağımsız sayılardan oluşmuş bir kümenin elemanlarıdır. Monte carlo metodunda çok sayıda gelişigüzel sayı gerektiğinden bu sayılar bilgisayarda üretilir. Bilgisayarda tümüyle belirli bir yöntemle göre ardı ardına oluşturulan bu sayılar gerçekte gelişigüzel olmamakla birlikte gelişigüzel sayıların istatistiksel özelliklerini içerirler. Bu formülden elde edilen gelişigüzel sayı dizisine, “sözde gelişigüzel sayılar” denir.

Şekil 4.3’de q gelişigüzel sayılar karşın, bu sayıların $N(q)$, sıklık (frekans) dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.3. Gelişi güzel sayıların frekansa bağlı grafiği

Gelişigüzel Sayılar 'Mixed congruential method' formülünden elde edilebilir;

$$P_i = \text{tamsayı} \times (ax_i / br_i) \quad (4.1)$$

$$X_{i+1} = ax_i - br_i \quad (4.2)$$

$$q_i = x_{i+1} / b \quad (4.3)$$

Bu yöntemin algoritması: $x_i = ax_{i-1} (M \text{ od } m)$ matematiksel bağıntısıyla gösterilebilir.

Burada x_i , pozitif tam sayı dizisi olup başlangıç değeri x_0 dır. a ve b ise pozitif bir tamsayıdır. Bu sayılardan daha büyük başka bir pozitif tamsayı ise m'dir. x_i pozitif tam sayılar dizisi $x_{i-1}a$ ile çarpılıp çıkan sayının m' ye göre modu hesaplanarak elde edilir.

$$x_1 = (ax_{i-1} + c)(\text{mod } m) \quad (4.4)$$

'Mixed congruential method' adı verilen yöntemde başlangıç değeri olarak x pozitif bir tamsayı alınır. Üretilen sayı dizisinin her sayısı m'ye bölünerek 0-1 aralığındaki sayılardan o yeni bir dizi elde edilir. a ve c iki tam sayı m'de bu sayıların ikisinden de büyük bir tamsayıdır. a, b, c, m ve 0_x 'ın farklı değerleriyle üretilen diziler gelişigüzeldir ve bir i_x dizisi, 0_x , a, c, m ile tümüyle belirlenir. Dizinin en çok m adet farklı sayıdan oluştuğu ve sonuçta kendisini tekrarlayacağı açık olmakla birlikte periyot, m, a ve c'nin uygun değerleri seçilerek mümkün olduğunca büyütülebilir. Şimdi de, $a \leq x \leq b$ aralığında, her bir x sonucunun ortaya çıkma olasılığı, f(x) sıklık

fonksiyonu ile belirlenen bir olayı taklit etmek isteyelim. Olayda sonucun x ile $x+dx$ arasında bir değer alma olasılığı,

$$P(x)dx = f(x)dx / \int_a^b f(x)dx \quad (4.5)$$

Burada, $P(x)$ fonksiyonuna Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu adı verilir.

$Q(x)$, Toplam Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu ise,

$$Q(x) = \int p(x')dx \quad (4.6)$$

şeklinde tanımlanır.

$a \leq x \leq b$ aralığındaki her x değerine karşılık $Q(x)$, toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu 0-1 aralığında gelişigüzel değerler alır. $Q(x)$ değerlerinin ortaya çıkma sayısı yani sıklık fonksiyonu düzgün bir dağılım gösterir. O halde $P(x)$ 'i T ye eşitleyebiliriz,

$$T = Q(x) \quad (4.7)$$

(4.5), (4.6), (4.7) denklemlerini kullanarak Temel Monte Carlo ilkesine ulaşabiliriz.

$$T = \int_a^x f(x')dx' / \int_a^b f(x)dx \quad (4.8)$$

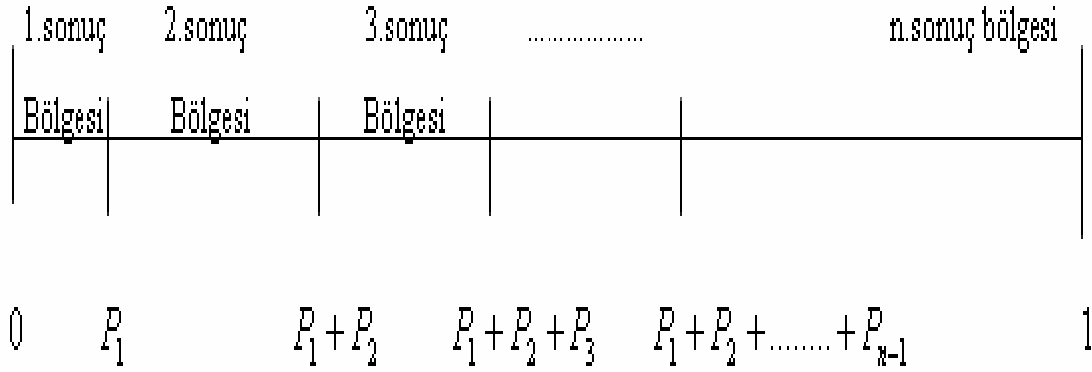
elde edilir.

Denklem (4.8) de temel monte carlo ilkesi olarak bilinir. Denklem (4.8) den X tersine çözülrse T 'ye bağlı olarak,

$$X = P^{-1}(T) \quad (4.9)$$

Ters dönüşüm denklemini elde edilir.

Monte carlo metodu kullanılarak yapılan bilimsel bir deney çalışmasında, n-tane sonuç olsun ve sonuçların her birinin meydana gelme olasılıkları sırasıyla P_1, P_2, P_n değerlerini alsın, Bu olayı 0-1 arasında değerler alan gelişigüzel sayılarla taklit etmek istersek, gelişigüzel sayı eksenini Şekil 4.4'deki gibi n tane bölgeye ayırıp, tek boyuta gelişigüzel sayı ekseninde gösterebiliriz.



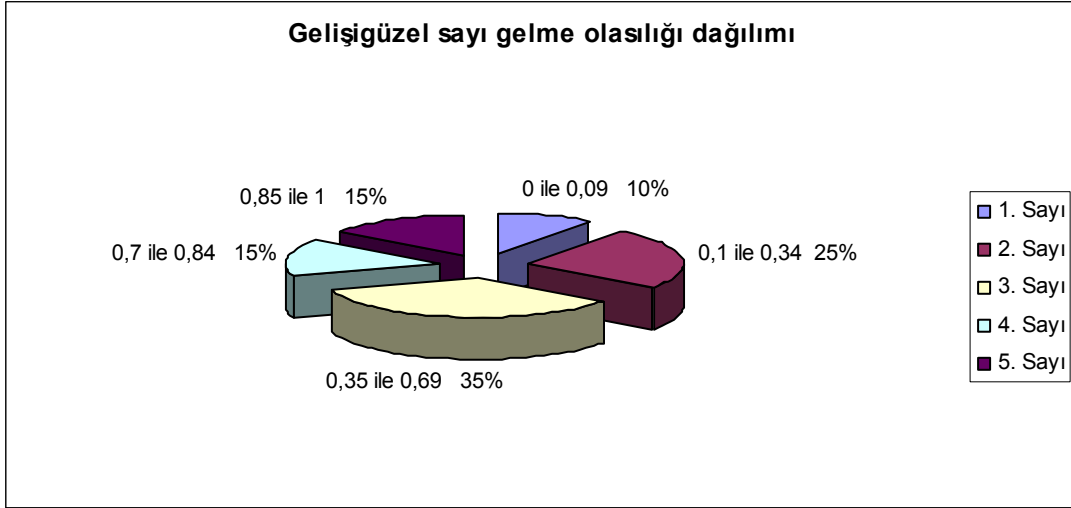
Şekil 4.4. Gelişigüzel sayı eksenine n-tane sonuç bölgesinin yerleştirilmesi

Gelişigüzel sayıların P_1 olasılıkla belirlenen miktarını 1. sonuç P_2 olasılıkla belirlenen miktarını 2. sonuç, P_n olasılıkla belirlenen miktarını da n.sonuç için ayırmış olduk. Böylece belirtilen bir gelişigüzel sayı hangi sonuç bölgesine düşerse, olayda o sonuç meydana gelmiştir. Bu durumda olasılık dağılımı aşağıdaki matematiksel ifadeyle ibaret olur [16].

$$0 < q < P_1 \quad \text{ise 1. sonuç} \quad (4.10)$$

$$P_1 \leq q < P_1 + P_2 \quad \text{ise 2. sonuç} \quad (4.11)$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_{n-1} \leq q < 1 \quad \text{ise n. sonuç} \quad (4.12)$$



Şekil 4.5. Gelişigüzel sayı gelme olasılığı dağılımı.

Frekans dağılımlarını kümülatif olasılık dağılımlarına dönüştürerek bu sayede, bir değişken değeri ile rastgele sayı arasında ilişki kurabiliriz

Benzetimin her tekrarlanışında, belirli değişken tespit etmek için rastgele sayı çekilir. Bu rastgele sayılar ya bir rastgele sayılar tablosundan elde edilir ya da bilgisayar yardımı ile üretilir [17].

Analiz ettiğimiz operasyon için yapılan benzetime yeterli tekrarı sağlayana kadar rastgele sayı üretimine devam eder. Kabul edilen tekrarın gerçeği yansıtmayı yansıtmadığı çeşitli istatistiksel testler ile analiz edilebilir. Bilgisayar ile gerçekleştirilen benzetim sistemlerinde örnek büyüklüğü çok fazla tutmak, modelin gerçek sistemin davranışlarını daha iyi yansıtmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada bakım tiplerini belirlenirken yaygın olarak kullanılan tekniklerden biri olan Monte Carlo metodu ile bakım tipleri belirlenmiştir. Bakım çizelgeleme simülasyonunun her çalışmasında 10 tramvay aracı için farklı farklı 4 çeşit bakım tipi belirlenerek, örnekleme sayısı artırmıştır. Tez çalışmasının uygulama kısmında bakım tiplerinin ve ekiplerinin nasıl atadığı daha ayrıntılı incelenmiştir.

BÖLÜM 5. İSTANBUL ULAŞIM A.Ş'DE FİLO BAKIM YÖNETİMİ

5.1. İstanbul Ulaşım A.Ş

Ulaşım A.Ş. İstanbul'daki mevcut Tramvay, Metro ve Hafif metro hatlarının işletmeciliğini yapan , İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait bir şirkettir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından İstanbul'da kent içi raylı sistemlerin işletmeciliğini yapmak üzere kurulan İstanbul Ulaşım A.Ş. toplam 64 km uzunluğundaki 7 kent içi raylı sistem hattının işletmeciliğini yapmaktadır. İşletmeciliğini yaptığı Zeytinburnu- Kabataş tramvay hattı Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği (UITP) tarafından yüksek yolcu talebini karşılama alanında dünyada en iyi uygulama seçilen İstanbul Ulaşım her gün 700.000'in üzerinde yolcuya hizmet vermektedir. İstanbul'da giderek ivme kazanan raylı sistem yatırımlarının tamamlanmasıyla birlikte kısa zamanda çok daha fazla sayıda yolcuya hizmet verecek olan Ulaşım A.Ş. 2005 yılında imzaladığı Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği Sürdürülebilir Gelişme Beyannamesi ile sürdürülebilir gelişme alanındaki taahhüdünü de ortaya koymuştur.

5.2. ULAŞIM A.Ş'de Kullanılan Araç Filoları

5.2.1. Hafif metro

Hafif metro araçlarına yaklaşık ayda bir olmak üzere 900 adet 10.000 km bakımı, yaklaşık yılda bir olmak üzere 60 adet 100.000 km bakımı, yaklaşık her araca 4 yılda bir olmak üzere 35 adet 400.000 km ağır bakımı yapılmaktadır. Bakımlarda araçların tekerlek sistemlerindeki olası arızaların tespiti ve giderilmesi, elektrik ve elektronik sistemlerinin testi arıza tespiti ve giderilmesi, araçların genel kontrollerinin

yapılmasını, ağır bakımlarda ise araçların zemin kaplamalarından koltuk kaplamalarına kadar iç ekipmanları değiştirilmekte, bojileri tamamen sökülerek tekerlekleri yenilenmektedir. Bu bakımlara dahil ya da dışında olmak üzere yaklaşık 105 adet hafif metro aracının tekerleklerine torna işlemi, 20 adet Tramvay aracının tekerlek tornası ve Metro araçlarının tekerlek tornası işlemleri Esenler Merkez Atölye de yapılmaktadır. Esenler atölyesinde raylı sistem araçları dışında 42 adet atölye ekipmanının ve yılda bir defa olmak üzere Taşkışla - Maçka teleferiğinin düzenli olarak bakımları yapılarak arızaları giderilmektedir. 1 yıl içerisinde 105 araçta oluşan yaklaşık 2000 arıza giderilmekte ve seferlerin aksamadan yürümesi için araçların işletmeye alınması sağlanmaktadır.

5.2.2. Metro

Taksim Metrosu araçlarına ayda bir olmak üzere 84 adet 10.000 km bakımı, 6 ayda bir olmak üzere 10 adet 60.000 km bakımı ve yaklaşık her araç için yılda bir kez olmak üzere 8 dizinin ağır bakım işlemi yapılmaktadır. Taksim Metrosunda araç dizileri 4 vagon dan oluşmaktadır.

Bahsedilen periyodik bakımların dışında yıl içerisinde toplam 32 araçta oluşan yaklaşık 400 arızanın tespiti ve giderilmesi ile 4 Levent'te bulunan bakım atölyesinde ekipmanların bakımlarını yapmak ve meydana gelen arızaları gidermek Atölye müdürlüğü ve müdürlüğe bağlı ekipler tarafından gerçekleştirilmektedir.

5.2.3. Tramvay

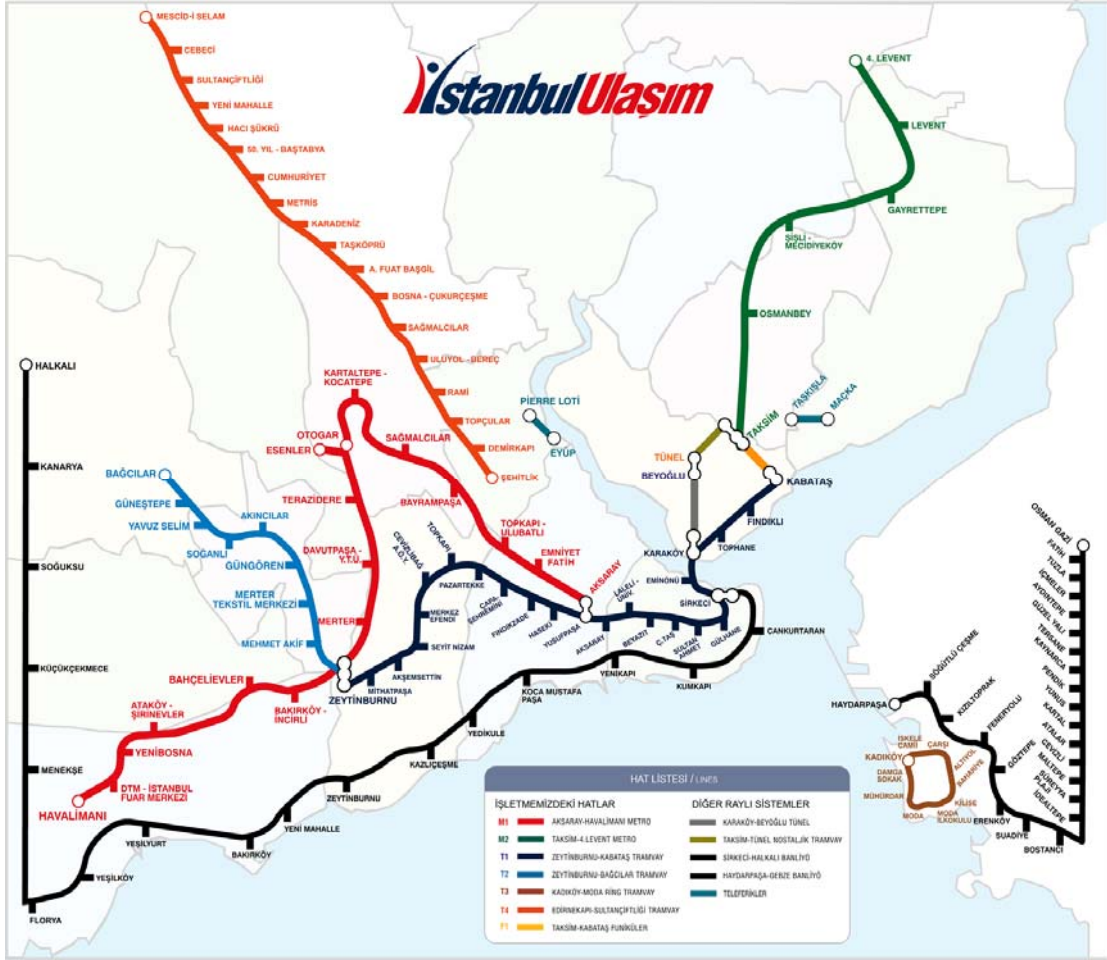
Zeytinburnu- Kabataş Tramvay hattında hizmet veren 55 adet Düşük Tabanlı Tramvay Aracının bakım ve onarım işlemleri Topkapı - Pazartekke'de bulunan bakım atölyesinde gerçekleştirilmektedir. Topkapı bakım atölyesinde araçlara yaklaşık 3 ayda bir olmak üzere yıl içerisinde ortalama 108 adet 20.000 km bakımı, yaklaşık her 6 ayda bir 54 adet 40.000 km bakımı ve yaklaşık yılda bir kez her dizi için 80.000 km bakımı yapılmaktadır.

Tramvay araçlarımız Avrupa'da bulunan emsallerinin aksine yoğun trafik akışı ve yüksek yolcu sayısı ile hizmet vermelerine rağmen, Ulaşım A.Ş. bakım prosedürlerinin ve bakım hizmeti kalitesinin yüksekliği, personel konusunda uzman ve yetişmiş olması gibi artı etkenler ile sorunsuz ve öngörülebilir arızalar dışında arıza oluşmadan hizmete devam etmektedirler. Topkapı tramvay bakım atölyesinde araçlar haricinde ekipman bakımları yapılarak arıza giderme işlemleri de gerçekleştirilmektedir.

5.3. Ulaşım A.Ş. Araç Güzergahları

İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul'daki metro, hafif metro, cadde tramvayı, finüküler sistem ve teleferiklerin işletmecisi durumundadır. İstanbul Esenler'deki yönetim merkezinden koordine ettiği 800'ün üzerindeki personeli ile her gün yaklaşık 600.000 İstanbulluya hizmet vermektedir. İşletmeciliğini yaptığı raylı sistem hatlarının uzunluğu 47 km olan Ulaşım A.Ş. 2005 yılında yaklaşık 175 milyon yolcuya hizmet götürmüştür.

Gerek istasyon ve ulaşım hizmetlerinde, gerekse bakım-onarım çalışmalarında üst düzey bir hizmet anlayışı ile hareket eden Ulaşım A.Ş., yolcularının ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda hızlı, hesaplı, konforlu ve güvenli ulaşım hizmeti sağlamayı, yaşamı kolaylaştırmayı temel görevi saymaktadır. Kaliteyi sürekli geliştirmeyi ve işleri ilk defada doğru yapmayı her çalışanın temel sorumluluğu olarak kabul eder. Ulaşım A.Ş.'nin işletmeciliğini üstlendiği hatların başında İstanbul Metrosu gelmektedir. Taksim- 4. Levent arasında hizmet veren metronun hat uzunluğu 8 kilometredir. 6 istasyonda, 32 araçla hizmet veren metro, günde 170.000 yolcuya hizmet vermektedir. Ulaşım A.Ş.'nin işletme hizmeti verdiği bir diğer hat, Aksaray- Otogar- Havalimanı hafif metrosudur. Günde 220.000 yolcu taşıyan hafif metro, Aksaray- Havalimanı arasındaki 18 istasyonu 31 dakikada kat ederek kent içi ulaşımın yoğunluğunu ciddi oranda azaltmaktadır.



Şekil 5.1. Ulaşım A.Ş. filousunun güzergahı

Diğer bir hat ise Kabataş- Zeytinburnu arası cadde tramvayıdır. Toplam uzunluğu 13 kilometreyi bulan ve günde 200.000 yolcuya hizmet veren bu hat, özellikle tarihi yarımadada hızlı ve konforlu ulaşım imkanı sağlamaktadır. 2006 yılı yaz sonunda hizmete açılan Zeytinburnu-Bağcılar uzatması ile birlikte Bağcılara' a kadar uzayan tramvay hattı, Zeytinburnu ve Aksaray istasyonlarında hafif metro ile entegre durumdadır. Tramvay hattı, 2006 yılı Haziran ayında hizmete açılan Kabataş-Taksim funüküler hattı ile de İstanbul metrosuna bağlanmıştır ve böylelikle kent içi raylı sistemler “tam entegrasyon” durumuna geçmiştir.

Ulaşım A.Ş.'nin işletmeciliğini yaptığı diğer sistemler arasında Kadıköy- Moda nostaljik tramvayı, Maçka- Taşkılla teleferiği ve Eyüp- Piyer Loti teleferiği vardır. Marmaray, Taksim- Yenikapı metrosu, Aksaray- Yenikapı hafif metro hattı,

Vezneciler- Sultançiftliği cadde tramvayı ve Kartal- Kadıköy hafif metrosu gibi yapımı hızla devam eden metro ve raylı sistem projelerinin de hayata geçmesi ile Ulaşım A.Ş.'nin hizmet alanı ve hizmet verdiği yolcu sayısı büyük oranlarla artacaktır.

5.3.1. Kabataş - Zeytinburnu hattında çalışan tramvay araçları

İstanbul'da ki mevcut Tramvay, Metro ve Hafif metro hatlarının işletmeciliğini yapan Ulaşım A.Ş. tarafından, İstanbul'da ki mevcut tramvay hattı ve inşaa edilecek olan yeni tramvay hatlarında kullanılmak üzere satın alınan 55 yeni tramvay aracı 30 Mayıs 2004 tarihinde Kabataş - Zeytinburnu tramvay hattında hizmete girmiştir. Hazine garantisi olmaksızın sadece İstanbul Büyükşehir Belediyesi garantörlüğü altında temin edilen dış kredi anlaşması ile Bombardier firmasından satın alınan yeni tramvay araçlarının ilki sözleşme tarihinden 18 ay sonra Aralık 2002'de teslim alınmıştır. Daha sonra her ay 4 araç teslim alınmış ve satın alınan 55 aracın sonuncusu Ocak 2004'de İstanbul'a getirilmiştir. Tanesi 1.55 milyon Euro'ya mal olan yeni tramvay araçları, daha önce kullanılan tramvay araçlarına göre yüzde 10 daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip, klimalı ve düşük tabanlı olarak imal edilmiştir. Araçların düşük tabanlı olmasının bir avantajı da engellilerin sıkıntı çekmeden bu araçları kullanabilecek olmasıdır. Geniş camları sayesinde aydınlık iç mekana sahip olan yeni tramvay araçlarının gövdesi paslanmaz sac ve alüminyumdan imal edilmiştir. 30 metre boyunda ve 272 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir.

HAT UZUNLUĞU : 14 Km

İSTASYON SAYISI : 24

ARAÇ SAYISI : 55

SEFER SÜRESİ : 42.5 dakika

İŞLETME SAATLERİ : 06:00 / 00:00

GÜNLÜK YOLCU SAYISI : 195.000 yolcu / gün

GÜNLÜK SEFER SAYISI : 385

SEFER SIKLIĞI : Pik saatte 5 dakika

5.4. Ulaşım A.Ş.'de Filo Yapısı ve Bakımlar

Ulaşım A.Ş. Atölye Müdürlüğü, raylı sistemlerde hizmet vermekte olan araçlarının tamamının bakım onarım işlemleri ile her türlü arızalarının giderilmesi için bir müdürlük ve beş şeflik; 13 mühendis ve 85 tane ustabaşı ve usta ile 24 saat bakım onarım hizmetleri devam etmektedir.

Ulaşım A.Ş. araçlarına bakım yapılan Esenler, Topkapı ve 4.Levent olmak üzere 3 adet atölye vardır. Bu atölyelerde 105 adet Hafif Metro, 32 adet Metro ve 55 adet Tramvay aracının bakımları yapılarak her türlü arızaları giderilmektedir. Atölye bakım ekipleri raylı sistem araçları dışında teleferik sisteminin arıza ve bakımını da yapmaktadır.



Şekil 5.2. Esenler bakım atölyesinin görünümü.

Atölyelerimizde tüm araçlarımızın mekanik, elektromekanik, elektrik ve elektronik bakımlarının yapılmasına olanak sağlayacak ekipman ve alan ile tüm araçların kaporta ve boya işlemleri ile döşeme kaplamalarına kadar tüm işlemleri Ulaşım A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilebilmektedir.

Zeytinburnu- Kabataş Tramvay hattında hizmet veren 55 adet Düşük tabanlı tramvay aracının bakım ve onarım işlemleri Topkapı- Pazartekke'de bulunan bakım atölyesinde gerçekleştirilmektedir. Bu araçlar ayda ortalama 4000– 5000 km yol kat etmektedirler. Topkapı bakım atölyesinde araçlara yaklaşık 3 ayda bir olmak üzere yıl içerisinde ortalama 108 adet 20.000 km bakımı, yaklaşık her 6 ayda bir 54 adet 40.000 km bakımı ve yaklaşık yılda bir kez her dizi için 80.000 km bakımı yapılmaktadır.

Bu çalışmamızda Zeytinburnu– Kabataş Tramvay hattını inceleyeceğimiz için, bu hatta hizmet veren 55 adet düşük tabanlı tramvay aracının bakım işlemlerini detaylı olarak inceledik.

5.4.1. Düşük tabanlı tramvay aracına ilişkin bilgiler

Topkapı- Pazartekke'de bulunan atölyede Bombardier marka tramvayların bakımı yapılmaktadır. Bu tip araçlardan 55 tane mevcuttur. Kalite politikasına göre araç filosunun % 10'luk kısmı, yaklaşık 6 araç servis dışı tutulması gerekmektedir, ancak yolcu yoğunluğu nedeniyle işletme bunu 3 araçla sınırlı tutmaktadır. Yani 3 araç servis dışı tutulmakta, 52 araç ise pik saatleri süresince devamlı çalışmaktadırlar. 2 araç bir dizi oluşturacak şekilde, araçlar diziler halinde çalışmaktadır. Yani sistemde 26 dizi çalışmaktadır. Servis dışı bırakılan araçlar arıza ve uygun görülen durumlarda sistemde çalışmakta olan araçlarla yer değiştirmektedir. Böylelikle ağır kazalar sonucunda çalışamayacak hale gelen araçların tamiri sırasında hattın boş kalması engellenmektedir. Hem bu suretle bakım ekibinin her zaman araçlarla ilgilenmesi, verimliliklerinin artırılması sağlanmaktadır.

5.4.1.1. Tramvay aracına yapılan bakımlar

Araçların bakımı yukarıda da anlatıldığı gibi km bazlı olarak yapılmaktadır. 20.000 km'yi dolduran araçlar bakıma alınmaktadır.



Şekil 5. 3. Atölyeden bir görünüm.

Ana bakımlar 20.000 km'nin katları şeklinde planlanmaktadır. 20.000 km bakımı (B2), 40.000 km bakımı (B4), 80.000 km bakımı (B8) ve 160.000 km bakımı (B16) şeklindedir.

Tablo 5.1. 20000 km'lik Bakım için mekanik bakım listesi

MEVCUT ARIZALAR	ARAÇ NO	BAKIM TARİHİ	ARAÇ KM
BAKIM YAPILACAK ÜNİTE	SİCİL NO	BAKIM YAPILACAK ÜNİTE	SİCİL NO
SÜRÜCÜ KABİN KLİMASI (A)/(B)		YAĞLAMA ÇUBUKLARI (Bodenden 2mm)	
Filtrelere Hava Tutulması		MOTORLU BOJİ (A)/(B) Genel	
Eveparatör fanı rulman kontrolü		birincil süspansiyon	
Evep. Ve kond. Peteklerine hava		ikincil süspansiyon	
YOLCU KABİN KLİMASI (A)/(B)		cer kolu	
Evep. Ve kond. Peteklerine hava		koruma tahtası	
Eveparatör fanı rulman kontrolü		TAŞIYICI BOJİ Genel	
Filtrelere Hava Tutulması		birincil süspansiyon	
KUPLAJ (A)/(B) Genel		ikincil süspansiyon	
Kuplaj kafası		ARAÇ GÖVDESİ	
yay kontrolü		Dış metal kaplama	
kelepçe		dış işaretler	
MOTOR KAPLİNİ (A-1)		yolcu camları	
MOTOR KAPLİNİ (A-2)		çatı etiketleri	
MOTOR KAPLİNİ (B-1)		dış ekipmanlar	
MOTOR KAPLİNİ (B-2)		infrared sensörü	
FREN MEKANİZMASI(A)/(B)		YOLCU BÖLÜMÜ	
Ana Hidrolik Ünite		Barlar / Tutamaklar	
Yardımcı Hidrolik Ünite		Yolcu koltukları	
Fren Diski (Çatlaklar min.10mm uzakta)		MAKİNİST KABİNİ	
FREN MEKANİZMASI(C)		Makinist koltukları	
Hidrolik Ünite		makinist kabin camları	
Diafram Akümülatörü		güneşlikler fonksiyon kontrolü	
Yardımcı Hidrolik Ünite		yangın tüpü	
TEKERLER		KÖRÜK BÖLGESİ (Üst Temizlik)	
RAY FRENİ Genel		YOLCU KAPILARI(Dış aralığı 0,5mm)	
Çapakların Temizlenmesi		SL-Clipslerinin Kontrolü	
Sürtünme Levhaları		sıkışma kontrolü	
Ray Fren Ayarı		KUMLAMA	
Yağlama			
Sürtünme Levha Kalınlığı	mm	Kontroller	Araç Servisi
A Boji Sağ Sürtünme Levha Kalınlığı		Ekip Başı	
A Boji Sol Sürtünme Levha Kalınlığı		Kontrol Mühendisi	
B Boji Sağ Sürtünme Levha Kalınlığı			
B Boji Sol Sürtünme Levha Kalınlığı			

- 40.000 km'lik ve 80.000 km'lik Mekanik Bakım Formları Ek-A'da gösterilmiştir

Bu bakım programlarının içeriği kilometre artışıyla artmaktadır. Bu ana bakım programları dışında ara bakım programları da mevcuttur. 20.000 km yol yapan araç bakıma alınmaktadır. 100.000 km yol yapan araç 20.000 km'lik ara bakım programına, 120.000 km yol yapan araç ise 40.000 km'lik ara bakım programına alınır.

Araçlar pik saatleri esnasında çok büyük arızalı değillerse servise devam ederler. Pik saatleri sabah 7:00- 10:00 ve akşam 17:00- 20:00 saatleri arasındadır. Bu pik saatleri boyunca 26 dizi çalışmaktadır. Sabah pik saati bitiminde 2 dizi araç sistemden çekilir. Bu araçlar genellikle akşam arıza bildirisi yapılmış olan araçlardır. Araçlar dizi halinde bakım atölyesine alınır. Atölyede 2 adet bakım yolu mevcuttur. Gündüzleri sadece arıza bakımı yapılmaktadır. Periyodik veya ana bakımları gelen araçların bu bakımları gece vardiyasında yapılmaktadır. Gece vardiyasına alınan bakımçıların verimli şekilde çalışması için periyodik bakımı yapılacak 10 aracın belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Ulaşım Bilgi Sisteminden (UBS) yararlanılmaktadır.

Tablo 5.2. Tramvay araçları haftalık bakım listesi

TRAMVAY ARAÇLARI HAFTALIK BAKIM LİSTESİ				Tarih: 5. Hafta
GÜN	TARİH	DİZİ NO	HAT	BAKIM TÜRÜ
Çarşamba Gecesi	28-29.01.2009	732-742	Tramvay	B16 BAKIMI (160 000 KM)
Perşembe Gecesi	29-30.01.2009	703-725	Tramvay	B2 BAKIMI (20 000 KM)
Cuma Gecesi	30-31.01.2009	718-739	Tramvay	B2 BAKIMI (20 000 KM)
Cumartesi Gecesi	31.01-01.02.2009	745-712	Tramvay	B4 BAKIMI (40 000 KM)
Pazar Gecesi	01-02.02.2009	733-754	Tramvay	B2 BAKIMI (20 000 KM)

5.4.1.2. Ulaşım Bilgi Sistemi (UBS)

UBS sisteminde hangi aracın kaç km de olduğu görülmektedir. Bu araç km'leri İşletme tarafından elle işlenmektedir. Bakımcı bu sistemde km'sini dolduran araçları görmektedir. Ancak araçlar dizi halinde bakıma alınmaktadır ve sistemde diziler görülememektedir. Oluşan arızalar ve servis dışı kalmalar nedeniyle bir dizideki araçların km'leri de farklı olabilmektedir. Aynı zamanda 10 araç aynı anda aynı km'de olmayabiliyor. Bakımcı hafta boyunca bakımı yapılacak araçları 10 adete yükseltmek için km'si yaklaşan araçları da bakıma alabilmektedir. Kilometreleri farklı olan araçların dizilerini bozarak aynı km'deki araçlardan dizi oluşturabilmektedir, ancak bu işletmeye artı bir maliyet yükü getirmekte ve istenmemektedir. 706 araç numarasıdır, 7 aracın ait olduğu filoyu, sonraki rakamlar filodaki sıra numarasını göstermektedir.

Örneğin:

1. dizi = 706 (20.000 km) + 712 (120.000 km),
2. dizi = 743 (20.000 km) + 711 (140.000 km),
3. dizi = 736 (20.000 km) + 709 (119.000 km),

olsun. Bu 3 dizideki araçlardan 706, 743, 736, 712, 711 araçları bakıma alınmak zorundadır. 20.000 km'lerini doldurmuşlardır. Bakımcı bunları sistemde görebilmektedir, ancak hangi aracın hangisiyle dizi halinde olduğunu görememektedir. Bakımcılar bu takibi kendileri yapmaktadır. Diziler bakım atölyesinde bir tahtada devamlı yazılı olarak bulunmaktadır, bir değişiklik yapıldığından tahtadaki dizilerde değiştirilmektedir. Bakımcı akşam bakıma alınacak araçları seçerken araçların km'lerine ve dizi oluşturdukları araçların km'lerine göre karar vermektedir. Mesela yukarıdaki dizilerdeki araçların bakım zamanı gelmiştir. Sistem bunları numaralarına göre dizmektedir. Bu sebeple 706, 709, 711, 712, 736, 743 olarak görülmektedir. Bakımcı bu sırayla araçları alabilir, ancak hangi aracın hangi araçla dizi olduğuna baktığımızda bu mümkün olmamaktadır. Bu sebeple 20.000 km'lik bakımları gelmiş olan 706, 743 ve 736 numaralı araçların dizi oluşturdukları araçların km'lerine bakarak 711 numaralı aracın önceliği olmasına rağmen 1. ve 3. dizileri seçer. Bakıma aldığı bu dizileri bozup km'leri yakın olanları

birbirleriyle dizi haline getirebilmektedir, ancak bu durumda 711, 743 no'lu araçların bakımı gecikmektedir. Sistem bakımıcının tercihine göre çalıştığı için bazı aksaklıklar ve gecikmeler olması kaçınılmazdır.

UBS sisteminde bakımçı araçların km'leri dışında araçların arızalarını ve arızanın düzeltilmesi için yapılanları da görmektedir. Arızalar, makinistler tarafından işletmeye bildirilir. İşletmedeki görevli bu bildiriye sisteme işler. Bakımcı bu bilgiyi sistemden görür, aracın pik saatinden sonra bakımı yapılmak üzere atölyeye çekilmesi için işletmedeki görevliye mail atar. Görevli bunu makiniste bildirir ve araç sabah pik saatinden sonra atölyeye alınır. Eğer araç akşamki pik saatinde bozulmuşsa, ertesi günkü sabah pik saatinde servisini yapar ve bu pik saatinden sonra atölyeye alınır. Akşam vardiyasında arıza giderilmemektedir. Gündüz vardiyasında da periyodik bakım yapılmamaktadır. Gündüz vardiyasında pik saatleri arasında 10:00 - 17:00 arasında arıza bakım yapılmaktadır.

Sabahki pik saatinden sonra işletme sefer bazlı olarak 2 dizi aracı dinlenmeye çekmektedir. Bu araçlar genellikle arızası olan araçlardır. Bu sebeple hangi aracın hangi gün dinlendirileceği belli değildir. Bu da araçların km'lerinde farklılıklar olmasına neden olmaktadır, bu sebeple hangi aracın km'sini erken dolduracağı tahmin edilememektedir. Bu belirsizlikler işletmenin çizelgeleme oluşturmasına engel olmaktadır.

Arıza Döngüsü:

- 1 - Araçta oluşan arıza makinist tarafından işletmeye bildirilir.
- 2 - İşletmedeki görevli bu oluşan arızayı UBS sistemine girer.
- 3 - Bakımcı oluşan arızayı UBS sisteminden görür.
- 4 - Bakımcı, arızalı araçları öncelik sırasına dizer.
- 5- Bakımcı sıralamış olduğu arızalı araçları atölyeye almak için İşletmedeki görevliye istediği araçların listesini mail ile gönderir.

- 6- İşletmedeki görevli, arızalı araçları bakımcıdan aldığı sıralamaya göre makinistleri bilgilendirir.
- 7- Makinistler kendilerine bildirilen sıra ile arızalı araçları atölyeye götürür.
- 8- Arızalı araçlar atölyede onarılır.
- 9- Arızayı gidermek için yapılan faaliyetler ve kullanılan parçalar bakımcı tarafından UBS sistemine girilir.
- 10- Onarılan araçlar daha sonra tekrar filoya katılır.

Ana Bakım Döngüsü:

- 1- Araçların km'leri filodan İşletmedeki görevliye bildirilir. Bu otomatik bir sistem tarafından yapılmaktadır.
- 2- İşletmedeki görevli bu km'leri UBS sistemine girer.
- 3- Bakımcı araçların km'lerini UBS sisteminden görür.
- 4- Bakım zamanı gelen araçlar UBS sisteminde görülebilmektedir.
- 5- Bakımcı, bakım zamanı gelen araçlar arasında bir sıralama yapar. 10 adetlik bir araç listesi yapar.
- 6- Bakımcı oluşturduğu araç listesini İşletmedeki görevliye mail ile bildirir.
- 7- İşletmedeki görevli aldığı listeye göre filodaki makinistleri bilgilendirir.
- 8- Makinistler kendilerine bildirilen zamanda aracı atölyeye getirirler.
- 9- Atölyede aracın km'sine göre gerekli olan ana bakım programı uygulanır.
- 10- Ana bakım programında uygulanan faaliyetler ve kullanılan ekipmanlar UBS sistemine bakımcı tarafından girilir.
- 11- Ana bakımı yapılan araçlar tekrar filoya geri dönerler. [18]

BÖLÜM 6. UYGULAMA

6.1. Tramvay Filo Bakımı

Bu çalışmamızda Dünyanın 4., Avrupanın 1. Büyükşehir İstanbul'un ulaşımında büyük paya sahip raylı toplu taşıma sisteminin bakım politikası ele alınmıştır. Periyodik bakımların zamanında aksamadan yapılması, haftalık bakımı yapılacak olan 10 aracın vaktinde bakımının yapılması hedeflenmiştir. Bakım hedefine ulaşırken de bakım atölyesinden ve bakım ekipmanlarından en verimli şekilde yararlanmak amaçlanmıştır.

Günümüzde modern şehirlerde ulaşım problemleri için tercih edilen en iyi çözüm raylı toplu taşıma sistemleridir. İstanbul'un, en önemli gereksinimi olan "kent içi toplu ulaşım" konusunda geliştirdiği çözümler, bundan yaklaşık 150 sene önce, Dersaadet Tramvay Şirketi'nin şehre sağladığı raylı sistemlerle başlamış. 1869 yılında hizmete giren atlı tramvaylar, 1912'ye kadar İstanbul halkına hizmet vermiş. Bu tarihten sonra elektrikli sistemlere geçilmiş ve 1966 yılına kadar kent içi toplu ulaşım ağırlıklı olarak elektrikli tramvaylarla sağlanmıştır. 1960'lı yılların başından itibaren hızla göç alan ve büyüyen İstanbul'da toplu taşımacılık akaryakıtlı ve lastikli araçlara bırakılmıştır. Ancak, karayolu taşımacılığının büyüyen ve kalabalıklaşan şehre yetmemeye başlaması ile birlikte en işlevsel çözüm olarak yeniden "raylı sistemlere dönüş" programları yapılmaya başlamıştır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İ.B.B.) raylı sistemlerin yapımına 1985 yılında tekrar başlamıştır. İstanbul Ulaşım A.Ş. yapımı tamamlanan raylı sistem hatlarının işletmeciliğini ve bakım onarımlarını üstlenmek üzere 1988 yılında kurulmuştur. İstanbul Büyükşehir Belediyesine bağlı bir şirket olarak kurulan Ulaşım A.Ş., 21. hizmet yılını geride bırakmaktadır. İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul'da ki metro, hafif metro, cadde tramvayı, finüküler sistem ve teleferiklerin işletmecisi durumundadır.

İstanbul Esenler'deki yönetim merkezinden koordine ettiği 1000' in üzerindeki personeli ile her gün yaklaşık 800.000 İstanbulluya hizmet vermektedir. İşletmeciliğini yaptığı raylı sistem hatlarının uzunluğu 47 km olan Ulaşım A.Ş. 2008 yılında yaklaşık 200 milyon yolcuya hizmet götürmüştür. Böyle bir nüfus potansiyele sahip olan İstanbul için hükümet ve yerel yönetim büyük yatırımlar yapmaktadır. Raylı toplu taşıma sistemine fiziksel altyapısı uygun olan bölgelere metro, hafif metro ve tramvay hatları ile kurularak şehrin ulaşım ağı genişletilmektedir. Raylı toplu taşıma ağı genişledikçe araç sayısı artacak buna paralel olarak da araçların bakım yoğunluğu da artacaktır. Raylı ulaşım sisteminin aksamadan, verimli şekilde çalışması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması için bakım faaliyetleri önem kazanmıştır. Araçların düzgün çalışması, düzenli aralıklarla yapılacak programlı bakım işlemleri ile sağlanabilir. Böylece meydana gelebilecek muhtemel ekipman arızaları önceden tespit edilerek bu arızaların araçlara ve Ulaşım A.Ş.'ye vereceği zararlar önlenir.

6.2. Amaç

Bir önceki bölümde raylı taşıma ve tramvay filoları için gerçek bakım politikasını anlatılmıştır. Uygulama kısmında da mevcut sistemimizde bazı kabuller yaparak bakım benzetim modeli oluşturularak alternatif bakım senaryolarını deneyerek, her bir senaryoyu karşılaştırarak en iyi bakım politikasının bulunması amaçlanmıştır. En iyi bakım politikası bulunurken de; istasyonlarda bakımın minimum zamanda yapılması, haftalık 10 araca gerek kalmadıkça ek mesai kullanmadan bakım hizmeti vermek, bakım atölyesinin kapasitesini en iyi şekilde kullanmak ve bakım ekipmanlarının atıl zamanını en aza indirmek amaçlanmıştır.

6.3. Kabuller

1. Ulaşım A.Ş, tramvayların düzgün çalışması, düzenli aralıklarla yapılacak muayene ve önleyici bakım işlemleri ile sağlanır. Böylece, meydana gelebilecek muhtemel ekipman arızaları önceden tespit edilerek bu arızaların tramvaylara ve kuruma vereceği zararlar önlenmiş olur. Gerekli kabulleri yaparak dört adet bakım

tipi belirlenecek ve bunlar kilometrelere göre bakım istasyonumuza çağırılacak. Kilometreleri 20.000 km, 40.000 km, 80.000 km, 160.000 km ve katsayılarına denk gelen tramvaylar bakıma alınacak. Bir önceki bölümde de belirttiğimiz gibi 20.000 km'lik bakım en az süren bakımdır ve atölyede 20.000 km'lik bakıma genel olarak B2 adı verilmiştir. 40.000 km'lik bakım, hem 20.000 km'lik bakım işlemlerini hem de tramvayın başka parçalarının ve aksamlarının bakımını kapsar bundan dolayı da 20.000 km'lik bakımdan biraz daha uzun sürmektedir. 40.000 km'lik bakıma da B4 ismi verilmiştir. 80.000 km'lik bakım, hem 40.000 km'lik bakım işlemlerini hem de tramvayın başka parçalarının bakımını kapsar ve bundan dolayı da 40.000 km'lik ve 20.000 km'lik bakımlardan uzun sürmektedir. 80.000 km'lik bakıma ise B8 ismi verilmiştir. En son bakımımız olan ve tramvayın genel olarak bütün aksamlarına bakıldığı 160.000 km'lik bakım, hem 80.000 km'lik bakımı hem de tramvayın genel incelenmesini kapsar. Atölyede ki en ağır bakım olan 160.000 km'lik bakıma ise B16 ismi verilmiştir.

Bakımları tanımlayacak olursak;

- B2 : 20.000 km Emniyet Kontrolü
- B4 : B2 + 40.000 km Emniyet Kontrolü
- B8 : B4 + 80.000 km Emniyet Kontrolü
- B16 : B8 + 160.000 km Emniyet Kontrolü

Tablo 6.1. Kilometreler ve yapılacak bakımlar

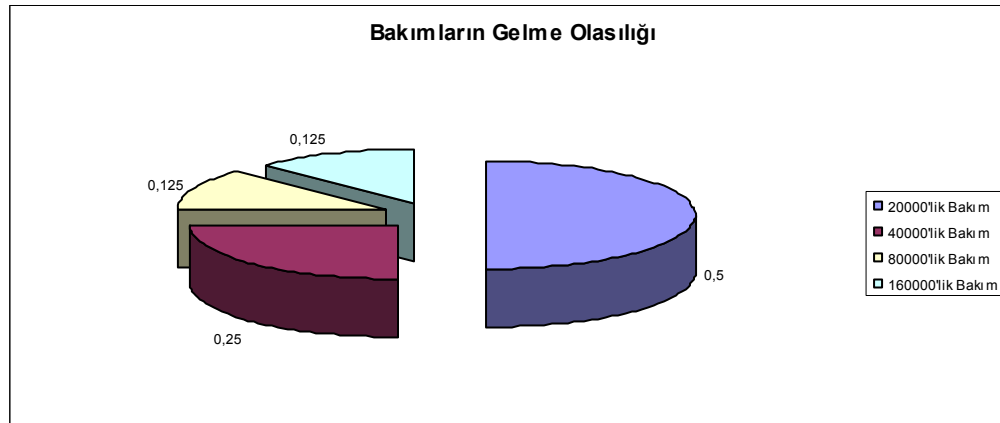
KİLOMETRELER	YAPILACAK BAKIM	BAKIM KODU
20.000	20.000 km'lik bakım	B2
40.000	40.000 km'lik bakım	B4
60.000	20.000 km'lik bakım	B2
80.000	80.000 km'lik bakım	B8
100.000	20.000 km'lik bakım	B2
120.000	40.000 km'lik bakım	B4
140.000	20.000 km'lik bakım	B2
160.000	160.000 km'lik bakım	B16

2. Tablo 6.1'den de anlayabileceğimiz gibi 20000 km'deki B2 bakımı 8 bakım olayının 4 ünde gerçekleşiyor, 40000 km'deki B4 bakımı ise 8 olaydan 2 defa denk geliyor ve 1 tane 80000 km'lik B8 bakımı ve en son 1 tane 160000 km'lik B16 bakımı denk geliyor.

Tablo 6.2. Bakım aralıklarının belirlenmesi

BAKIM TÜRLERİ	GELME OLASILIĞI	FREKANS	KÜMÜLATİF
B2	4/8	0,5	0 – 0,499
B4	2/8	0,25	0,5- 0,749
B8	1/8	0,125	0,75- 0,874
B16	1/8	0,125	0,875- 1

Problemimizi modellerken de bakımların gelme olasılığını ve frekansını, Tramvay bakım optimizasyon programı monte carlo simülasyon modelinden yararlanarak yapacağımızdan dolayı 10 adet tramvay filosunun her birine programımız 0 ile 1 arası sayı atayacak ve Tablo 6.2.'de belirtildiği aralıklarda hangi bakıma denk geliyorsa o bakım tramvay ile eşleşecektir.



Şekil 6.1. Bakımların gelme olasılığı

Bu şekilde Tramvay bakım optimizasyon modeli her çalışışında 10 araç için bakım türünü atayacak ve o bakım türünün, bakım sürelerine göre programımızı çalıştırarak

filomuzun toplam bakım süresini, her bir ekibin istasyonlarda çalışma süresini ve istasyonların boş bekleme sürelerini hesaplayacaktır.

Tablo 6.3. Örnek rassal sayı atanması.

Tramvay No	Rassal Sayı	Bakım Türü	Bakım Süresi
1.tramvay	0.321	20000 km'lik (B2)	8 saat
2.tramvay	0.412	20000 km'lik (B2)	8 saat
3.tramvay	0.028	20000 km'lik (B2)	8 saat
4.tramvay	0.817	80000 km'lik (B8)	20 saat
5.tramvay	0.111	20000 km'lik (B2)	8 saat
6.tramvay	0.449	20000 km'lik (B2)	8 saat
7.tramvay	0.564	40000 km'lik (B4)	12 saat
8.tramvay	0.987	160000 km'lik (B16)	30 saat
9.tramvay	0.688	40000 km'lik (B4)	12 saat
10.tramvay	0.264	20000 km'lik (B2)	8 saat

3. Bakım istasyonu sayımız ikidir ve her hafta 10 araca bakılacaktır
4. Araç bakım kesinlikle geciktirilmeyecek.
5. Her bakım tipinde 3 adet bakım ekibi olacak, bu bakım ekiplerimiz şöyle adlandırılacak; Ağır mekanik bakım, Mekanik bakım ve elektrik bakımı.

Tablo 6.4. Bakım ekiplerinin süre dağılımı.

	Ağır mekanik	Mekanik	Elektrik
20,000 km'lik Bakım (B2)	3 saat	3 saat	2 saat
40,000 km'lik Bakım (B4)	5 saat	5 saat	2 saat
80,000 km'lik Bakım (B8)	8 saat	8 saat	4 saat
160.000 km'lik Bakım (B16)	12 saat	12 saat	6 saat

6. B2 bakımı 8 saat, B4 bakımı 12 saat, B8 bakımı 20 saat ve en son B16 bakımında 30 saat sürmektedir.

7. Bir bakım istasyonunda en fazla bir ekip çalışabilir. Örnek olarak 1. bakım istasyonunda ağır mekanik bakım sürerken aynı istasyonda mekanik ve elektrik bakım yapılamaz. Mekanik ve elektrik bakımdan herhangi birisi 2. bakım istasyonunda çalışabilir.

8. Bakım istasyonu boş ise, boş olan ekiplerin herhangi biri buraya atanabilir ama boşta olan ekip sayısı birden fazla ise; önceliğimiz Ağır mekanik bakım, mekanik bakım ve elektrik bakım olacak.

9. Haftalık çalışma saati 45 saattir. Toplam bakım süreleri 45 saati aşarsa ek mesai yapılabilecek.

10. Programımızın performansını ölçerken toplam bakım saatine ve istasyonların boş bekleme saatlerine bakacağız.

11. 10 adet tramvay, senaryolar gereği bakım merkezinin istediği sıralarda bakım istasyonlarımıza alınabilir.

12. Bir hafta önceden hangi tramvayların hangi sırada bakım istasyonuna çağrılacağı belirlenecek.

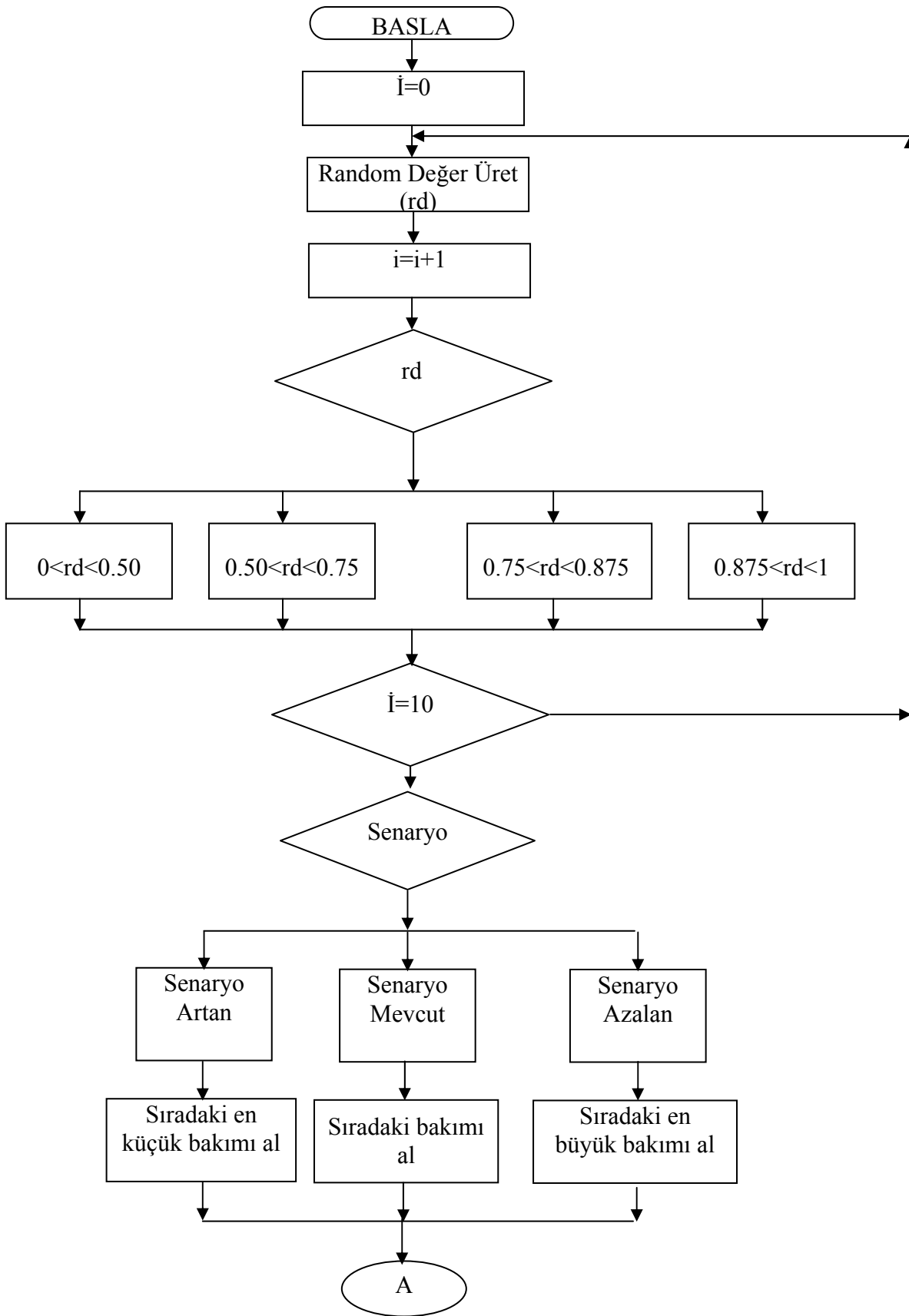
13. Mevcut senaryomuzda araçlar yaklaşan bakımlarına göre istasyonlara yönlendiriliyor. Geliştirdiğimiz senaryolarda ise rassal sayılar ile kilometrelere bakılmaksızın tramvay bakım optimizasyon modeli 10 aracın bakım türlerini belirleyecektir.

14. Araçlar bakım istasyonlarına girmeden önce artan ve azalan senaryolara bakılarak sıralanacak ve bu şekilde bakım istasyonları yoluna sokulacaktır. Araçların bu esnada yer değiştirmelerinin şirkete herhangi bir kaybı söz konusu değildir.

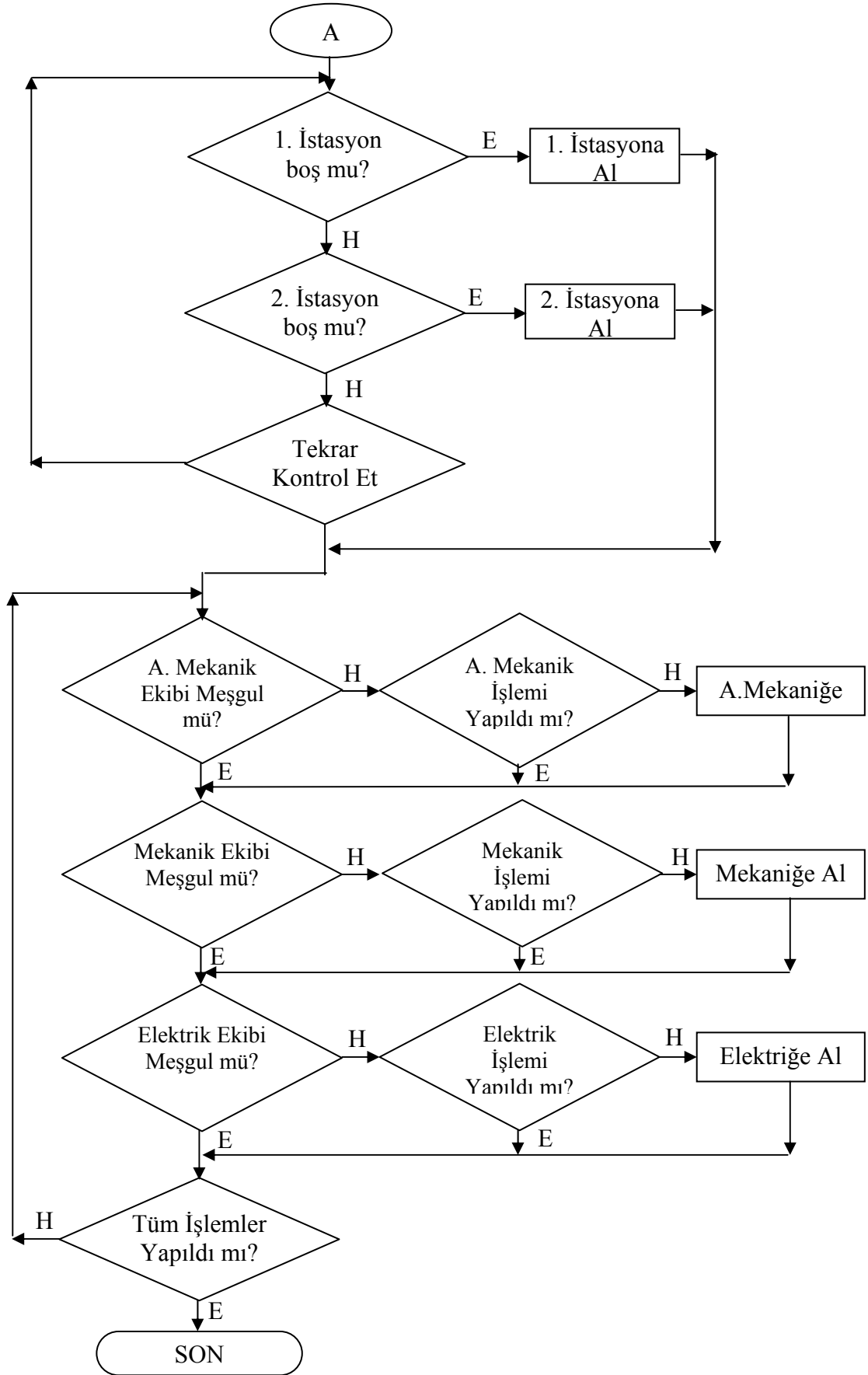
15. İki adet bakım istasyonu bulunduğundan, her senaryo için toplam bakım süresini hesaplanırken hangi istasyonda bakım işlemi en son bittiyse bu işlem senaryomuzun toplam bakım süresini verecektir. Senaryoya göre toplam boş bekleme süresini hesaplarken ise her iki istasyonunda boş bekleme süreleri hesaplanacak ve bu değer senaryonun toplam boş bekleme süresi olacaktır.

6.4. Tramvay Bakım Optimizasyon Projesi (TRBOP)

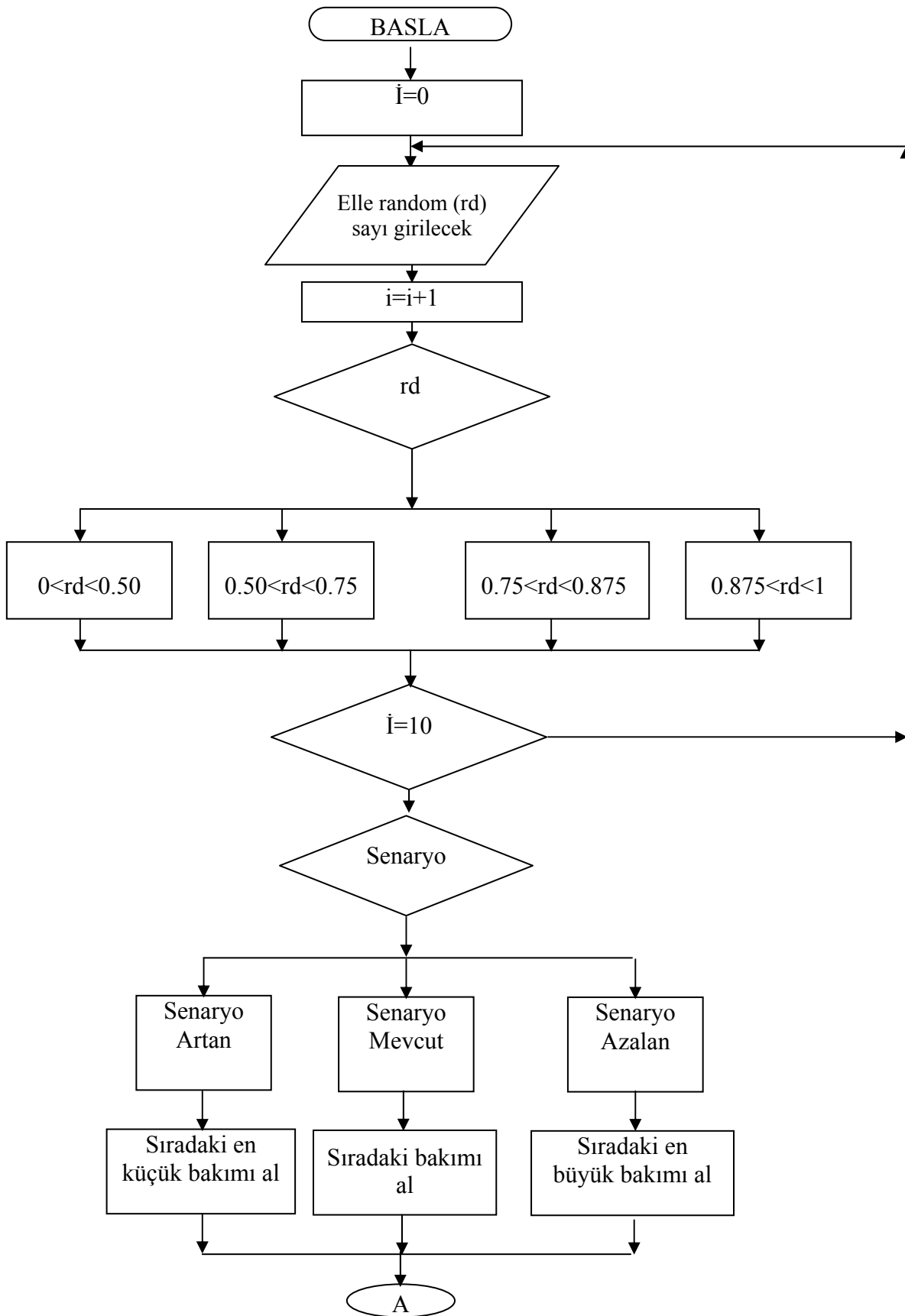
M.S. Visual Studio C# yazılımını kullanarak hazırlamış olduğumuz Tramvay Bakım Optimizasyonu projesi 10 tramvay aracı için hazırlanmıştır. Araç sayısı şirketin şuan kullandığı mevcut bakım sistemi kapasitesine göre belirlenmiş olup istenildiği takdirde bu sayı arttırılabilir. TRBOP ilerleyen yıllarda gerek Ulaşım A.Ş. için gerek de başka şehirlerin ulaşım şirketlerinin herhangi bir bakım darboğazında yardımcı olabilecek politikalardan oluşmaktadır. Tramvay bakım optimizasyon projesi iki çeşit çalışabilir, ilkinde projenin doğruluğunu test etmek için verileri kendimizin girdiği genel ekran sayesinde bakım türünü ve bakım ekiplerinin çalışma süresini program ekranına girerek çalıştırılmaktadır. Bu sayede projenin doğruluğunu test edilebilir. İkincisinde ise bakım türlerini programımız daha önceki bölümde anlatıldığı gibi monte carlo simülasyonunu kullanarak rassal sayı tayini ile elde edilir ve TRBOP her yeni çalışmasında, atanan rassal sayılar değişmekte ve her defasında farklı bakım türleri için programı çalıştırmaktadır. TRBOP’da üç ekip tanımlanmıştır. Bunlar; ağır mekanik bakım ekibi, mekanik bakım ekibi ve elektrik bakım ekibidir. Bakım ekiplerinin istasyonlarda çalışma süresi B2, B4, B8 ve B16 için ayrı ayrı önceden programa tanıtılmıştır ama herhangi bir bakım ekibinin süresinin değiştirilmesinde program ana ekranından yararlanarak ekip saatleri değiştirilebilir. TRBOP, üç ayrı senaryo için çalışmaktadır. Bunlar; Mevcut uygulanan sistem olan 10 aracın herhangi bir kısıtına bakmadan sadece bakım yoluna geliş sırasına göre istasyonlara alınması, ikinci senaryo ise bakım yoluna gelen 10 aracın, bakım türlerine bakarak 20.000 km’lik bakımdan başlayarak 160.000 km’lik bakıma göre sıralanmasıdır. Bu senaryo artan bakım senaryosu diye adlandırılmıştır. En son senaryo ise bakım yoluna gelen 10 aracın, bakım türlerine bakarak en ağır bakım olan 160.000 km’lik bakımdan başlayarak en hafif bakım 20.000 km’lik bakımları sıralayarak istasyonlara alınmasıdır. Bu bakıma da azalan bakım senaryosu adı verilmiştir.



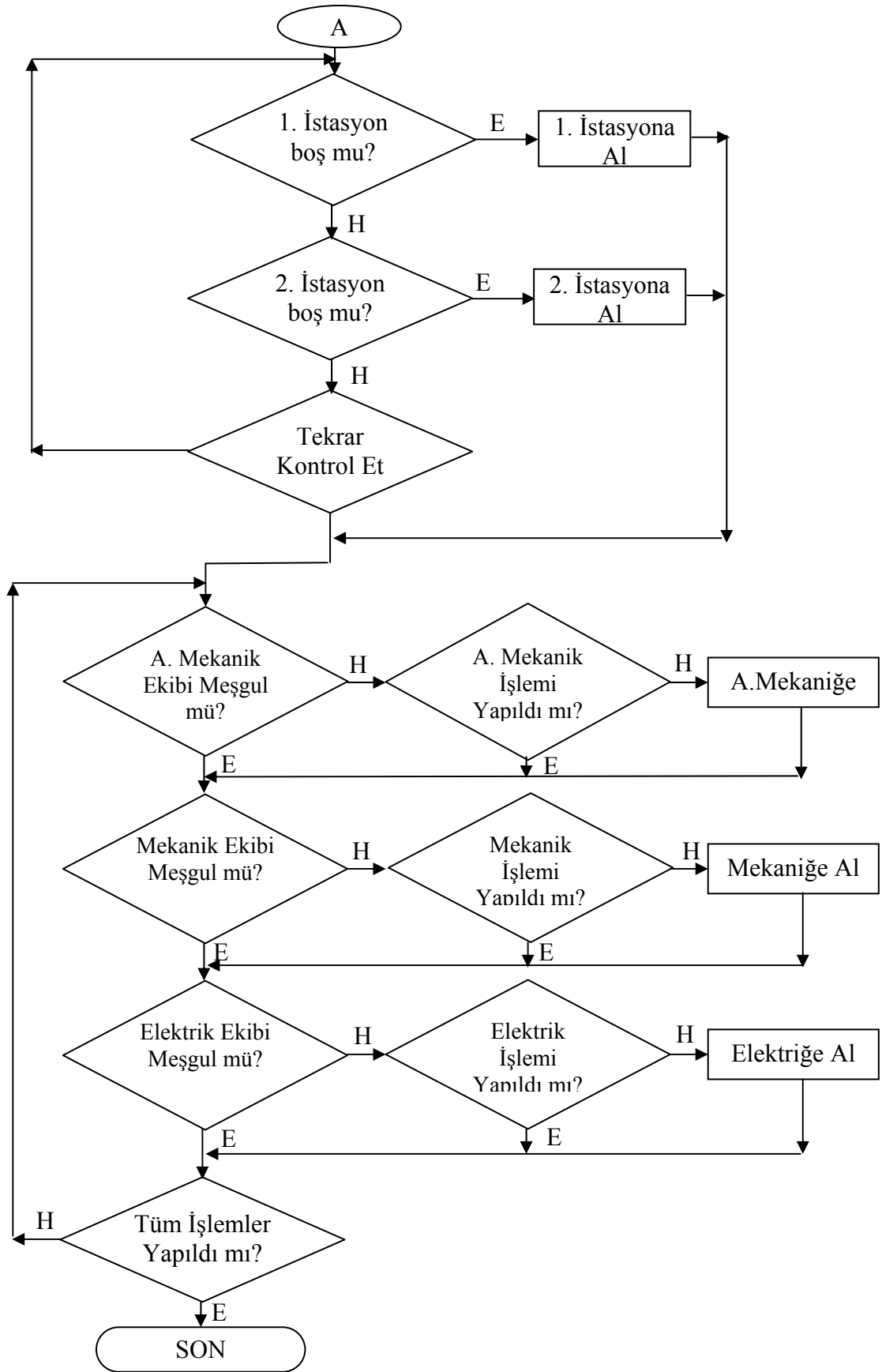
Şekil 6.2. TRBOP akış diyagramı



Şekil 6.2. (Devamı) TRBOP akış diyagramı



Şekil 6.3. TRBOP'un el yordamıyla çalışmasının akış diyagramı



Şekil 6.3. (Devamı) TRBOP'un el yordamıyla çalışmasının akış diyagramı

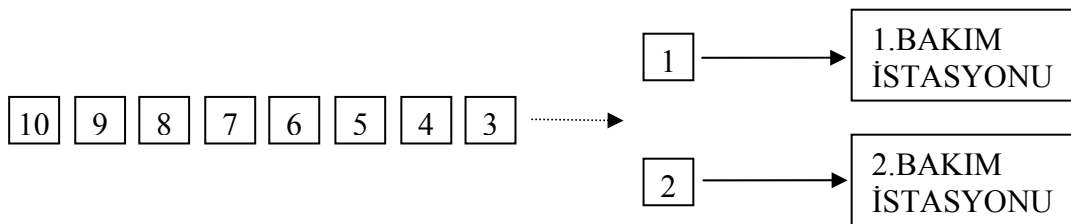
Tramvay bakım optimizasyon projesi 10 araç filosunun haftalık bakım çizelgesini oluşturarak, 10 aracın ayrı ayrı ağır mekanik, mekanik ve elektrik bakım başlama ve bitiş sürelerini, araçların hangi istasyonda bakıma alındığını, haftalık istasyonların iş gücünü, 10 aracın bakımını aksatmamak için gerekli olan ek mesai saatini, toplam bakım süresini ve istasyonların boş bekleme süresini elde edilebilir.

a) Mevcut Bakım Senaryosu: Şuan Ulaşım A.Ş.'nin uygulamış olduğu bakım sistemine verilen addır. Her hafta periyodik bakımı gelen 10 tramvayın kilometrelerine ve bakım türüne bakılmaksızın bakım istasyonlarına alınmasıdır. Hangi araç ilk olarak bakım istasyonuna çağrıldıysa o araç işlem görür ve ilk o istasyondan çıkar. Diğer araçlarda geliş sırasına göre bakıma alınır.

Tablo 6.5. Mevcut bakım sistemi ile ilgili bakım bilgileri.

Tramvay No	Rassal Sayı	Bakım Türü	Bakım Sırası	Bakım Süresi	İstasyon No
1.tramvay	0.321	20000 km' lik (B2)	1	8 saat	1
2.tramvay	0.412	20000 km' lik (B2)	2	8 saat	2
3.tramvay	0.028	20000 km' lik (B2)	3	8 saat	1
4.tramvay	0.817	80000 km' lik (B8)	4	20 saat	2
5.tramvay	0.111	20000 km' lik (B2)	5	8 saat	1
6.tramvay	0.449	20000 km' lik (B2)	6	8 saat	1
7.tramvay	0.564	40000 km' lik (B4)	7	12 saat	2
8.tramvay	0.987	160000 km' lik (B16)	8	30 saat	1
9.tramvay	0.688	40000 km' lik (B4)	9	12 saat	2
10.tramvay	0.264	20000 km' lik (B2)	10	8 saat	2

Tablo 6.5’de de görüldüğü gibi bakım türü atanan tramvaylar, bakımlarının süresine bakılmaksızın çağrıldıkları sıraya göre bakım istasyonlarında işleme alınır.



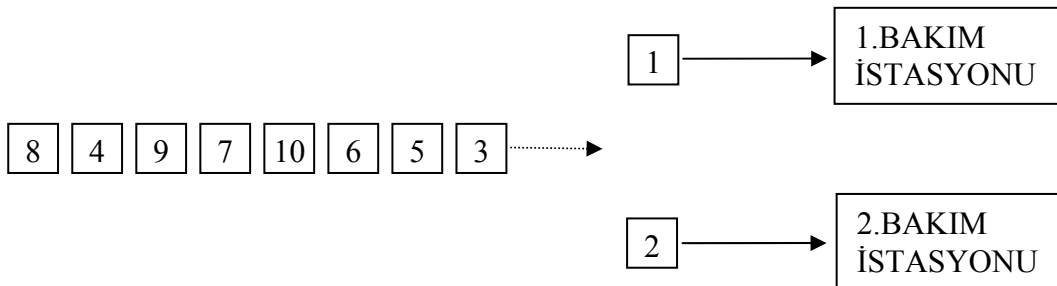
Şekil 6.4. Mevcut bakım sisteminin fiziksel gösterimi.

b) Artan Bakım Sistemi: Bu senaryomuzda her hafta bakımı yapılacak olan 10 tramvay filosunun, hazırlamış olduğumuz programın monte carlo simülasyon modelini kullanarak rassal sayılar atamasıyla belirlenen bakım türleri, 20000 km'lik (B2) bakımdan başlayarak 160000 km'lik (B16) bakıma kadar tramvaylarımızı sıralanmasına verilen addır. İlk önce bakım istasyonlarımıza 20000 km'lik (B2) bakımları alacağız. Daha sonra 40000 km'lik (B4), 80000 km'lik (B8) ve 160000 km'lik (B16) bakımları alarak, toplam bakım süresini hesaplayacağız.

Tablo 6.6. Artan bakım sistemi ile ilgili bakım bilgileri.

Tramvay No	Rassal Sayı	Bakım Türü	Bakım Sırası	Bakım Süresi	İstasyon No
1.tramvay	0.321	20000 km' lik (B2)	1	8 saat	1
2.tramvay	0.412	20000 km' lik (B2)	2	8 saat	2
3.tramvay	0.028	20000 km' lik (B2)	3	8 saat	1
5.tramvay	0.111	20000 km' lik (B2)	4	8 saat	2
6.tramvay	0.449	20000 km' lik (B2)	5	8 saat	1
10.tramvay	0.264	20000 km' lik (B2)	6	8 saat	2
7.tramvay	0.564	40000 km' lik (B4)	7	12 saat	1
9.tramvay	0.688	40000 km' lik (B4)	8	12 saat	2
4.tramvay	0.817	80000 km' lik (B8)	9	20 saat	1
8.tramvay	0.987	160000 km' lik (B16)	10	30 saat	2

Tablo 6.6'da da görüldüğü gibi bakım türü atanan tramvaylar, bakım sürelerine bakılarak ilk önce en az işlem süresi olan bakımlar istasyona alınır ve işlem süresi en çok olan bakımlar ise en son bakım istasyonuna alınır.



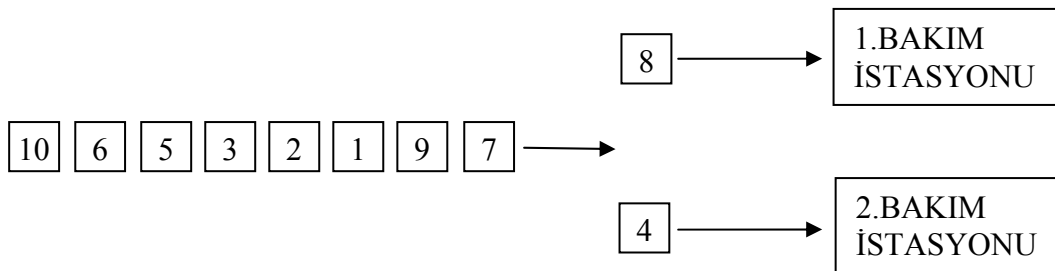
Şekil 6.5. Artan bakım sistemi fiziksel görünümü.

c) Azalan Bakım Sistemi: Bu senaryomuzda her hafta bakımı yapılacak olan 10 tramvay filosunun, hazırlamış olduğumuz Tramvay bakım optimizasyonu modeli programı monte carlo simülasyon modelini kullanarak rassal sayılar atamasıyla belirlenen bakım türlerinin, 160000 km'lik (B16) bakımdan başlayarak 20000 km'lik (B2) bakıma kadar tramvaylarımızın sıralanmasıyla oluşan bakım senaryosuna verilen addır. İlk önce bakım istasyonlarımıza 160000 km'lik (B16) bakımları alacağız. Daha sonra 80000 km'lik (B8), 40000 km'lik (B4) ve 20000 km'lik (B2) bakımları alarak, toplam bakım süresini hesaplayacağız.

Tablo 6.7. Azalan bakım sistemi ile ilgili bakım bilgileri.

Tramvay No	Rassal Sayı	Bakım Türü	Bakım Sırası	Bakım Süresi	İstasyon No
8.tramvay	0.987	160000 km' lik (B16)	1	30 saat	1
4.tramvay	0.817	80000 km' lik (B8)	2	20 saat	2
7.tramvay	0.564	40000 km' lik (B4)	3	12 saat	2
9.tramvay	0.688	40000 km' lik (B4)	4	12 saat	1
1.tramvay	0.321	20000 km' lik (B2)	5	8 saat	2
2.tramvay	0.412	20000 km' lik (B2)	6	8 saat	2
3.tramvay	0.028	20000 km' lik (B2)	7	8 saat	1
5.tramvay	0.111	20000 km' lik (B2)	8	8 saat	2
6.tramvay	0.449	20000 km' lik (B2)	9	8 saat	1
10.tramvay	0.264	20000 km' lik (B2)	10	8 saat	2

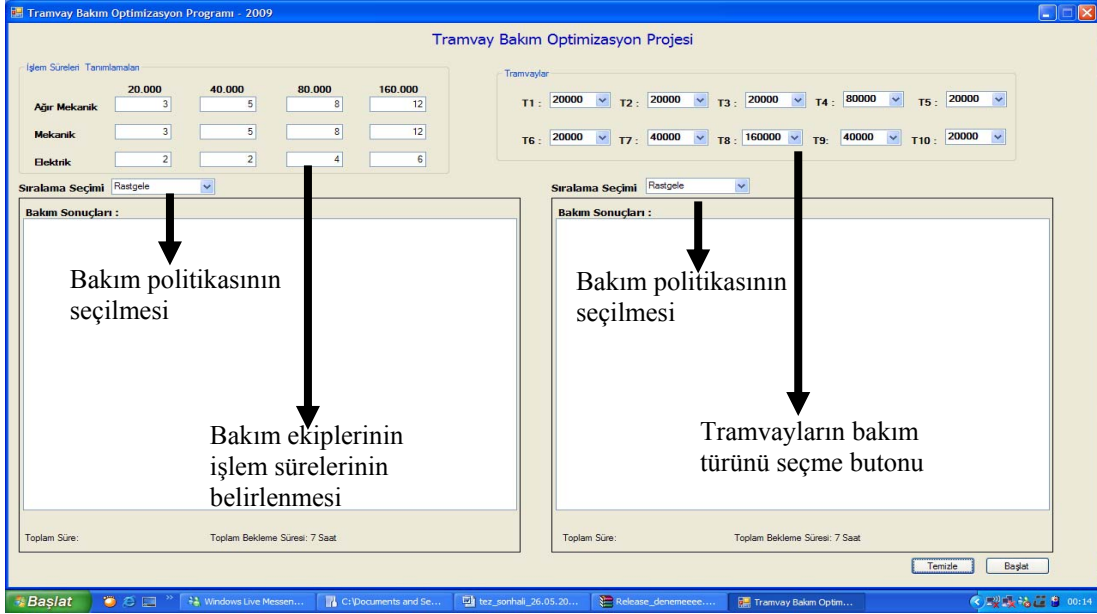
Tablo 6.7'de de görüldüğü üzere bakım türleri tanımlanan tramvay araçları bakım merkezinden bakım istasyonlarına çağrılırken, bakım işlem süresi çok olandan az olana göre sıralanır ve bu sıralamaya göre bakım istasyonlarında işleme alınır.



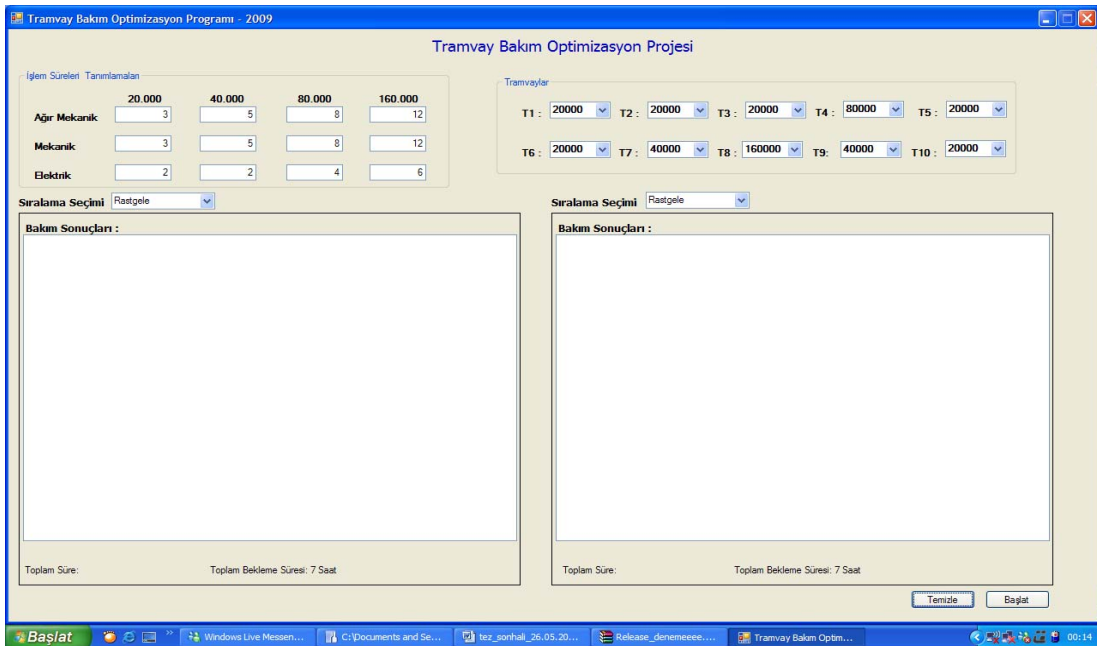
Şekil 6.6. Azalan bakım sisteminin fiziksel görünümü.

Mevcut bakım senaryosunda, artan bakım senaryosunda ve azalan bakım senaryosunda sırasıyla Tablo 6.5, Tablo 6.6, ve Tablo 6.7’de 10 aracın hangi sırada istasyonlara gireceği belirlenmiştir. Tramvay bakım optimizasyon projesinde her üç bakım senaryosunda benzer algoritma işlemektedir. İlk olarak bakımı yapılacak ilk araç ilk istasyona atanır ve burada ağır mekanik bakım ekibi çalışır. Ağır mekanik bakımı atandıktan sonra sırasıyla mekanik ve elektrik bakım işleme alınacaktır. İlk bakım istasyonuna ilk araç atandıktan sonra ikinci sıradaki araçta ikinci bakım istasyonuna atanır. İkinci istasyonda mekanik ve elektrik bakımdan biri atanacaktır. Aynı zamanda ilk istasyonda ağır mekanik bakım ekibi işlem gördüğü için ikinci istasyona birinci istasyonda işlemi bitmeden asla atanamaz. İlk önce mekanik bakım ikinci istasyona aranacaktır çünkü bu üç bakım ekibinde her biri istasyona atanmaya uygunsa ilk ağır mekanik bakım daha sonra mekanik bakım ve en son elektrik bakımı uygulanacaktır. Bu açıklama göz önüne alınarak ikinci istasyona mekanik bakım atanır. Her iki istasyon şuanda çalışmaktadır. İlk önce hangi istasyonda bakım ekibinin yaptığı bakım işlemi bittiyse bu istasyona elektrik ekibi atanır. İstasyonlara bakım ekibinin ataması TRBOP’da yapılırken bu algoritmalar ekran gerisinde çalışır vaziyettedir. Hangi istasyonda hangi araç bakımdaysa ve araca hangi bakımların yapıldığı hangi bakımların yapılmadığını program algoritması ekran gerisinde çalıştırır ve uygun olan bakım ekibini bakım istasyonuna atar. Bu şekilde 10 tramvay aracı haftalık bakıma belirlenen sıralar ile alınır. 10 araç içinde Şekil 6.2’de belirtilen TRBOP algoritması diyagramı tek tek çalışmaktadır. Her hafta 10 araç bakıma alınarak toplam bakım süresi hesaplanır aynı şekilde 10 araç için atanan her bir bakım ekibi, atandığı bakım türünün toplam bakım zamanını geçer ise boş bekleme saati meydana gelmektedir. Örnek olarak her iki istasyonda da birer araç işlem görmektedir ilk istasyonda bulunan aracın sadece mekanik bakımı kaldıysa ve mekanik bakım ekibide halen ikinci istasyonda bulunan tramvay aracında bakım yapıyorsa muhakkak birinci istasyonda bulunan araç ikinci istasyonda ki mekanik bakım ekibinin işleminin bitişini beklemektedir. Bu şekilde de tramvay bakım optimizasyon projesinin haftalık toplam boş bekleme zamanı bulunmaktadır. Bu çalışmada ki benzetim modelimiz TRBOP tek tek bakım algoritmalarını arka yüzünde çalıştırmaktadır. Her üç senaryo için tramvay bakım optimizasyon projesini (TRBOP) tek tek çalıştırılacaktır. Simülasyon akış diyagramında önemli yeri olan programımızın doğruluğunu kontrol etmek için Tablo 6.5, Tablo 6.6, ve Tablo 6.7.

de belirtilen bakım türlerini yazılımımıza el yordamıyla tanımlanarak benzetim modeline girilmiştir ve elde ettiğimiz toplam bakım sürelerini, ekiplerin iş yükünü, toplam bekleme süresini ve istasyon yoğunluklarına bakarak sayısal verileri ilerleyen bölümde karşılaştırılacaktır.



Şekil 6.7. TRBOP' un ekran çıktısı



Şekil 6.8. Programın boş ekranı

Ulaşım A.Ş.'de şuan kullanılan mevcut sistemi Tablo 6.5'de verilen bakım türlerini ve bakım sırasını dikkate alarak programımıza aktardığımız zaman toplam bakım süresi 66 saat sürmekte ve istasyonların boş bekleme süresi ise 7 saat olarak tespit edilmiştir

İstasyonların performansı incelenecek olursa; 1. bakım istasyonunda 1. tramvay, 3. tramvay, 5. tramvay, 6. tramvay ve 8. tramvay bakıma alınmıştır. 1.bakım istasyonunda 5 tramvayın bakımı 66 saat sürmüş ve 4 saat boş bekleme süresi oluşmuştur. 2. bakım istasyonunda ise 2. tramvay, 4. tramvay, 7. tramvay, 9. tramvay ve 10. tramvay bakıma alınmıştır. 2.bakım istasyonunda ise 5 tramvayın bakım 63 saat sürmüş ve 3 saat boş bekleme süresi oluşmuştur.

Tramvay Bakım Optimizasyon Programı - 2009

Tramvay Bakım Optimizasyon Projesi

İşlem Süreleri Tanımlanılan

	20.000	40.000	80.000	160.000
Ağır Mekanik	3	5	8	12
Mekanik	3	5	8	12
Elektrik	2	2	4	6

Tramvaylar

T1 : 20000 T2 : 20000 T3 : 20000 T4 : 80000 T5 : 20000
T6 : 20000 T7 : 40000 T8 : 160000 T9 : 40000 T10 : 20000

Sıralama Seçimi Rastgele

Bakım Sonuçları :

Tramvay No:1 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :3
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :8
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :5

Tramvay No:2 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :6
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :3
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :8

Tramvay No:3 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :11
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :19
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :13

Tramvay No:4 Bakım Türü:80000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:8 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :24
İşlem Türü:Mekanik Süre:8 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :16
İşlem Türü:Elektrik Süre:4 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :28

Tramvay No:5 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :27
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :22
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :24

Tramvay No:6 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :30
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :36
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :32

Tramvayların istasyonlara alınma sırası: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Toplam Süre: 66 Saat Toplam Bekleme Süresi: 7 Saat

Bakım Sonuçları :

İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :27
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :22
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :24

Tramvay No:6 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :30
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :33
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :32

Tramvay No:7 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :38
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :33
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :40

Tramvay No:8 Bakım Türü:160000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:12 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :60
İşlem Türü:Mekanik Süre:12 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :48
İşlem Türü:Elektrik Süre:6 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :66

Tramvay No:9 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :45
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :53
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :47

Tramvay No:10 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :63
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :56
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi? :Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :58

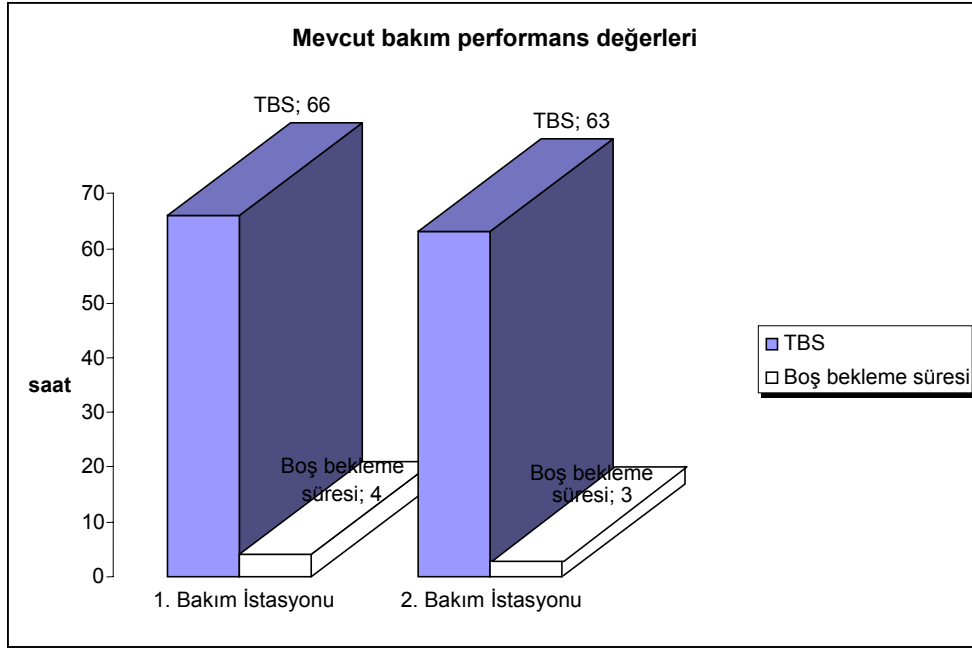
Tramvayların istasyonlara alınma sırası: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Toplam Süre: 66 Saat Toplam Bekleme Süresi: 7 Saat

Temizle Bağlat

Windows Live Messen... C:\Documents and Se... tez_sonhali_26.05.20... Release_denemeeee... Tramvay Bakım Optm... 00:16

Şekil 6.9. TRBOP ekran görüntüsü.

Mevcut sistemin, ağır mekanik bakım, mekanik bakım ve elektrik bakım iş yüklerini inceleyecek olursak;

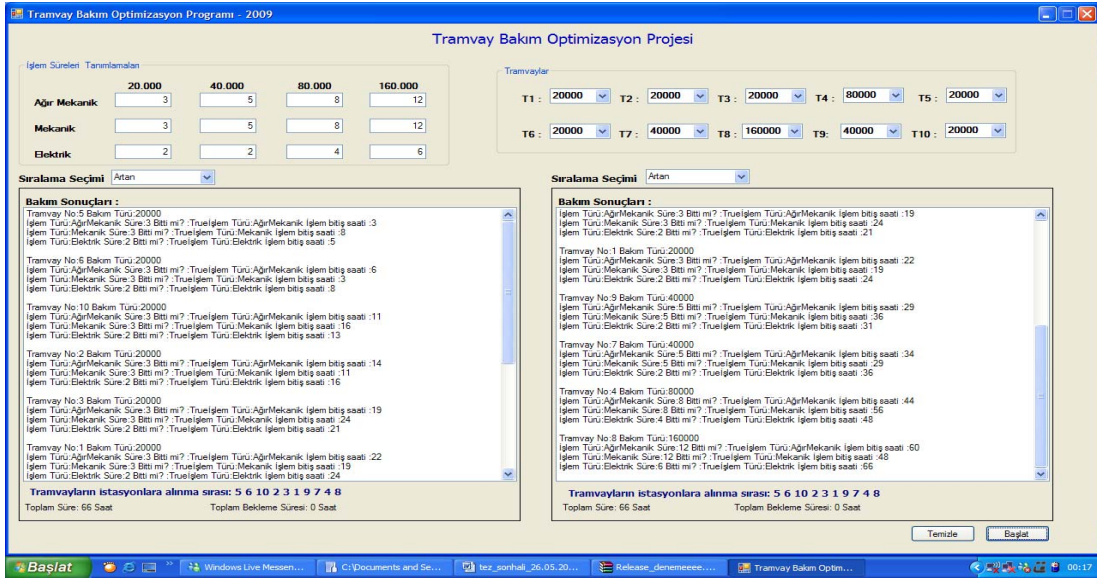


Şekil 6.15. Mevcut bakım sisteminin (M.B.S.) TB ve boş bekleme süreleri.

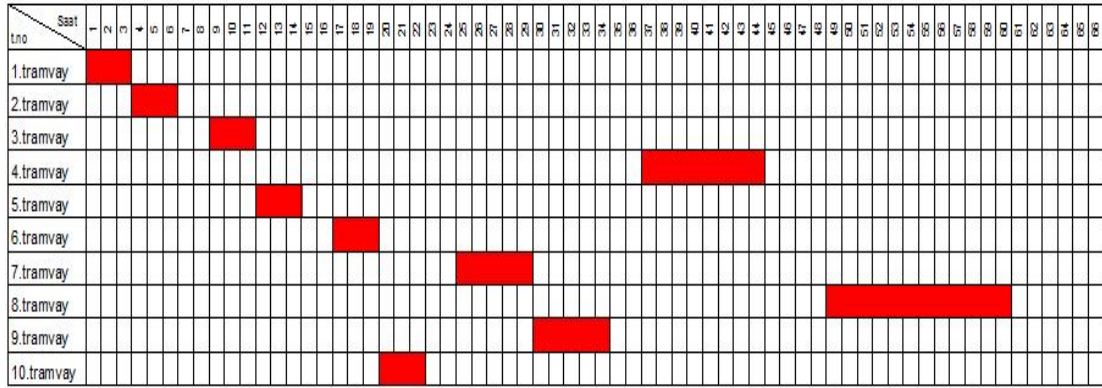
Ulaşım A.Ş.'de kullanılan mevcut sisteme alternatif olarak ele aldığımız artan bakım senaryosu ile örnek bakım türleri ve bakım ekipman süreleri girilerek program çalıştırıldığı zaman toplam bakım süresi 66 saat olarak tespit edilmiş, bir diğer verimiz boş bekleme süresi ise sıfır olarak bulunmuştur. Artan bakım senaryosunu uyguladığımız zaman bu örnek için bakım istasyonlarımız hiç bekleme süresi çalışabilecek.

Artan bakım senaryosu TRBOP simülasyon yazılımı başka örnek bakım türleri ve bakım ekipman süreleri ile çalıştığı zaman boş bekleme süresi değişebilir. İlerleyen bölümlerde programın veri analizinde ortalama bakım sürelerini ve ortalama boş bekleme sürelerini daha net görülecektir.

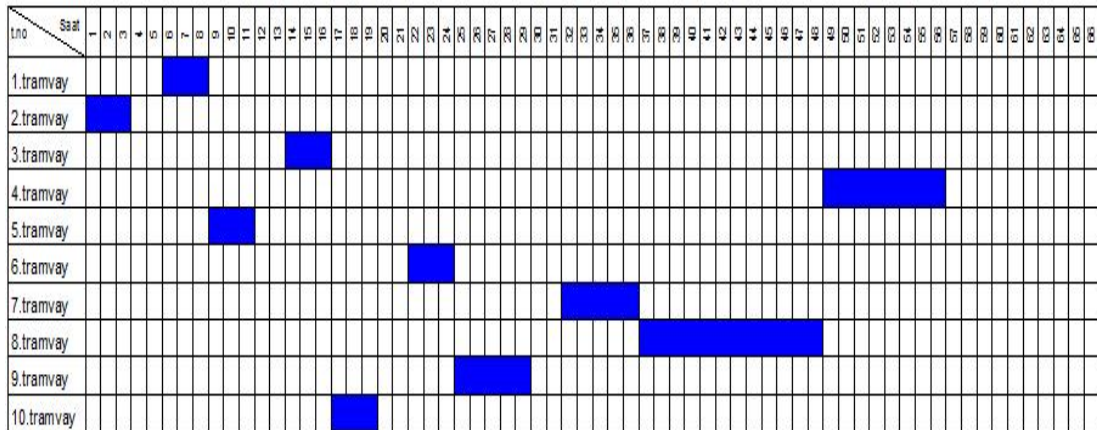
Artan bakım senaryosu, Tablo 6.6'da verilen bakım türleri ve bakım ekiplerinin çalışma saatleri TRBOP'a girilerek çalıştırıldığında, ağır mekanik, mekanik, elektrik bakım performans değerlerini, istasyonların toplam bakım sürelerini, toplam boş bekleme sürelerini ve istasyonların bakım yoğunluğunu inceleyecek olursak;



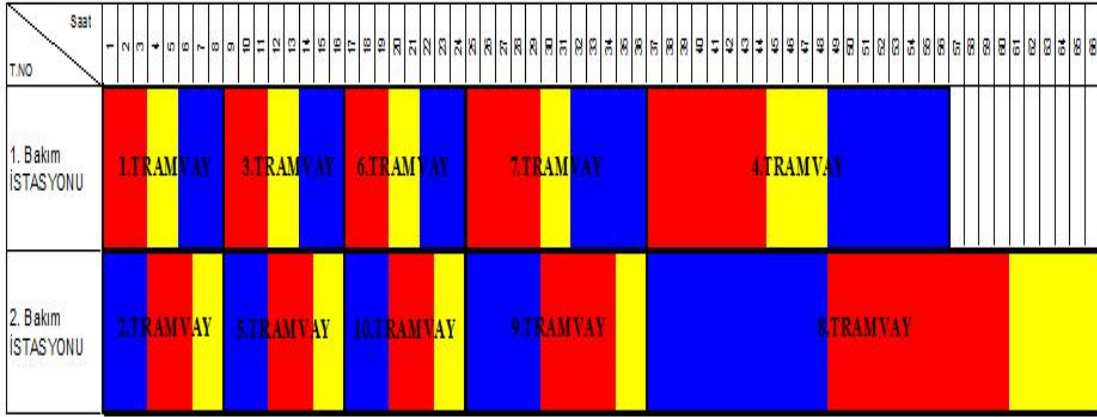
Şekil 6. 16. Artan bakım senaryosunun TRBOP ekranında görünümü



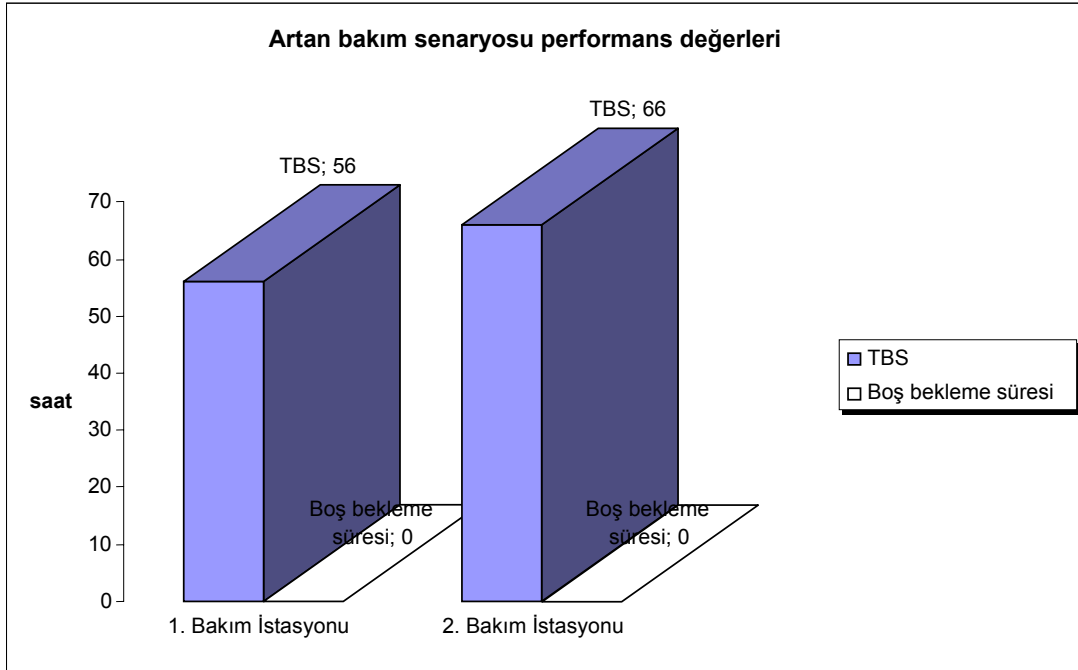
Şekil 6.17. Artan bakım senaryosunda ağır mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.



Şekil 6.18. Artan bakım senaryosunda mekanik bakım ekibinin çalışma süreleri.



Şekil 6.21. Bakım istasyonlarının performanslarının görünümü.



Şekil 6.22. Artan bakım senaryosunun TB ve boş bekleme süreleri.

Ulaşım A.Ş.'de şuan uygulanan mevcut bakım sistemini ve bu sisteme alternatif olarak geliştirmiş olan artan bakım senaryosunu incelendi. En son olarak azalan bakım sistemini Tablo 6.7'de verilen bakım bilgileri TRBOP'da çalıştırarak toplam bakım süresini, istasyonların boş bekleme sürelerini ve bakım ekiplerinin iş yükünü incelenirse;

Bu senaryoya göre 1.bakım istasyonunda 8. tramvay, 9. tramvay, 3. tramvay ve 6. tramvay bakıma alınmıştır. 1.bakım istasyonunda toplam bakım süresi 58 saat ve toplam boş bekleme süresi sıfır saat olarak tespit edilmiştir. 2.bakım istasyonunda ise 4. tramvay, 7. tramvay, 1. tramvay, 2. tramvay, 5. tramvay ve 10. tramvay bakıma alınmıştır. 2. bakım istasyonunun performans değerleri incelenecek olursa; toplam bakım süresi 64 saat ve boş bekleme süresi sıfır saat olarak bulunmuştur. Azalan bakım senaryosunun toplam bakım süresi 64 saat ve istasyonların boş bekleme zamanı sıfır olarak elde edilmiştir.

Tramway Bakım Optimizasyon Programı - 2009

Tramway Bakım Optimizasyon Projesi

İşlem Süreleri Tanımlanmaları

	20.000	40.000	80.000	160.000
Ağır Mekanik	3	5	8	12
Mekanik	3	5	8	12
Elektrik	2	2	4	6

Tramvaylar

T1 : 20000 T2 : 20000 T3 : 20000 T4 : 80000 T5 : 20000
T6 : 20000 T7 : 40000 T8 : 160000 T9 : 40000 T10 : 20000

Sıralama Seçimi Azalan

Bakım Sonuçları :

Tramvay No:3 Bakım Türü:160000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:12 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :12
İşlem Türü:Mekanik Süre:12 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :24
İşlem Türü:Elektrik Süre:6 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :30

Tramvay No:4 Bakım Türü:80000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :20
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :8
İşlem Türü:Elektrik Süre:4 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :12

Tramvay No:7 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :25
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :30
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :32

Tramvay No:9 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :35
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :42
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :37

Tramvay No:1 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :38
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :35
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :40

Tramvay No:3 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :43
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :48
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :45

Tramvay No:2 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :48
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :45
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :50

Tramvay No:10 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :51
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :56
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :53

Tramvay No:6 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :56
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :53
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :58

Tramvay No:5 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanik İşlem bitiş saati :59
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanik İşlem bitiş saati :62
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrik İşlem bitiş saati :64

Tramvayların İstasyonlara Alınma Sırası: 8 4 7 9 1 3 2 10 6 5

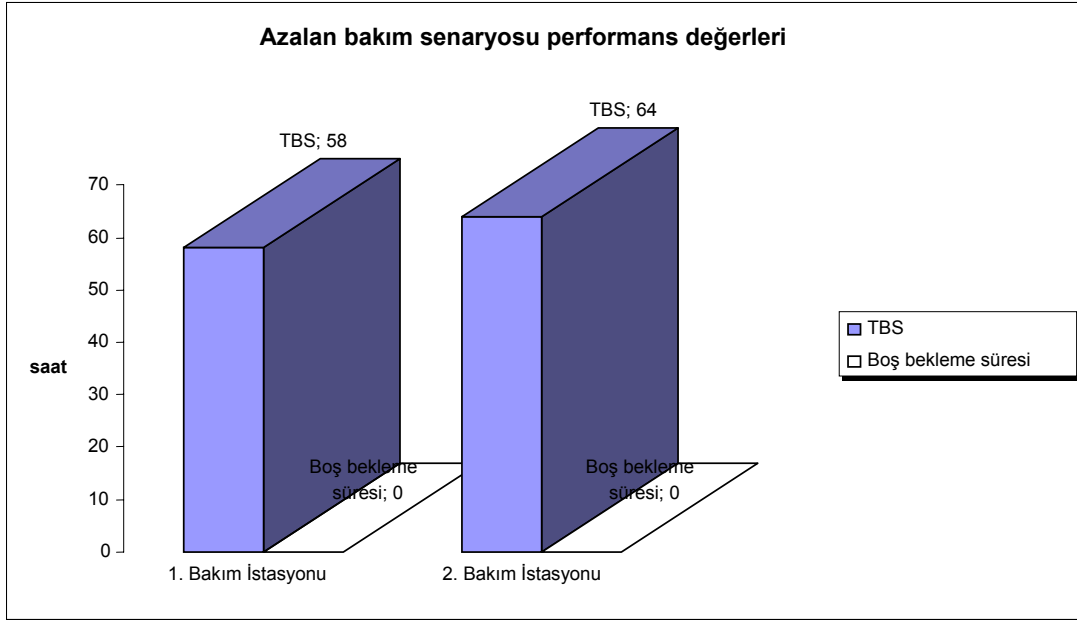
Toplam Süre: 64 Saat Toplam Bekleme Süresi: 0 Saat

Tramvayların İstasyonlara Alınma Sırası: 8 4 7 9 1 3 2 10 6 5

Toplam Süre: 64 Saat Toplam Bekleme Süresi: 0 Saat

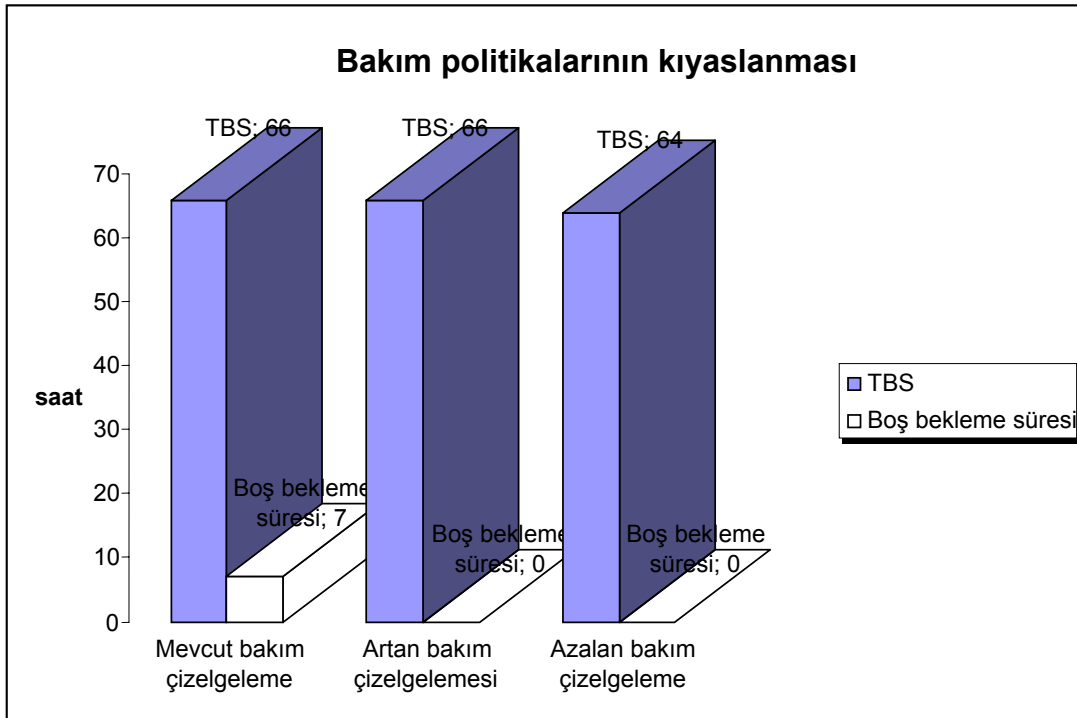
Temizle Bağlat

Şekil 6. 23. Azalan bakım senaryosunun TRBOP ekranında görünümü



Şekil 6.29. Azalan bakım senaryosunun TBS ve boş bekleme süreleri

Örnek bakım verileri ile Mevcut bakım senaryosu (M.B.S.), Artan bakım senaryosu ve Azalan bakım senaryosu Şekil 6.30'da kıyaslanmıştır.



Şekil 6.30. Bakım politikalarının kıyaslanması

6.5. Veri Analizi

Raylı toplu taşıma sisteminde tramvay filolarının bakımı için hazırlanmış olan TRBOP simülasyon programını, simülasyon modellemenin akış diyagramının aşamalarına uyarak adım adım çalıştırıldı. İlk önce problem tanımlandı. Sonraki aşama olan problemin amacı belirtildi. Bakım senaryolarının model formasyonu ve planlaması yapıldı. Ulaşım A.Ş.'de uygulanan mevcut sistem araştırıldı ve mevcut sistem hakkında bakım politikaları, bakım türleri ve bakım ekipleri hakkında atölye ortamındaki gerçek veriler toplandı. Bu gerçek veriler göz önüne alınarak mevcut bakım sistemine alternatif olabilecek, artan bakım senaryosu ve azalan bakım senaryosu modelleri geliştirildi. Geliştirilmiş olan bakım senaryolarının doğrulanması ise, program kabulleri göz önüne alınarak bakım türleri ve bakım ekiplerinin işlem saatleri TRBOP programı yardımı olmadan el yordamıyla çalıştırılmıştır. El yordamıyla çalıştırıldığında toplam bakım süresi, toplam bekleme süresi ve bakım istasyonlarının performans değerleri elde edildi. Aynı bakım türleri ve bakım ekipleri işlem saatlerinde herhangi bir değişiklik yapmadan Tramvay bakım optimizasyon projesine (TRBOP) girildi ve elde edilen bakım bilgilerinin aynı olduğu tespit edilmiştir. Böylece simülasyon programımızın doğrulanmıştır. TRBOP ile ilgili gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Simülasyonun bir sonra ki aşaması olan denemeler yapılmıştır.

Tramvay bakım optimizasyon projesi doğrulandıktan sonra mevcut bakım senaryosu, artan bakım senaryosu ve azalan bakım senaryosu için yazılım çalıştırılmıştır. Daha öncede bahsedildiği gibi her hafta 10 tramvay filosuna bakım yapabilen 2 bakım istasyonu, B2, B4, B8, B16 bakım türleri ve üç çeşit bakım ekibi mevcuttur. Bu istasyonlara gelen 10 tramvay aracının bakım türleri Şekil 6.1'de de belirtildiği üzere monte carlo simülasyon modelinden yararlanarak atanmaktadır. Mevcut bakım senaryosuna göre bakım türleri atanmış olan tramvaylar, bakım türlerinin işlem saatine bakmaksızın hangi sırayla bakım yoluna gelirse o sırada bakıma alınırlar. Artan bakım senaryosunda ise bakım türleri atanmış olan tramvaylar bakım yoğunluğuna göre en az bakım işlem süresinden en fazla bakım işlem süresine göre sıralanıp o şekilde bakım istasyonlarında işlem görürler. En son senaryo olan azalan bakım senaryosunda ise bakım türleri atanmış olan tramvaylar, en fazla bakım işlem süresinden en

az bakım işlem süresine göre sıralanıp o şekilde bakım istasyonlarında işlem görürler. Bu üç senaryo ikili gruplandırılarak denemeler yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

İkili gruplandırmaları sıralayacak olursak;

- Mevcut bakım senaryosu – Artan bakım senaryosu
- Mevcut bakım senaryosu – Azalan bakım senaryosu
- Artan bakım senaryosu – Azalan bakım senaryosu

Tramvay bakım optimizasyon projesinde ikili gruplandırmalar aynı ekranda çalıştırılabilir ve aynı ekran çıktısında her iki bakım senaryosunun toplam bakım süreleri ile istasyonların toplam boş bekleme süreleri kıyaslanabilir.

Tramvay Bakım Optimizasyon Programı - 2009

Tramvay Bakım Optimizasyon Projesi

İşlem Süreleri Tanımlamaları

	20.000	40.000	80.000	160.000
Ağır Mekanik	3	5	8	12
Mekanik	3	5	8	12
Elektrik	2	2	4	6

Tramvay Sayısı: 10

Sıralama Seçimi: Pastgele İstasyon Sayısı: 2 İstasyon

Sıralama Seçimi: Artan İstasyon Sayısı: 2 İstasyon

Bakım Sonuçları :

Tramvay No:1 Bakım Türü:80000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:8 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :8
İşlem Türü:Mekanik Süre:8 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :16
İşlem Türü:Elektrik Süre:4 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :20

Tramvay No:2 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :13
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :18
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :7

Tramvay No:3 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :16
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :19
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :22

Tramvay No:4 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :23
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :28
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :25

Tramvay No:5 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :28
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :35
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :30

Tramvay No:6 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :31
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :36
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :33

Tramvayların istasyonlara alınma sırası: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Toplam Süre: 76 Saat Toplam Bekleme Süresi: 4 Saat

Bakım Sonuçları :

İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :19
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :24
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :21

Tramvay No:4 Bakım Türü:20000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :22
İşlem Türü:Mekanik Süre:3 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :19
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :24

Tramvay No:9 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :29
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :36
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :31

Tramvay No:2 Bakım Türü:40000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :34
İşlem Türü:Mekanik Süre:5 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :39
İşlem Türü:Elektrik Süre:2 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :36

Tramvay No:1 Bakım Türü:80000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:8 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :44
İşlem Türü:Mekanik Süre:8 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :56
İşlem Türü:Elektrik Süre:4 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :48

Tramvay No:10 Bakım Türü:160000
İşlem Türü:AğırMekanik Süre:12 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:AğırMekanikİşlem bitiş saati :60
İşlem Türü:Mekanik Süre:12 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Mekanikİşlem bitiş saati :48
İşlem Türü:Elektrik Süre:6 Bitti mi?:Trueİşlem Türü:Elektrikİşlem bitiş saati :66

Tramvayların istasyonlara alınma sırası: 6 5 8 7 3 4 9 2 1 10
Toplam Süre: 66 Saat Toplam Bekleme Süresi: 0 Saat

Temizle Bağlat

Şekil 6.31. Mevcut bakım senaryosu – Artan bakım senaryosu grubunun ekran çıktısı.

Tablo 6.8. M.B.S. ile artan bakım senaryosunun kıyaslanması

Deneme no	Mevcut bakım senaryosu		Artan bakım senaryosu	
	OBS	Boş bekleme süresi	OBS	Boş bekleme süresi
1	60	0	56	1
2	52	3	56	5
3	89	3	78	0
4	73	2	68	4
5	77	3	66	0
6	64	0	56	0
7	78	10	78	6
8	60	7	56	1
9	76	3	78	4
10	66	12	66	5
11	70	3	66	0
12	73	11	74	4
13	48	2	48	2
14	66	5	70	4
15	52	3	56	5
16	65	2	56	0
17	53	3	52	1
18	73	5	68	8
19	103	10	90	0
20	66	11	66	9
21	65	4	64	2
22	94	11	90	8
23	82	12	78	2
24	108	3	100	6
25	91	11	84	0
26	99	20	78	0
27	60	0	60	2
28	98	17	88	0
29	77	3	70	0
30	78	3	74	8
31	67	5	66	0
32	78	11	74	8
33	84	13	66	0
34	75	19	70	16
35	82	10	74	2
36	97	29	88	8
37	70	11	70	4
38	66	4	70	4
39	60	4	56	0
40	103	21	84	4
41	78	9	74	4
42	87	17	78	2
43	73	13	70	0
44	79	19	70	2
45	67	11	70	5
46	76	20	66	0
47	69	3	60	2
48	61	8	56	0
49	60	3	60	5
50	73	13	66	0
Ort	74,42 saat	8,5 saat	69,56 saat	3,06 saat

Tablo 6.9. M.B.S. ile azalan bakım senaryosunun kıyaslanması

Deneme no	Mevcut bakım senaryosu		Azalan bakım senaryosu	
	OBS	Boş bekleme süresi	OBS	Boş bekleme süresi
1	63	7	60	0
2	60	4	56	0
3	75	6	75	1
4	70	5	68	1
5	52	0	48	0
6	57	1	60	1
7	66	11	62	5
8	89	10	82	0
9	87	9	74	3
10	60	4	60	1
11	67	2	64	1
12	80	0	80	1
13	67	5	60	0
14	56	0	56	1
15	69	13	62	0
16	80	12	78	5
17	64	0	56	3
18	84	7	80	1
19	54	2	52	3
20	60	0	60	0
21	71	5	69	1
22	72	5	70	0
23	56	3	52	3
24	52	0	48	0
25	77	21	66	0
26	64	6	60	0
27	56	0	56	1
28	83	17	74	3
29	72	17	66	0
30	74	4	69	1
31	62	11	61	5
32	62	8	60	1
33	56	0	56	0
34	60	4	56	0
35	80	9	74	0
36	66	6	62	5
37	71	8	68	0
38	55	3	52	3
39	84	19	74	0
40	72	13	66	0
41	83	12	78	1
42	76	17	66	0
43	69	7	60	0
44	74	11	62	0
45	66	8	60	3
46	87	1	78	3
47	73	12	64	1
48	90	8	78	0
49	70	8	60	0
50	64	7	64	2
Ort	69,14 saat	6,96 saat	64,44 saat	1,2 saat

Tablo 6.10. Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun kıyaslanması

Deneme no	Artan bakım senaryosu		Azalan bakım senaryosu	
	OBS	Boş bekleme süresi	OBS	Boş bekleme süresi
1	66	0	64	0
2	74	4	70	0
3	74	8	66	1
4	74	2	74	2
5	56	5	52	3
6	60	5	56	3
7	66	0	66	0
8	64	4	64	0
9	78	12	69	1
10	66	9	61	5
11	78	6	74	0
12	66	9	61	5
13	70	2	70	0
14	56	0	55	0
15	66	5	62	5
16	70	0	68	0
17	82	4	79	1
18	86	12	77	1
19	88	8	84	0
20	68	8	64	3
21	60	2	60	0
22	56	1	56	1
23	56	0	56	0
24	66	9	61	5
25	60	2	60	0
26	70	9	65	3
27	66	0	64	0
28	74	8	66	1
29	66	0	64	0
30	78	8	70	1
31	60	5	56	3
32	56	5	52	0
33	74	8	66	1
34	60	5	56	3
35	66	5	62	5
36	70	9	65	5
37	82	12	73	1
38	60	1	60	1
39	78	12	69	1
40	74	8	66	1
41	66	9	61	5
42	70	5	66	1
43	66	5	62	5
44	60	2	60	0
45	56	5	56	3
46	72	8	68	0
47	70	9	65	0
48	78	9	69	1
49	60	0	60	0
50	74	8	66	1
Ort	68,24 saat	5,44 saat	64,32 saat	1,56 saat

Mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosunun ortalama bakım süreleri ve ortalama boş bekleme süreleri Tablo 6.8’de belirtilmiştir. Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun ortalama bakım süreleri ve ortalama boş bekleme süreleri Tablo 6.9’da belirtilmiştir ve en son olarak artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun ortalama bakım süreleri ve artan bakım süreleri Tablo 6.10’da gösterilmiştir.

Simülasyonun son aşaması olan sonuçların değerlendirilmesinde ise SPSS’den yararlanarak bulunan değerler analiz edildi. Her bir senaryo için 50 deneme için toplam bakım süreleri ve boş bekleme süreleri SPSS programına girildi.

Mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosunun Tablo 6.8’de belirtilen 50 denemesi için toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri SPSS’in veri girme bölümüne kaydedilmesi Şekil 6.34’de gösterilmiştir.

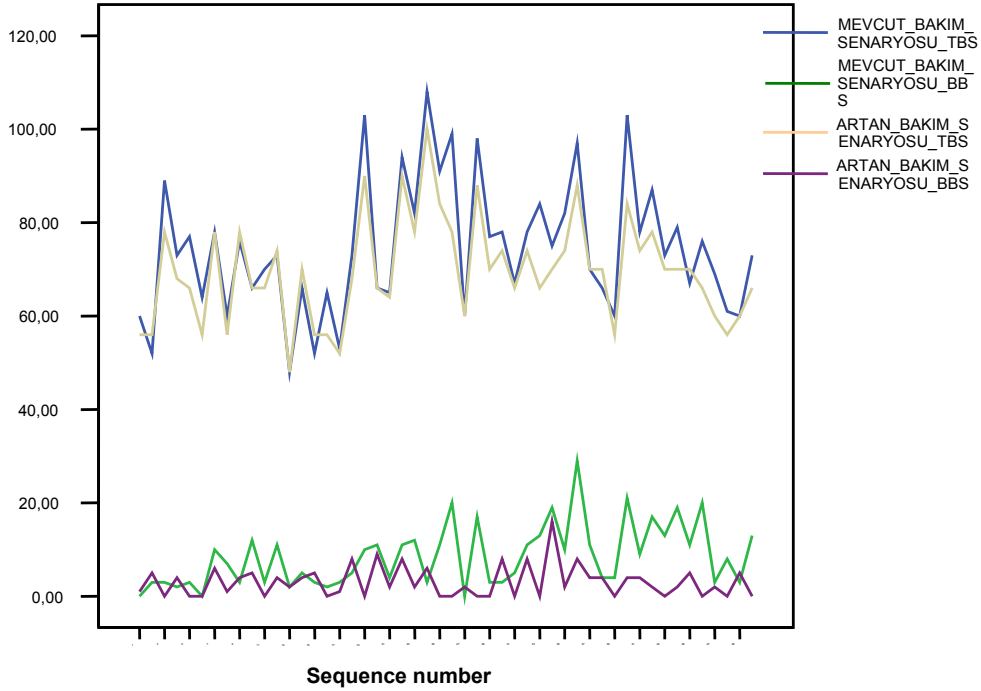
	MEVCUT_BAKIM_SENARYOSU TBS	MEVCUT_BAKIM_SENARYOSU BBS	ARTAN_BAKIM_SENARYOSU TBS	ARTAN_BAKIM_SENARYOSU BBS	var	var	var	var	var	var
20	66,00	11,00	66,00	9,00						
21	65,00	4,00	64,00	2,00						
22	94,00	11,00	90,00	8,00						
23	82,00	12,00	78,00	2,00						
24	108,00	3,00	100,00	6,00						
25	91,00	11,00	84,00	,00						
26	99,00	20,00	78,00	,00						
27	60,00	,00	60,00	2,00						
28	98,00	17,00	88,00	,00						
29	77,00	3,00	70,00	,00						
30	78,00	3,00	74,00	8,00						
31	67,00	5,00	66,00	,00						
32	78,00	11,00	74,00	8,00						
33	84,00	13,00	66,00	,00						
34	75,00	19,00	70,00	16,00						
35	82,00	10,00	74,00	2,00						
36	97,00	29,00	88,00	8,00						
37	70,00	11,00	70,00	4,00						
38	66,00	4,00	70,00	4,00						
39	60,00	4,00	56,00	,00						
40	103,00	21,00	84,00	4,00						
41	78,00	9,00	74,00	4,00						
42	87,00	17,00	78,00	2,00						
43	73,00	13,00	70,00	,00						
44	79,00	19,00	70,00	2,00						
45	67,00	11,00	70,00	5,00						
46	76,00	20,00	66,00	,00						
47	69,00	3,00	60,00	2,00						
48	61,00	8,00	56,00	,00						
49	60,00	3,00	60,00	5,00						
50	73,00	13,00	66,00	,00						

Şekil 6.34. Mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosunun bakım bilgilerinin SPSS’e girilmesi

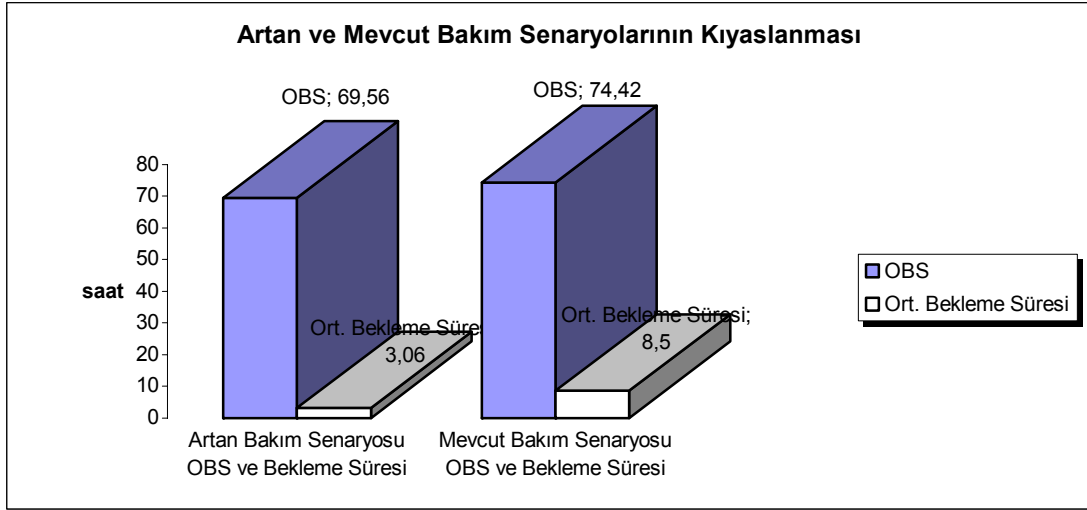
Bu senaryoya göre 50 simülasyon denemesinin ortalama bakım süresi, ortalama boş bekleme süresi, varyansı, standart sapması, toplam bakım süresinin maksimum ve minimum değerleri ve boş bekleme süresinin maksimum ve minimum değerleri Tablo 6.11’de gösterilmiştir.

Tablo 6.11. M.B.S. ve Artan bakım sürelerinin SPSS’de analizi.

	MEVCUT BAKIM SENARYOSU TBS	MEVCUT BAKIM SENARYOSU BBS	ARTAN BAKIM SENARYOSU TBS	ARTAN BAKIM SENARYOSU BBS
N Valid	50	50	50	50
Mean	74,4200	8,5000	69,5600	3,0600
Std. Error of Mean	2,00999	,93645	1,57043	,47330
Median	73,0000	7,5000	70,0000	2,0000
Mode	60,00(a)	3,00	56,00(a)	,00
Std. Deviation	14,21280	6,62170	11,10462	3,34670
Variance	202,004	43,847	123,313	11,200
Range	60,00	29,00	52,00	16,00
Minimum	48,00	,00	48,00	,00
Maximum	108,00	29,00	100,00	16,00
Sum	3721,00	425,00	3478,00	153,00



Şekil 6.35. SPSS’de bakım değerlerinin grafikte gösterimi.



Şekil 6.36. Artan ve Mevcut bakım senaryolarının kıyaslanması

Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun Tablo 6.9’da belirtilen 50 denemesi için toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri SPSS’in veri girme bölümüne kaydedilmesi Şekil 6.37’de gösterilmiştir.

MEVCUT_ARTAN - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

13: AZALAN_BAKIM_SENARYOSU 0

	MEVCUT_BAKIM_SENARYOSU TBS	MEVCUT_BAKIM_SENARYOSU BBS	AZALAN_BAKIM_SENARYOSU TBS	AZALAN_BAKIM_SENARYOSU BBS	var	var	var	var	var	var
20	60,00	,00	60,00	,00						
21	71,00	5,00	69,00	1,00						
22	72,00	5,00	70,00	,00						
23	56,00	3,00	52,00	3,00						
24	52,00	,00	48,00	,00						
25	77,00	21,00	66,00	,00						
26	64,00	6,00	60,00	,00						
27	56,00	,00	56,00	1,00						
28	83,00	17,00	74,00	3,00						
29	72,00	17,00	66,00	,00						
30	74,00	4,00	69,00	1,00						
31	62,00	11,00	61,00	5,00						
32	62,00	8,00	60,00	1,00						
33	56,00	,00	56,00	,00						
34	60,00	4,00	56,00	,00						
35	80,00	9,00	74,00	,00						
36	66,00	6,00	62,00	5,00						
37	71,00	8,00	68,00	,00						
38	55,00	3,00	52,00	3,00						
39	84,00	19,00	74,00	,00						
40	72,00	13,00	66,00	,00						
41	83,00	12,00	78,00	1,00						
42	76,00	17,00	66,00	,00						
43	69,00	7,00	60,00	,00						
44	74,00	11,00	62,00	,00						
45	66,00	8,00	60,00	3,00						
46	87,00	1,00	78,00	3,00						
47	73,00	12,00	64,00	1,00						
48	90,00	8,00	78,00	,00						
49	70,00	8,00	60,00	,00						
50	64,00	7,00	64,00	2,00						

Data View Variable View

SPSS Processor is ready

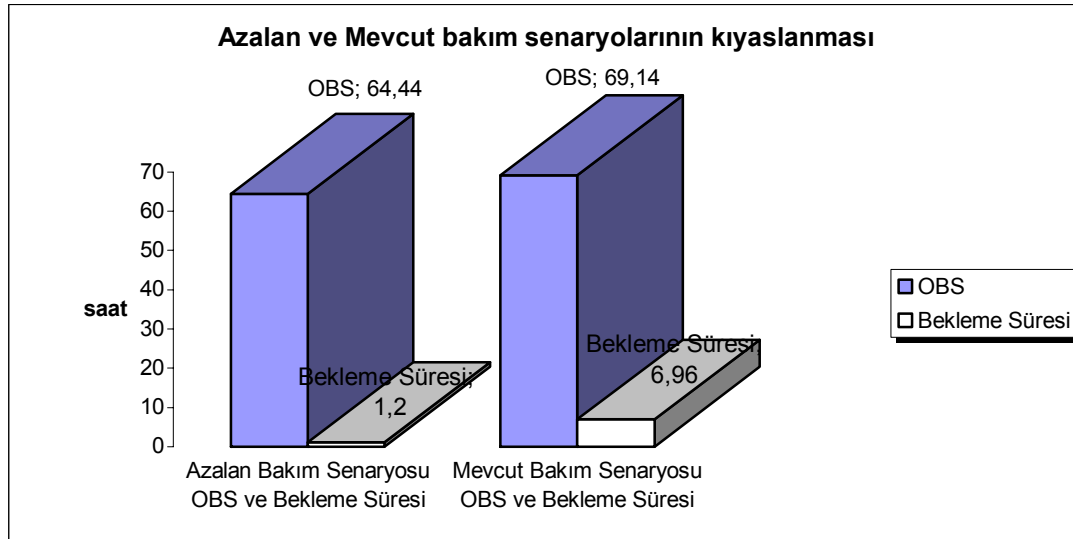
Başlat 9. Güzel Türkistan ... C:\Documents and... spssgrafikler - Mic... Microsoft Excel - t... MEVCUT_ARTAN - ... 11:12

Şekil 6.37. Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun bakım bilgilerinin SPSS’e girilmesi

Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun bakım bilgilerine göre 50 simülasyon denemesinin ortalama bakım süresi, ortalama boş bekleme süresi, varyansı, standart sapması, toplam bakım süresinin maksimum ve minimum değerleri ve boş bekleme süresinin maksimum ve minimum değerleri Tablo 6.12’de gösterilmiştir.

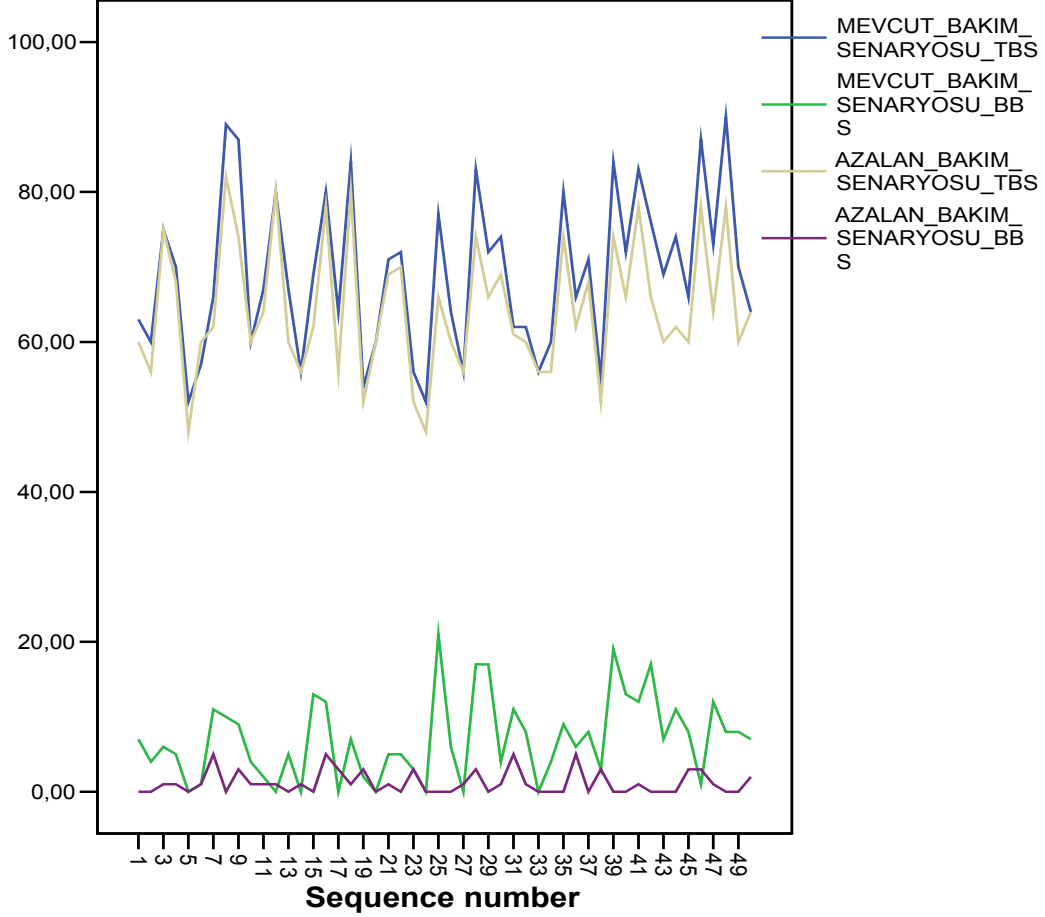
Tablo 6.12. M.B.S. ve Azalan bakım sürelerinin SPSS’de analizi.

		MEVCUT BAKIM SENARYOSU TBS	MEVCUT BAKIM SENARYOSU BBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU TBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU BBS
N	Valid	50	50	50	50
	Missing	0	0	0	0
Mean		69,1400	6,9600	64,4400	1,2000
Std. Error of Mean		1,47524	,77141	1,24184	,21946
Median		69,0000	6,5000	62,0000	1,0000
Mode		56,00(a)	,00	60,00	,00
Std. Deviation		10,43153	5,45467	8,78115	1,55183
Variance		108,817	29,753	77,109	2,408
Range		38,00	21,00	34,00	5,00
Minimum		52,00	,00	48,00	,00
Maximum		90,00	21,00	82,00	5,00
Sum		3457,00	348,00	3222,00	60,00



Şekil 6.38. Azalan ve Mevcut bakım senaryolarının kıyaslanması

Bu senaryoya göre 50 simülasyon denemesinin her bir değeri grafik halinde Şekil 6.39'da gösterilmiştir



Şekil 6.39. SPSS'de bakım değerlerinin grafikte gösterimi.

Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun Tablo 6.10'da belirtilen 50 denemesi için toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri SPSS'in veri girme bölümüne kaydedilmesi Şekil 6.40'da gösterilmiştir.

Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun bakım bilgilerine göre 50 simülasyon denemesinin ortalama bakım süresi, ortalama boş bekleme süresi, varyansı, standart sapması, toplam bakım süresinin maksimum ve minimum değerleri ve boş bekleme süresinin maksimum ve minimum değerleri Tablo 6.13'de gösterilmiştir.

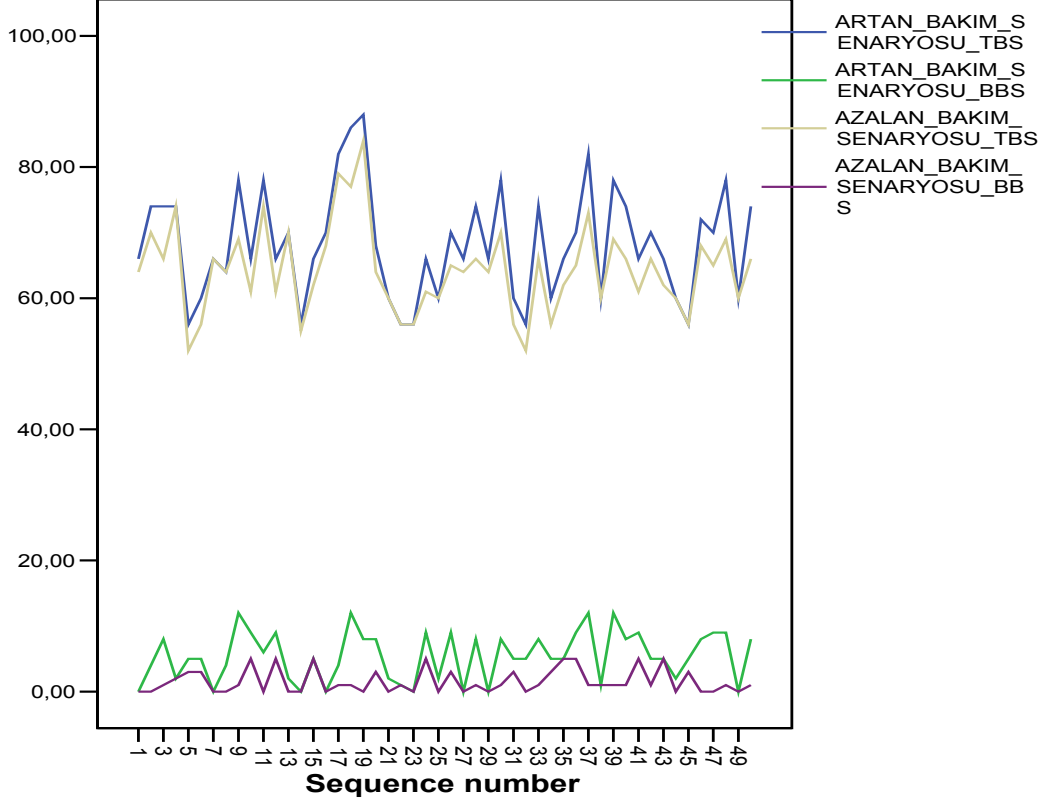
	ARTAN_BAKIM_SEN_ARYOSU_TBS	ARTAN_BAKIM_SEN_ARYOSU_BBS	AZALAN_BAKIM_SEN_ARYOSU_TBS	AZALAN_BAKIM_SEN_ARYOSU_BBS	var	var	var	var	var	var	var	var	var
20	68,00	8,00	64,00	3,00									
21	60,00	2,00	60,00	,00									
22	56,00	1,00	56,00	1,00									
23	56,00	,00	56,00	,00									
24	66,00	9,00	61,00	5,00									
25	60,00	2,00	60,00	,00									
26	70,00	9,00	65,00	3,00									
27	66,00	,00	64,00	,00									
28	74,00	8,00	66,00	1,00									
29	66,00	,00	64,00	,00									
30	78,00	8,00	70,00	1,00									
31	60,00	5,00	56,00	3,00									
32	56,00	5,00	52,00	,00									
33	74,00	8,00	66,00	1,00									
34	60,00	5,00	56,00	3,00									
35	66,00	5,00	62,00	5,00									
36	70,00	9,00	65,00	5,00									
37	82,00	12,00	73,00	1,00									
38	60,00	1,00	60,00	1,00									
39	78,00	12,00	69,00	1,00									
40	74,00	8,00	66,00	1,00									
41	66,00	9,00	61,00	5,00									
42	70,00	5,00	66,00	1,00									
43	66,00	5,00	62,00	5,00									
44	60,00	2,00	60,00	,00									
45	56,00	5,00	56,00	3,00									
46	72,00	8,00	68,00	,00									
47	70,00	9,00	65,00	,00									
48	78,00	9,00	69,00	1,00									
49	60,00	,00	60,00	,00									
50	74,00	8,00	66,00	1,00									

Şekil 6.40. Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun bakım bilgilerinin SPSS'e girilmesi

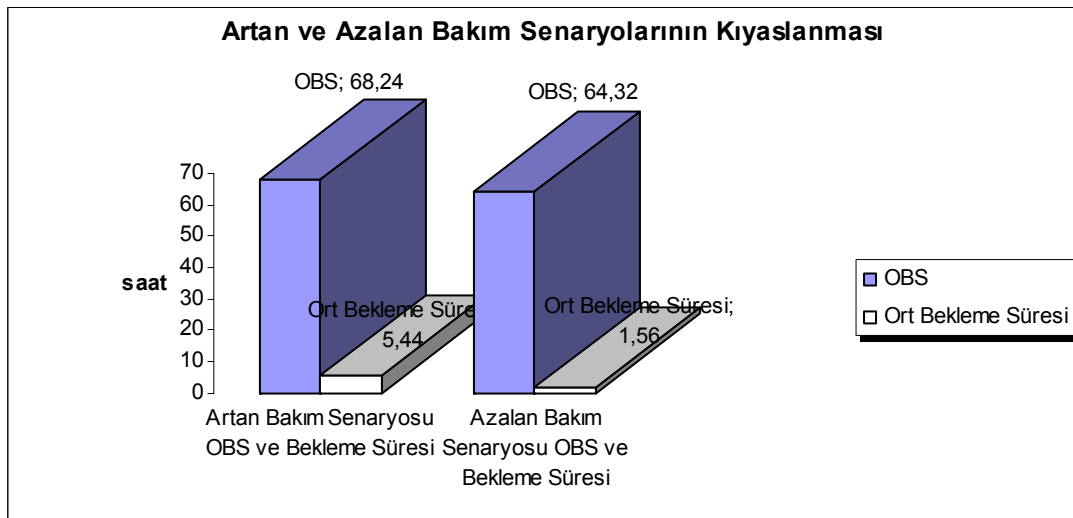
Tablo 6.13. Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun SPSS'de analizi.

		ARTAN BAKIM SENARYOSU TBS	ARTAN BAKIM SENARYOSU BBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU TBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU BBS
N	Valid	50	50	50	50
	Missing	0	0	0	0
Mean		68,2400	5,4400	64,3200	1,5600
Std. Error of Mean		1,16779	,52540	,94693	,25581
Median		66,0000	5,0000	64,0000	1,0000
Mode		66,00	5,00	66,00	,00
Std. Deviation		8,25749	3,71516	6,69584	1,80882
Variance		68,186	13,802	44,834	3,272
Range		32,00	12,00	32,00	5,00
Minimum		56,00	,00	52,00	,00
Maximum		88,00	12,00	84,00	5,00
Sum		3412,00	272,00	3216,00	78,00

Artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryolarına göre 50 simülasyon denemesinin her bir değeri grafik halinde Şekil 6.41’de gösterilmiştir



Şekil 6.41. SPSS’de bakım değerlerinin grafikte gösterimi.



Şekil 6.42. Artan ve azalan bakım senaryolarının kıyaslanması

6.5.1 SPSS’de uygun analiz türünün belirlenmesi

Uygun analiz türünün belirlenmesinde ilk kriter verilerin türüdür. Analiz yöntemleri verilerin özelliklerine göre iki temel gruba ayrılır. Bu gruplarda yer alan temel analiz yöntemleri aşağıdaki gibidir.

1. Parametrik veriler için kullanılan analiz yöntemleri;
Varyans Analizi, T-Testi, Pearson Korelasyonu.
2. Parametrik olmayan veriler için kullanılan analiz yöntemleri;
Ki-Kare Testleri, Spearman Korelasyonu.

Dolayısıyla uygun analiz türünü seçebilmek için öncelikle verilerin özelliklerinin belirlenmesi gerekecektir. Şimdi bunu nasıl yapacağımız görelim. İstatistiksel analiz yapmanın ilk şartı verilerin tesadüfi (yansız) olarak seçilmiş olmasıdır. Veriler ister parametrik ister parametrik olmayan özellikte olsun mutlaka tesadüfi olarak seçilmelidir.

Verilerin seçiminde (örneğin oluşturulması) yapılacak bir hata hangi analiz yöntemi kullanılırsa kullanılsın sonuçların yanlı ve değersiz olmasına yol açacaktır.

Bu şart sağlandıktan sonra ilk bakacağımız kriter örneklem büyüklüğü olacaktır. Eğer örneklem büyüklüğünüz 30’dan az ise parametrik olmayan yöntemleri kullanmanız gerek. Bu durumda veri setinizin diğer kriterleri karşılayıp karşılamadığını incelemenize gerek kalmaz. Eğer veri seti 30’dan büyük ise her bir faktörün normal dağılıma sahip olup olmadığını ve verilerin homojen dağılıp dağılmadığını incelemelisiniz.

Parametrik testlerde bu kadar ısrar etmemizin nedeni; hesaplamalarda veri setinin tümünü kullanmaları ve bu nedenle parametrik olmayan testlere göre daha üstün olmalarıdır. Ancak parametrik testlerin kullanılabilmesi için verilerin normal dağılması ve homojen olması gerekmektedir [19].

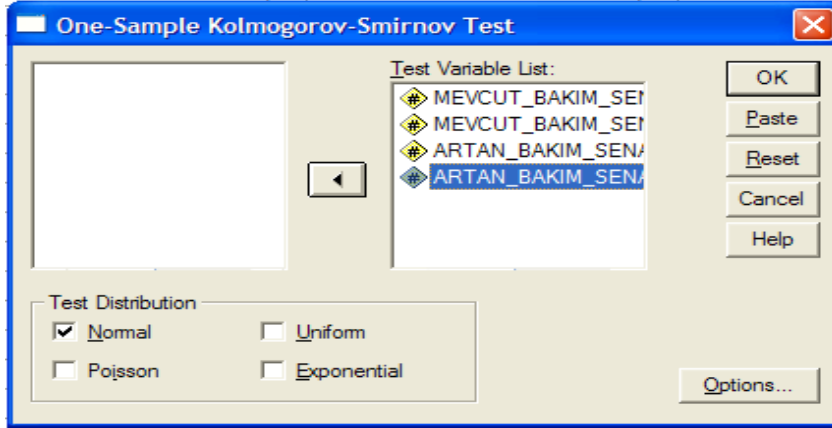
Mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosunun, mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun ve son olarak artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun 50 simülasyon örneği için toplam bakım sürelerinin ve istasyonların boş bekleme sürelerinin testlerde kullanılabilmesi için normal dağılıma uyup uymadığı ve homojen olup olmadığı SPSS’de incelendi.

Verilerin normal dağılıma uygunluğunu Tek Örneklem Kolmogorov Smirnov Testi kullanarak her bir karşılaştırma için tek tek belirlendi.

	MEVCUT_BAKIM_SE TBS	AKIM_SENARYOSU BBS	AZALAN_BAKIM_SENARYOSU TBS	AZALAN_BAKIM_SENARYOSU BBS
1		7,00	60,00	,00
2		4,00	56,00	,00
3		6,00	75,00	1,00
4		5,00	68,00	1,00
5			48,00	,00
6	66,00		60,00	1,00
7			62,00	5,00
8	89,00		82,00	,00
9	87,00		74,00	3,00
10	60,00		60,00	1,00
11	67,00		64,00	1,00
12	80,00		80,00	1,00
13	67,00	5,00	60,00	,00
14	56,00	,00	56,00	1,00
15	69,00	13,00	62,00	,00
16	80,00	12,00	78,00	5,00
17	64,00	,00	56,00	3,00
18	84,00	7,00	80,00	1,00
19	54,00	2,00	52,00	3,00
20	60,00	,00	60,00	,00
21	71,00	5,00	69,00	1,00
22	72,00	5,00	70,00	,00
23	56,00	3,00	52,00	3,00
24	52,00	,00	48,00	,00
25	77,00	21,00	66,00	,00

Şekil 6.43. SPSS’de normal dağılıma uygunluk testi.

ANALYZE » NONPARAMETRIC TESTS » SAMPLE K-S komutlarını Şekil 6.43’ de belirtildiği gibi çalıştırıldığında karşımıza Şekil 6.44’de ki iletişim kutusu çıkacaktır. Burada dağılımlarını test edilecek faktörleri aradaki oku kullanarak Test Variable List kutucuğuna gönderilecek. Daha sonra OK tuşunu tıklayarak her bir senaryo için tablolar gelecektir.



Şekil 6.44. One- sample kolmogorov- smirnov testi

Mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosunun karşılaştırılmasının normal dağılıma uygunluğu Tablo 6.14’de gösterilmiştir.

Tablo 6.14 Normal dağılım uygunluk tablosu.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		MEVCUT BAKIM SENARYOSU TBS	MEVCUT BAKIM SENARYOSU BBS	ARTAN BAKIM SENARYOSU TBS	ARTAN BAKIM SENARYOSU BBS
N		50	50	50	50
Normal Parameters(a,b)	Mean	74,4200	8,5000	69,5600	3,0600
	Std. Deviation	14,21280	6,62170	11,10462	3,34670
Most Extreme Differences	Absolute	,121	,181	,124	,184
	Positive	,121	,181	,124	,184
	Negative	-,075	-,103	-,094	-,180
Kolmogorov-Smirnov Z		,853	1,283	,878	1,303
Asymp. Sig. (2-tailed)		,461	,074	,424	,067

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Tablonun Assymp.Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0,05’den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının normal olduğunu göstermektedir. Eğer bu değerler 0,05’den küçük olsa idi parametrik olmayan test yöntemlerini kullanmak durumunda kalıncaktı.

İkinci karşılaştırma olan mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun verilerinin normal dağılıma uygunluğu Tablo 6.15’de gösterilmiştir.

Tablo 6.15 Normal dağılım uygunluk tablosu.

		MEVCUT BAKIM SENARYOSU TBS	MEVCUT BAKIM SENARYOSU BBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU TBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU BBS
N		50	50	50	50
Normal Parameters(a,b)	Mean	69,1400	6,9600	64,4400	1,2000
	Std. Deviation	10,43153	5,45467	8,78115	1,55183
Most Extreme Differences	Absolute	,071	,104	,129	,291
	Positive	,070	,104	,129	,291
	Negative	-,071	-,101	-,102	-,220
Kolmogorov-Smirnov Z		,503	,738	,915	2,060
Asymp. Sig. (2-tailed)		,962	,647	,372	,060

Tablonun Assymp.Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0,05’den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının normal olduğunu göstermektedir. Eğer bu değerler 0,05’den küçük olsa idi parametrik olmayan test yöntemlerini kullanmak durumunda kalıncaktı.

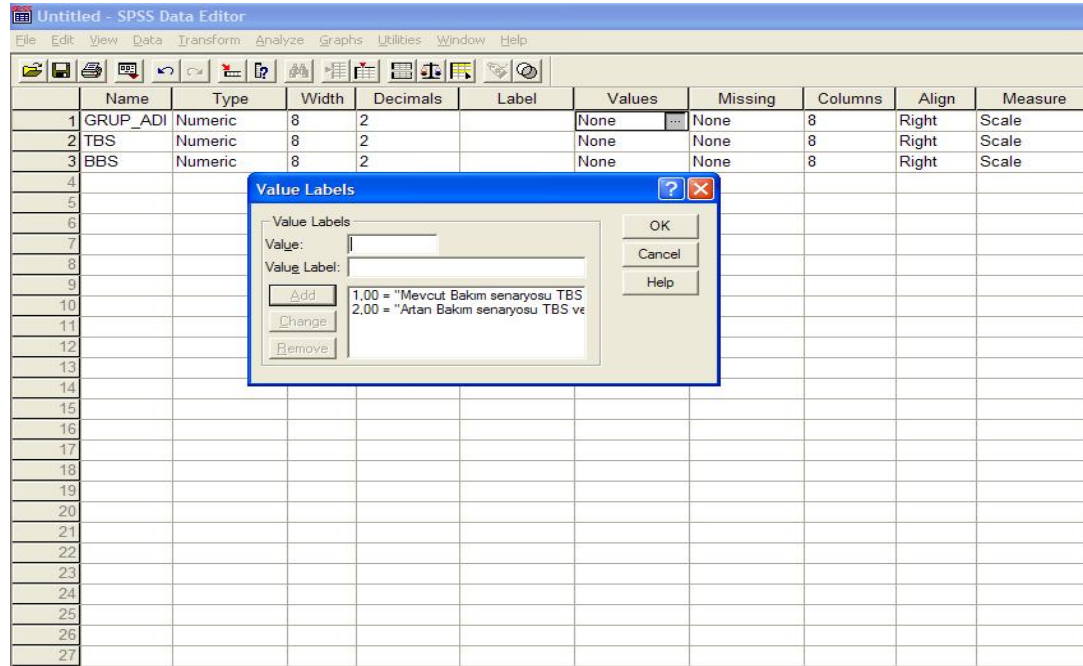
Son olarak da artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun verilerinin normal dağılıma uygunluğu Tablo 6.16’da gösterilmiştir.

Tablo 6.16 Normal dağılım uygunluk tablosu.

		ARTAN BAKIM SENARYOSU TBS	ARTAN BAKIM SENARYOSU BBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU TBS	AZALAN BAKIM SENARYOSU BBS
N		50	50	50	50
Normal Parameters(a,b)	Mean	68,2400	5,4400	64,3200	1,5600
	Std. Deviation	8,25749	3,71516	6,69584	1,80882
Most Extreme Differences	Absolute	,127	,175	,121	,302
	Positive	,127	,123	,121	,302
	Negative	-,093	-,175	-,079	-,194
Kolmogorov-Smirnov Z		,897	1,235	,855	2,132
Asymp. Sig. (2-tailed)		,396	,095	,457	,000

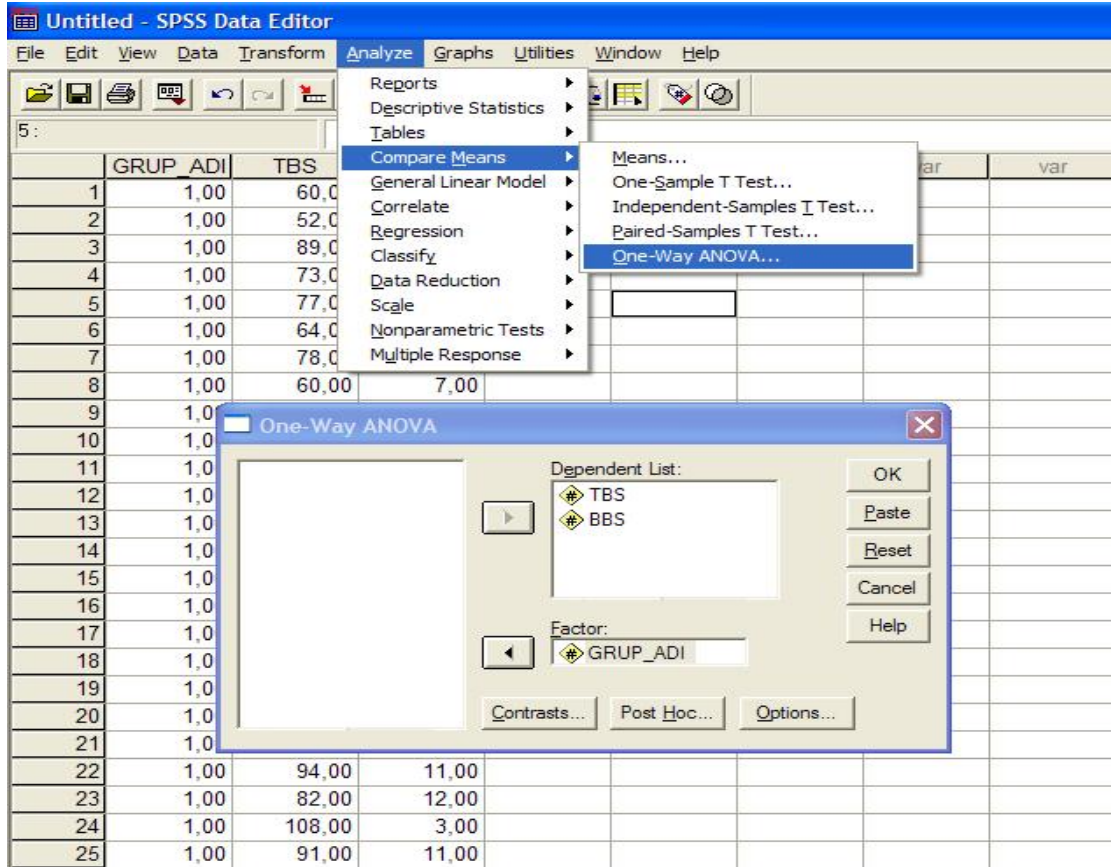
Tablonun Assymp.Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0,05'den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının normal olduğunu göstermektedir. Eğer bu değerler 0,05'den küçük olsa idi parametrik olmayan test yöntemlerini kullanmak durumunda kalıncaktı.

Şimdi aynı verilerin homojenliğini inceleyelim. Bunun için öncelikle aşağıdaki menüleri kullanmalıyız. İlk önce iki bakım politikası karşılaştırıldığı için bu değerleri gruptandırmalıyız. Mevcut bakım senaryosunun toplam bakım sürelerini ve boş bekleme sürelerini "1", artan bakım senaryosunun toplam bakım sürelerini ve boş bekleme sürelerine "2" olarak Şekil 6.45'de gösterildiği biçimde gruptandırılmıştır.



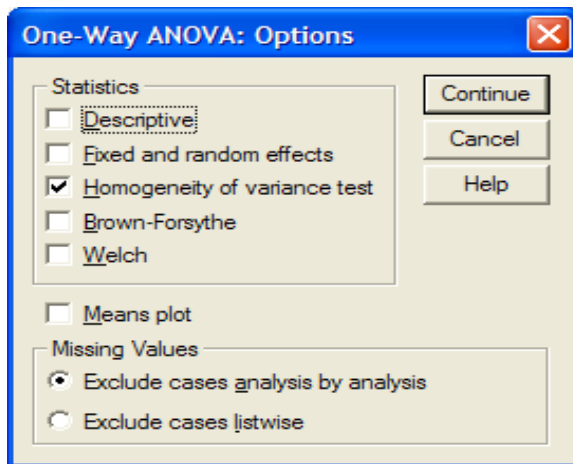
Şekil 6.45. SPSS'de verilerin gruptandırılması

ANALYZE » COMPARE MEANS » ONEWAY ANOVA komutlarını kullanarak SPSS'de verilerin homojenliğini test edilebilir. Bu komutlar sırasıyla çalıştırıldığında karşımıza Şekil 6.46'da ki iletişim kutusu çıkacaktır. Burada dağılımlarını test edeceğimiz faktörleri aradaki oku kullanarak Dependent List kutucuğuna gönderildi. Daha sonra bu değişkenleri gruptamada kullanacağınız değişkeni yine aradaki oku kullanarak factor satırına yerleştirildi.



Şekil 6.46. SPSS’de verilerin homojenliğinin analizi.

Daha sonra options tuşuna basarak, karşımıza çıkacak Şekil 6.47’de belirtilen iletişim kutusundan Homogeneity of variance test seçeneğini işaretlendi. Sırasıyla Continue ve OK tuşlarını tıklanıldı.



Şekil 6.47. SPSS iletişim kutusu.

Bu işlemler yapıldıktan sonra karşımıza Tablo 6.17’de görüldüğü gibi Test of Homogeneity of Variances tablosu gelecektir. Bu tablonun da Sig. (Anlamlılık) sütunundaki değerlerin 0,05’den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının homojen olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu veriler için parametrik test yöntemleri kullanılabilir.

Tablo 6.17. SPSS’de verilerin homojenliğinin test edilmesi.

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Mevcut ve Artan Bakım senaryoları TBS	2,606	1	98	,110
Mevcut ve Artan Bakım senaryoları BBS	23,073	1	98	,067

Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun toplam bakım süreleri ve boş bekleme sürelerinin homojen olup olmadığını, ilk senaryoda ki adımlar takip edilerek karşımıza Tablo 6.18. gelecektir. Bu tablonun da Sig. (Anlamlılık) sütunundaki değerlerin 0,05’den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının homojen olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu veriler için parametrik test yöntemleri kullanılabilir.

Tablo 6.18. SPSS’de verilerin homojenliğinin test edilmesi.

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Mevcut ve Azalan Bakım senaryoları TBS	1,679	1	98	,198
Mevcut ve Azalan Bakım senaryoları BBS	41,495	1	98	,072

Son olarak artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun verilerinin homojenliği Tablo 6.19’da belirtilmiştir. Sig. (Anlamlılık) sütunundaki değerlerin 0,05’den büyük olması incelenen faktörlerin dağılımlarının homojen olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu veriler için parametrik test yöntemleri kullanılabilir.

Tablo 6.19. SPSS’de verilerin homojenliğinin test edilmesi

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Artan ve Azalan Bakım senaryoları TBS	3,371	1	98	,069
Artan ve Azalan Bakım senaryoları BBS	27,634	1	98	,060

Mevcut bakım senaryosunun, artan bakım senaryosunun ve azalan bakım senaryosunun deneysel verilerinin normal dağılıma uyduğu, homojen olduğu ve örneklem büyüklüğünün 30'dan fazla olması nedeniyle parametrik verilerin analiz yöntemi kullanılır.

Parametrik verilerin analizinde T-Testi, Varyans Analizi, ve Pearson Korelasyonu kullanılır. T- testi, iki ortalamanın karşılaştırılmasında kullanılan analiz yöntemidir. Varyans analizi, karşılaştırılacak ortalama sayısı ikiden fazla olduğu örneklemelerde kullanılır. Pearson korelasyonu da analizi ise iki farklı değişken arasında ilişkinin yönü ve şiddeti hakkında bilgi vermesinde kullanılır. Tezde kullanılan verileri ve ikili karşılaştırmaları analiz etmek için uygun olan parametrik yöntem t-testidir.

6.5.2. T- Testi

T- Testi iki ortalamanın karşılaştırılmasında kullanılan bir analiz yöntemidir. T- testide kendi içinde 3 gruba ayrılır ;

1. One-Sample t testi (Tek örneklem t-testi) : Aynı örneklemin ölçülen ortalaması ile tahmin edilen ya da bilinen ortalaması karşılaştırmada kullanılan analiz yöntemidir.
2. Independent-sample t testi (Bağımsız örneklem t-testi) : İki ayrı grubun aynı niteliğe ait ölçümlerinin ortalamaları karşılaştırmada kullanılan analiz yöntemidir.
3. Paired-sample t testi (Eşleştirilmiş örneklem t- testi) : Bir grubun iki ayrı niteliğe ait ölçümlerinin ortalamaları karşılaştırmada kullanılan analiz yöntemidir.

T- Testi çeşitleri incelendiğinde, tez uygulamamıza uygun olan analiz yöntemi Paired-sample t-testi (Eşleştirilmiş örneklem t- testi) olarak belirlenmiştir [19].

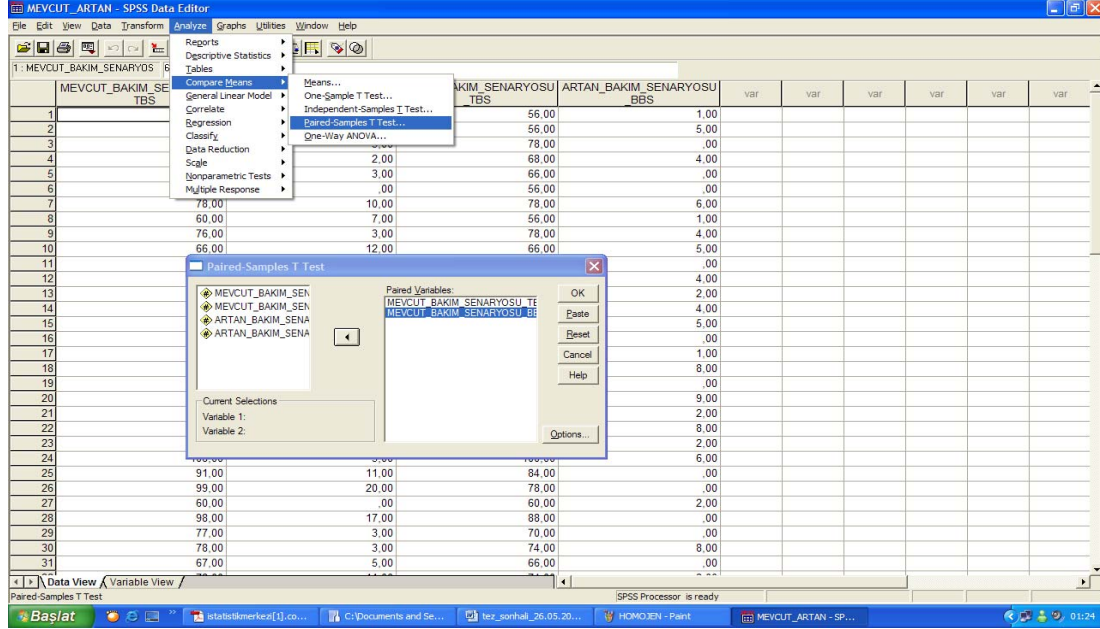
6.5.3. Paired-sample t-testi (Eşleştirilmiş örneklem t- testi)

Özellikle deneme modelli araştırmalarda deney öncesi ve sonrası değerlerin karşılaştırılmasına ihtiyaç duyulabilir. Bunun dışında belli bir grubun ilişkili fakat farklı iki konu ya da uygulamaya ilişkin görüşlerini karşılaştırmak istenilebilir [19].

Bu çalışmamızda 10 tramvay filosunun ilk önce mevcut bakım senaryosunda istasyonların toplam bakım süreleri ve istasyonların boş bekleme süreleri ile geliştirmiş olduğumuz artan bakım senaryosundan elde edilen istasyonların toplam bakım süreleri ve boş bekleme süreleri karşılaştırılmış, ikinci olarak mevcut bakım senaryosunda istasyonların toplam bakım süreleri ve istasyonların boş bekleme süreleri ile geliştirmiş olduğumuz diğer senaryo olan azalan bakım senaryosundan elde edilen istasyonların toplam bakım süreleri ve boş bekleme süreleri karşılaştırılmış, son olarak da geliştirmiş olduğumuz artan bakım senaryosunda istasyonların toplam bakım süreleri ve istasyonların boş bekleme süreleri ile geliştirmiş olduğumuz diğer senaryo olan azalan bakım senaryosundan elde edilen istasyonların toplam bakım süreleri ve boş bekleme süreleri karşılaştırılmıştır.

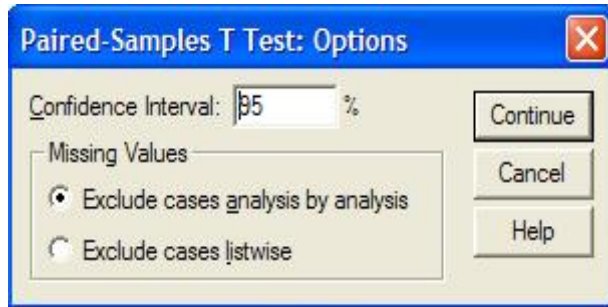
ANALYZE » COMPARE MEANS » PAIRED SAMPLE T TEST komutları sırası ile SPSS’de, ilk önce 50 simülasyon denemesi için mevcut bakım senaryosunda istasyonların toplam bakım süreleri ve boş bekleme süreleri ile geliştirmiş olduğumuz artan bakım senaryosundan elde edilen istasyonların toplam bakım süreleri ve boş bekleme süreleri bilgileri çalıştırıldığında karşımıza Şekil 6.48’de belirtilen Paired-Sample T Test iletişim penceresi gelecektir. Bu pencereden inceleyeceğiniz değişkenleri birbiri ardına tıklanacaktır. Tıkladığımız değişkenler Current Selections kutusunda görüntülenecektir. İlk önce variable 1 seçeneğine “Mevcut bakım senaryosu toplam bakım süreleri” atanacak. Diğer variable 2 seçeneğine “artan bakım senaryosu toplam bakım süreleri” atanacaktır. Daha sonra aradaki oku kullanarak bu değişkenleri Paired Variables kutusuna gönderilecektir. Diğer bir karşılaştırma verisi olan boş bekleme süreleri de current selections kutusunda görüntülenecektir. Burada da variable 1 seçeneğine “mevcut bakım senaryosu boş bekleme süreleri” atanacaktır ve variable 2 seçeneğine de “artan

bakım senaryosu boş bekleme süreleri” atanacaktır. Daha sonra aradaki oku kullanarak son değişkenleri de paired variables kutusunda görüntülenecektir.



Şekil 6.48. Paired-Sample T -Test iletişim penceresi

Paired-Sample T Test iletişim penceresinde bulunan “Options” tuşunu tıklayarak Şekil 6.49’da belirtilen options kutusu görüntülenir. Bu kutucukta Confidence Interval “güven aralığı” seçeneği % 95 olarak girilmiştir.



Şekil 6.49. Güven aralığı iletişim kutusu.

Güven aralığı girildikten sonra “Continue” tuşunu tıklayarak Paired-Sample T Test iletişim penceresine geri dönülür. Buradan son olarak “OK ” tuşuna tıklayarak Tablo 6.20. elde edilir.

Tablo 6.20. M.B.S. ile artan bakım senaryosunun karşılaştırılması

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	MEVCUT_BAKIM_ SENARYOSU_TBS - ARTAN_BAKIM_ SENARYOSU_TBS	4,86000	5,77472	,81667	3,21884	6,50116	5,951	49	,000
Pair 2	MEVCUT_BAKIM_ SENARYOSU_BBS - ARTAN_BAKIM_ SENARYOSU_BBS	5,44000	6,78582	,95966	3,51149	7,36851	5,669	49	,000

Paired Samples Test tablosunun Sig. (Anlamlılık) sütunundaki değerlerin 0,00 olduğu görülmektedir. Söz konusu değerler 0,05'den küçük olduğu için, mevcut bakım senaryosu toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri ile artan bakım senaryosunun toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri etkinliği arasındaki farkın $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu söyleyebiliriz.

İlk karşılaştırma için SPSS'de yapılan çalışmanın aynısı ikinci karşılaştırma içinde yapılmıştır. Şekil 6.48'de belirtilen Paired-Sample T Test iletişim penceresine ikinci karşılaştırmanın verileri girilmiştir ve Tablo 6.21'de belirtilen test sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 6.21. M.B.S. ile azalan bakım senaryosunun karşılaştırılması

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	MEVCUT_BAKIM_ SENARYOSU_TBS - AZALAN_BAKIM_ SENARYOSU_TBS	4,70000	3,82393	,54079	3,61325	5,78675	8,691	49	,000
Pair 2	MEVCUT_BAKIM_ SENARYOSU_BBS - AZALAN_BAKIM_ SENARYOSU_BBS	5,76000	5,70199	,80638	4,13951	7,38049	7,143	49	,000

Mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun karşılaştırılmasında, Paired Samples Test tablosunun Sig. (Anlamlılık) sütunundaki değerlerin ilkinin 0,00 olduğu görülmektedir. Söz konusu değer 0,05'den küçük olduğu için, mevcut bakım senaryosu toplam bakım süreleri (TBS) ile azalan bakım senaryosu toplam bakım süreleri (TBS) etkinliği arasındaki farkın $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu söyleyebiliriz. Aynı tablonun sig.(anlamlılık) sütunundaki ikinci değer 0,00 olduğu görülmektedir. Söz konusu değer 0,05'den küçük olduğu için, mevcut bakım senaryosu boş bekleme süreleri (BBS) ile azalan bakım senaryosu boş bekleme süreleri (BBS) etkinliği arasındaki farkın $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir.

Son olarak aynı işlemler artan bakım senaryosu verileri ile azalan bakım senaryolarının verileri için çalıştırılmış ve Tablo 6.22'de ki sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 6.22. Artan bakım senaryo ile azalan bakım senaryosunun karşılaştırılması

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	ARTAN_BAKIM_SENARYOSU_TBS - AZALAN_BAKIM_SENARYOSU_TBS	3,92000	3,01588	,42651	3,06290	4,77710	9,191	49	,000
Pair 2	ARTAN_BAKIM_SENARYOSU_BBS - AZALAN_BAKIM_SENARYOSU_BBS	3,88000	3,47962	,49209	2,89110	4,86890	7,885	49	,000

Son olarak artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosunun karşılaştırılmasında, Paired Samples Test tablosunun Sig. (Anlamlılık) sütunundaki değerlerin 0,00 olduğu görülmektedir. Söz konusu değerler 0,05'den küçük olduğu için, artan bakım senaryosu toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri ile azalan bakım senaryosu toplam bakım süreleri (TBS) ve boş bekleme süreleri etkinliği arasındaki farkın $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu söyleyebiliriz.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tramvay Bakım Optimizasyon projesinde mevcut bakım sisteminde bazı kabuller yapılarak, bu kabuller bilgisayar ortamına aktarılarak simülasyon modelini kurulmuştur. Simülasyon modelinde bakım merkezinin uyguladığı mevcut sisteme iki alternatif sistem geliştirildi ve bu yeni sistemlerin toplam bakım süresini, toplam bekleme zamanı ve ek mesai gibi kısıtları göz önüne alınarak Ulaşım A.Ş.'nin raylı toplu taşımada yürütmüş olduğu mevcut bakım sisteminin verileri ile karşılaştırıldı.

Tez çalışmasında özellikle şu konular gözlemlendi; her hafta bakım için gelen 10 tramvay filosunun bakım yapılacağı için tramvay bakım optimizasyon projesinde (TRBOP) mevcut bakım sistemi ele alındı ve incelendi. İlk olarak geliştirilen bakım politikası olan artan bakım senaryosu da (bakım için istasyonlara çağrılan 10 tramvay aracının bakım türlerine göre B2'den başlayarak B16'ya kadar sıralanarak ilk B2'den başlayarak istasyonlarda bakıma alınma senaryosu) TRBOP'da çalıştırıldı ve sonuçları analiz edildi. Son olarak geliştirilen ve ikinci geliştirilen bakım politikası olan azalan bakım senaryosu da (bakım için istasyonlara çağrılan 10 tramvay aracının bakım türlerine göre B16'dan başlayarak B2'ye kadar sıralanarak ilk B16'dan başlayarak araçların istasyonlarda bakıma alınma senaryosu) TRBOP'da çalıştırıldı ve bakım değerleri incelendi. Verilerin analizinde SPSS paket programı kullanıldı ve 3 senaryo ikili gruplar halinde birbirleri ile kıyaslandı.

Bu çalışmada amaçlanan, dünyanın en büyük metropollerinden biri olan İstanbul'un raylı toplu taşımada kullandığı tramvay filosuna en iyi bakım politikasını bulmak, müşteri memnuniyetini arttırmak ve bakım maliyetlerini de sistemi aksatmadan minimum seviyeye indirmektir.

İlk olarak mevcut bakım senaryosu ile artan bakım senaryosu karşılaştırıldı. TRBOP dan elde edilen toplam bakım süreleri ve istasyonların boş bekleme sürelerinden, 50 örneklem için SPSS paket programında veri analizi yapıldı. Ortalama bakım süreleri karşılaştırıldığında artan bakım senaryosunda 69,56 saat, mevcut bakım senaryosunda ise 74,42 saat bulunmaktadır. İstasyonların ortalama boş bekleme süreleri hesaplanırsa; artan bakım senaryosunda 3,06 saat, mevcut bakım senaryosunda ise 8,5 saat olarak hesaplanmıştır. 50 örneklem için sonuçlar incelendiği zaman artan bakım senaryosu Ulaşım A.Ş'nin şuan kullanmış olduğu mevcut bakım senaryosuna göre ortalama bakım süresinde yaklaşık % 6,5 , ortalama boş bekleme süresine göre % 64'lük bir iyileşme tespit edilmiştir. Bulunan bakım performans değerlerine SPSS'de Paired-Sample T –Testinde veri analizi yapılmış ve elde edilen sonuçların anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

İkinci olarak mevcut bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosu karşılaştırıldı. TRBOP'dan elde edilen bakım sonuçları 50 örneklem için SPSS paket programında test edildi. Haftalık ortalama bakım süreleri karşılaştırıldığında azalan bakım senaryosunda 64,44 saat, mevcut bakım senaryosunda ise 69,14 saat bulunmaktadır. İstasyonların ortalama boş bekleme süreleri hesaplanırsa; azalan bakım senaryosunda 1.2 saat, mevcut bakım senaryosunda ise 6,96 saat olarak hesaplanmıştır. Belli kabullerle yapılan benzetim modelinin 50 örneklem için tek tek çalışmasının sonuçları incelendiği zaman azalan bakım senaryosu Ulaşım A.Ş'nin şuan kullanmış olduğu mevcut bakım senaryosuna göre ortalama bakım süresinde yaklaşık % 7,5 , ortalama boş bekleme süresine göre % 83'lük bir iyileşme tespit edilmiştir. Bulunan bakım performans değerlerine ilk karşılaştırmada yapıldığı gibi SPSS'de veri analizi yapıldığında bakım sonuçlarının anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Son olarak da geliştirilen iki senaryo olan artan bakım senaryosu ile azalan bakım senaryosu bakım performansı karşılaştırıldı. TRBOP'dan elde edilen toplam bakım süreleri ve istasyonların boş bekleme sürelerinden, 50 örneklem için SPSS paket programında veri analizi yapıldı. Ortalama bakım süreleri karşılaştırıldığında azalan bakım senaryosunda 64,32 saat, artan bakım senaryosunda ise 68,24 saat bulunmaktadır. İstasyonların ortalama boş bekleme süreleri hesaplanırsa; azalan bakım senaryosunda 1,56 saat, artan bakım senaryosunda ise 5,44 saat olarak

hesaplanmıştır. Belli kabullerle yapılan benzetim modelinin 50 örneklem için tek tek çalışmasının sonuçları incelendiği zaman azalan bakım senaryosu diğer bir alternatifi olan artan bakım senaryosuna göre ortalama bakım süresinde yaklaşık % 5 , ortalama boş bekleme süresine göre % 70'lik bir iyileşme tespit edilmiştir. Bulunan bakım performans değerlerine SPSS'de Paired-Sample T –Testinde veri analizi yapılmış ve elde edilen sonuçların anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Her bir karşılaştırma için TRBOP'dan alınan 50 örneklemde her çalışmasında monte carlo simülasyon metoduna göre farklı bakım türleriyle senaryolar çalıştığı için karşılaştırmalarda bulunan ortalama bakım süreleri ve ortalama boş bekleme sürelerinde farklılıklar çıkmıştır. Burada bakım performansını incelerken her bir karşılaştırmadaki yüzdelik değişimlerini göz önüne almak doğru tespitte bulunmamıza yardımcı olur.

Genel olarak üç senaryonun bakım performansları incelendiği takdirde ise tramvay araçlarının bakıma alınmasında azalan bakım senaryosunun diğer iki senaryoya göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmektedir. Diğer geliştirdiğimiz senaryo olan artan bakım senaryosu ise mevcut bakım senaryosundan daha iyi sonuç verdiği fakat azalan bakım politikası göre ise daha kötü sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Ulaşım A.Ş'de bakım atölyesinin haftalık çalışma süresi 45 saat/hafta olarak belirlenmiştir fakat her hafta 55 tramvay aracından 10 tanesi bakıma alınmaktadır. Genel olarak da 10 tramvay aracının bakım süresi 45 saati geçmektedir. Süre, normal haftalık atölye çalışma süresini aştığı takdirde ek mesai uygulanmaktadır. Ek mesaide Ulaşım A.Ş'ye ek maliyet getirmektedir. Geliştirmiş olduğumuz azalan bakım ve artan bakım senaryolarında bakım atölyesinin çalışma süresi mevcut uygulanmakta olan bakım sistemine göre daha iyi performans göstermekte ve haftalık toplam bakım süresini azaltmaktadır. Geliştirmiş olduğumuz yeni bakım politikalarında bakım atölyesinde bulunan istasyonların performansı da artmaktadır buna paralel olarak da bakım ekiplerinin boş bekleme süreleri de azalmaktadır.

Bu çalışmada kullanmış olduğumuz tramvay bakım optimizasyon projesi (TRBOP) yazılımı, ilerleyen yıllarda İstanbul'un raylı toplu taşıma ağı geliştikçe ve buna

paralel olarak raylı toplu taşıma araç sayısı arttıkça artan bakım kapasitesini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. TRBOP’da günümüzde iki adet olan bakım istasyon sayısını arttırabilir ve bu arttırılmış bakım istasyonlarında kapasitesini ölçebiliriz. Günümüzde haftalık 10 tramvay filosuna bakabilen istasyonlarda, ileride bakıma alınacak filo sayısı arttığı takdirde yine çizelgeleyebiliriz. Gerek bakım istasyonlarının gerekse araç sayısının arttırımı söz konusu olduğu takdirde TRBOP’da bakım verilerini rahatlıkla çalıştırabiliriz ve çizelgeleyebiliriz.

Ulaşım A.Ş’de şuan uygulanan mevcut bakım sistemine bu çalışmada alternatif olarak geliştirilen iki senaryoya, yapay zeka teknikleri uygulanarak daha çok alternatif çözümler üretilebilir. Gerek genetik algoritmalar, gerek bulanık mantık ve gerekse yapay sinir ağları kullanılarak filoların bakım çizelgelenmesi oluşturulur ve en optimal bakım sürelerine ulaşılabilir. Mevcut bakım sisteminde bakım performans değerlerinin düşük olmasında en önemli sebep herhangi bir kısıt olmaksızın araçların kilometrelerine bakılarak bir hafta önceden hangi araçların bakımı geldiyse sırayla bakıma alınmalarıdır. Burada yapay zeka tekniklerini kullanılarak bir hafta önceden belirlenen bakımı yapılacak olan araçlar kendi aralarında çizelgeleme yapılabilir. Ulaşım A.Ş’de yapılan gözlemlerde bakımı yapılacak araçlar bekleme hattında bakım istasyonlarına geldikleri sıraya göre alınmaktadır fakat istenildiği takdirde firmaya herhangi bir maliyet etkisi olmaksızın 10 araç istenilen sırada bakıma alınabilir. Bundan dolayı bakım sisteminde gerekli kabuller yapılarak geliştirilen yapay zeka teknikleri ile binlerce çözüm kümesi bulunabilir. Bulunan çözüm kümesinde en iyi bakım sonucunu verecek olan bakım çizelgelemesi bakım merkezine bildirilerek araçlar bulunan en iyi sıralamaya göre istasyonlara alınabilir.

Bu çalışmada geliştirdiğimiz iki senaryoya genetik algoritmalar, yapay sinir ağları ve bulanık mantık metotları ile binlerce çözüm bulunabilir. Bu çözümlerde en iyisi kalır diğerleri ise elenir. Günümüzde kullanılan yapay zeka teknikleri ile birçok problem bilgisayar ortamında çözüme kavuşmaktadır. Bu şekilde kısa zamanda düşük maliyette en uygun çözümlere ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ŞİMŞİR, F., “Bakım Malzemeleri İhtiyaç Planlaması Sistemi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sf. 4- 8, 2002
- [2] KAÇAMAK, H., “Filo Bakım Malzemeleri İhtiyaç Planlaması Sistemi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sf. 9-10, 19- 20, 2004
- [3] GALLİMORE, K., PENLESKY, R., “A Framework for developing Maintenance Strategies” Production and Anventory Management Journal Vol: 29, No: 1, 1988
- [4] VURAL, M., “Filo Sistemlerinde Bakım Yönetimi”, Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tasarım Projesi, sf. 22, 2005
- [5] ÖZCAN, E., “Zaman Çizelgeleme Problemi İçin Standart Bir Veri Formatı Çalışması: TTML” (International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN) 2003
- [6] BİROĞUL, S., GÜVENÇ, U., “Genetik Algoritma İle Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi” , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Bölümü, sf. 11- 19, 2000, Ankara
- [7] ZÜLFİKAR, M., “Genetik Algoritmalarla Öncelik Kısıtları Altında Paralel Makine Çizelgeleme”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sf. 3-11, 2005
- [8] ŞİMŞİR, F., “Kaynak Kısıtlı Bakım Çizelgeleme Problemine Bir Hibrid Çözüm Yaklaşımı”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, sf. 32- 44, 2008, Sakarya
- [9] ÇIRAK, H. U., “Matlab Simulink’ de Enerji Simülasyonu”, Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, sf. 39- 51, 2006, Sakarya
- [10] ULAM, S., METROPOLİS, N., ”The Monte Carlo Method,” j.amer.Stat.assoc.
- [11] HOWERTON, R. J., CULLEN, D. E., HAİGHT, R.C, “The LLL Evaluated Nuclear Data Library (ENDL): Evaluation techniques, Reaction Index, and Descriptions of individual reactions,” Lawrence Livermore National Laboraty report UCRL-50400, Vol.15, Part A,September 1975

- [12] ŞARER., B, HANÇERLİOĞULLARI, A., ÜBEYLİ., “Nükleer hesaplamalarda monte carlo yönteminin kullanımı”, Kastamonu Eğitim Dergisi, Cilt: 14, No:2 Kayseri, Ekim 2003
- [13] LEİMDORTER, A.”On the Transformation of the Transport Equation for Solving Deep Penetration Problems by the monte carlo metod,” Trans. Chalmers Univ. Technol., Gothenbers.No: 286, 1964
- [14] LUX,. I., KOBLİNGER, L.”Monte Carlo Particle Transport Methods,Neutron and Photon Calculations”, CRC Pres,boc raton., 1991
- [15] HANÇERLİOĞULLARI, A., ” Monte Carlo Simülasyon Metodu Ve MCNP Kod Sistemi”, 8.ulusal nükleer bilimler ve teknolojiler kongresi, Kastamonu, Ekim 2006
- [16] HAMMERSLEY J.M., ”Monte Carlo Methods for solving multivariable problems.” Ann.Newyork Acad.Sci.86, 844-874
- [17] BAZ, F., ” Bakım Planlaması Problemlerinin Çözümünde Bir Uzman Sistem Yaklaşımı” , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995, İstanbul
- [18] ÖZLEMİŞ, S., ATALAY, B.,“ Genetik Algoritmayla Filo Bakım Çizelgeleme“, Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, sf. 50-58, 2007, Sakarya
- [19] <http://www.istatistikmerkezi.com/makale,spss-eslestirilmis-orneklemt-8211;-testi,117.html>, Nisan 2009

EKLER

Ek A : 40.000 ve 80.000 km Mekanik Bakım Formları

MEVCUT ARIZALAR	ARAÇ NO	BAKIM TARİHİ	ARAÇ KM
BAKIM YAPILACAK ÜNİTE	SİCİL NO	BAKIM YAPILACAK ÜNİTE	SİCİL NO
SÜRÜCÜ KABİN KLİMASI (A)/(B)		YAĞLAMA ÇUBUKLARI (Bodenden 2mm)	
Filtrelere Hava Tutulması		MOTORLU BOJİ (A)/(B) Genel	
Eveparatör fanı rulman kontrolü		birincil süspansiyon	
Evep. Ve kond. Peteklerine hava		ikincil süspansiyon	
YOLCU KABİN KLİMASI (A)/(B)		yükseklik lim. stoper	
Evep. Ve kond. Peteklerine hava		cer kolu	
Eveparatör fanı rulman kontrolü		koruma tahtası	
Filtrelere Hava Tutulması		TAŞIYICI BOJİ Genel	
KUPLAJ (A)/(B) Genel		birincil süspansiyon	
Kuplaj kafası		ikincil süspansiyon	
yay kontrolü		ARAÇ GÖVDESİ	
Deformasyon silindiri		Dış metal kaplama	
kelepçe		tampon ve kitleme mandalı	
topraklama kablosu		dış işaretler-numaralar	
MOTOR KAPLİNİ (A-1)		etek hasar ve piston yağ sızıntı kontrolü	
MOTOR KAPLİNİ (A-2)		alt levhalar	
MOTOR KAPLİNİ (B-1)		yolcu camları	
MOTOR KAPLİNİ (B-2)		çatı etiketleri	
FREN MEKANİZMASI(A)/(B)		dış ekipmanlar	
Ana Hidrolik Ünite		infrared sensörü	
Yardımcı Hidrolik Ünite		YOLCU BÖLÜMÜ	
Fren Diski (Çatlaklar min.10mm uzakta)		Barlar / Tutamaklar	
FREN MEKANİZMASI(C)		Yolcu koltukları	
Hidrolik Ünite		iç işaretler/ varış yeri tabelası	
Fren Diski (Çatlaklar min.30mm uzakta)		MAKİNİST KABİNİ	
Diafram Akümülatörü		Makinist koltukları	
Yardımcı Hidrolik Ünite		makinist kabin camları	
TEKERLER		güneşlikler fonksiyon kontrolü	
RAY FRENİ Genel		yangın tüpü	
Çapakların Temizlenmesi		KÖRÜK BÖLGESİ (Üst Temizlik)	
Sürtünme Levhaları		YOLCU KAPILARI(Dış aralığı 0,5mm)	
Ray Fren Ayarı		SL-Clipslerinin Kontrolü	
Yağlama		sıkışma kontrolü	
Sürtünme Levha Kalınlığı	mm	KUMLAMA	
A Boji Sağ Sürtünme Levha Kalınlığı			
A Boji Sol Sürtünme Levha Kalınlığı		Kontroller	Araç Servisi
B Boji Sağ Sürtünme Levha Kalınlığı		Ekip Başı	
B Boji Sol Sürtünme Levha Kalınlığı		Kontrol Mühendisi	

MEVCUT ARIZALAR	ARAÇ NO	BAKIM TARİHİ	ARAÇ KM
BAKIM YAPILACAK ÜNİTE	SİCİL NO	BAKIM YAPILACAK ÜNİTE	SİCİL NO
SÜRÜCÜ KABİN KLİMASI (A)/(B)		YAĞLAMA ÇUBUKLARI (Bodenden 2mm)	
Filtrelere Hava Tutulması		MOTORLU BOJİ (A)/(B) Genel	
Eveparatör fanı rulman kontrolü		birincil süspansiyon	
Evep. Ve kond. Peteklerine hava		ikincil süspansiyon	
YOLCU KABİN KLİMASI (A)/(B)		yükseklik lim. stoper	
Evep. Ve kond. Peteklerine hava		hollowshaft ölçü ayarı 43mm (A boji)	
Eveparatör fanı rulman kontrolü		hollowshaft ölçü ayarı 43mm (B boji)	
Filtrelere Hava Tutulması		cer kolu	
KUPLAJ (A)/(B) Genel		koruma tahtası	
Kuplaj kafası		TAŞIYICI BOJİ Genel	
yay kontrolü		birincil süspansiyon	
Deformasyon silindiri		ikincil süspansiyon	
kelepeçe		ARAÇ GÖVDESİ	
topraklama kablosu		kaldırma kolları kontrol ve yağlama	
pas giderme/ boyama		araç çatısı yaprak makinasıyla temizle	
paralellik ayarı-cıvata kontrol(torklama)		drenaj boruları kontrol+ızgara temizlik	
muff kuplaj ve genel yağlama		Dış metal kaplama	
MOTOR KAPLINİ (A-1)		tampon ve kitleme mandalı	
MOTOR KAPLINİ (A-2)		dış işaretler-numaralar	
MOTOR KAPLINİ (B-1)		etek hasar ve piston yağ sızıntı kontrolü	
MOTOR KAPLINİ (B-2)		alt levhalar	
FREN MEKANİZMASI(A)/(B)		yolcu camları	
Ana Hidrolik Ünite		çatı etiketleri	
Yardımcı Hidrolik Ünite		dış ekipmanlar	
fren balataları/manual çöz temizle		infrared sensörü	
Fren Diski (Çatlaklar min.10mm uzakta)		çatı mafsalı elle+gözle kontrol	
yağ değişimi ve durulama		YOLCU BÖLÜMÜ	
FREN MEKANİZMASI(C)		Barlar / Tutamaklar	
Hidrolik Ünite		Yolcu koltukları	
Fren Diski (Çatlaklar min.30mm uzakta)		iç işaretler/ varış yeri tabelası	
yağ değişimi ve durulama		MAKİNİST KABİNİ	
Diafram Akümülatörü		Makinist koltukları	
Yardımcı Hidrolik Ünite		makiniist kabin camları	
TEKERLER		güneşlikler fonksiyon kontrolü	
RAY FRENİ Genel		yangın tüpü	
Çapakların Temizlenmesi		KÖRÜK BÖLGESİ (Üst Temizlik)	
Sürtünme Levhaları		YOLCU KAPILARI(Dış aralığı 0,5mm)	
Ray Fren Ayarı		SL-Clipslerinin Kontrolü	
Yağlama		sıkışma kontrolü	
Sürtünme Levha Kalınlığı	mm	baskı makara +kanat pozisyonu kontrol(tüm kapıları)	
A Boji Sağ Sürtünme Levha Kalınlığı		KUMLAMA	
A Boji Sol Sürtünme Levha Kalınlığı		Kontroller	Araç Servisi
B Boji Sağ Sürtünme Levha Kalınlığı		Ekip Başı	
B Boji Sol Sürtünme Levha Kalınlığı		Kontrol Mühendisi	

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Uğur ÇIRAK, 25.11.1982'de Antalya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Korkuteli ilçesinde tamamladı. 2001 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine devam ederken 2003 yılında aynı üniversite bünyesinde Çift Anadal Programından (ÇAP) yararlanarak Makine Mühendisliği lisans öğrenimine de başladı. 2006 yılı bahar döneminde Endüstri Mühendisliğini lisans öğrenimini, 2007 yılı güz döneminde de Makine Mühendisliği öğrenimini başarıyla tamamladı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen MKE Kayaş Kapsül Fabrikasında Üretim Mühendisi olarak çalışmaktadır.