



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**

***FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ***

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AKSARAY-HAVALİMANI METRO İŞLETMESİ  
SİNYALİZASYON SİSTEMİNİN İŞLETME-GÜVENLİK  
PERFORMANSININ STOKASTİK YÖNTEMLERLE  
BELİRLENMESİ**

**Elektronik Müh. Nevzat BAYRAK  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Prof.Dr. Sıddık YARMAN**

**Temmuz,2011**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**

***FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ***

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AKSARAY-HAVALİMANI METRO İŞLETMESİ  
SİNYALİZASYON SİSTEMİNİN İŞLETME-GÜVENLİK  
PERFORMANSININ STOKASTİK YÖNTEMLERLE  
BELİRLENMESİ**

**Elektronik Müh. Nevzat BAYRAK  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Prof.Dr. Sıddık YARMAN**

**Temmuz,2011**

**İSTANBUL**

Bu alışma 05.09.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof.Dr Sıddık Yarman (Danışman)

İstanbul Üniversitesi

Prof.Dr Aydın AKAN

İstanbul Üniversitesi

Prof.Dr.İlhan Kocaarslan

İstanbul Üniversitesi

Prof.Dr.Mukden UĞUR

İstanbul Üniversitesi

Prof.Dr.Ahmet SERTBAŐ  
İstanbul Üniversitesi

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Prof.Dr.Sıddık Binboğa YARMAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamı hazırlarken desteklerini esirgemeyen İstanbul Ulaşım AŞ çalışanları ve bu çalışma süresince karşılaştığım zorluklar karşısında bana cesaret veren, destekleri ile çalışmamı tamamlamamda büyük pay sahibi olan sevgili aileme çok teşekkür ederim.

**Temmuz,2011**

**Nevzat BAYRAK**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	3
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	v
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	viii
SUMMARY .....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 AKSARAY HAVALİMANI METRO HATTI GENEL YAPISI .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 SİNYALİZASYON SİSTEMİ .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1 Ray Devreleri .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2 Sinyaller .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3 Tren Haberleşme Ekipmanları (Balise - RF anten) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4 Araç üstü ATC (Automatic Train Control –Otomatik tren kontrol) sistemi .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.5 Demiryolu Makasları .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.6 Sinyal Kabinleri .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.7 Anlaşman (Interlocking) sistemi .....</b>	<b>19</b>
2.2.7.1 Mekanik Anlaşman Sistemi (Ground-frame Interlocking); .....	20
2.2.7.2 Röleli Anlaşman Sistemi (Route Relay Interlocking System - RRI); .....	20
2.2.7.3 Elektronik Anlaşman Sistemi (Solid State Interlocking System - SSI); .....	20
<b>2.3 SİNYALİZASYON SİSTEMİNE İLİŞKİN MUHTEMEL ARIZA NOKTALARI VE İŞLETMEYE ETKİLERİ ...</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1 Merkezi Anlaşman Sisteminde Oluşabilecek Muhtemel Arızalar Ve İşletmeye Etkileri .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Saha Ekipmanlarında Oluşabilecek Muhtemel Arızalar Ve İşletmeye Etkileri .....</b>	<b>25</b>
2.3.2.1 Sinyal Lamba Ve Ray Devresi Arızaları .....	25
2.3.2.2 Otomatik kontrollü Makas Arızaları .....	26
2.3.2.3 Sinyal Saha Kabin Arızaları .....	27
2.3.2.4 Tren Haberleşme Ekipman Arızaları.....	27
2.3.2.5 Araç Üstü Ekipman Arızaları.....	28
<b>2.4 SİNYALİZASYON SİSTEMİ EMNİYET KRİTERLERİ .....</b>	<b>28</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 ULAŞTIRMA SİSTEMİ ÇALIŞMA FONKSİYONU.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 ULAŞTIRMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA BAŞARISININ ÖLÇÜLMESİ .....</b>	<b>31</b>

3.3	LINEER PERFORMANS (ÇALIŞMA-VEYA UTILITY) FONKSİYONU .....	31
3.4	GENELLEŞTİRİLMİŞ LINEER PERFORMANS FONKSİYONU .....	32
3.5	NONLINEER PERFORMANS FONKSİYONU .....	33
3.6	SKOR NORMALİZASYONU VE ÇALIŞMA BAŞARISININ VERİMLİLİK HESABI İLE ÖLÇÜLMESİ .....	35
3.7	BAŞARILI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESABI .....	37
3.8	ÇALIŞMA DİLİMLERİ .....	41
3.8.1	1. Derece Başarılı Çalışma Dilimi .....	41
3.8.2	2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi .....	42
3.8.3	3. Derece Başarılı Çalışma Dilimi .....	42
3.8.4	Riskli Çalışma Dilimi .....	42
3.8.5	Kazalı Çalışma Dilimi .....	42
3.9	AĞIRLIK KATSAYILARININ SEÇİMİ .....	42
3.10	ALGORİTMA: BAŞARILI ÇALIŞMA OLASILIĞININ HESABI .....	44
4.	<b>BULGULAR</b> .....	<b>47</b>
4.1	BAŞARILI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESAPLARI .....	53
4.1.1	Yapısal organizasyon ve Yönetim kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı $P(X_1)$ .....	53
4.1.2	Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar kümesine dönük çalışma olasılığı .....	68
4.1.3	Sinyalizasyon Saha Donanımları $P(X_3)$ .....	79
4.1.4	Araç Hareket Ortamı Kümesine Dönük Çalışma Olasılığının Hesabı $P(X_4)$ .....	93
4.1.5	Metro Sinyalizasyon Sistemi İçin Sistem Bazında "Başarılı Çalışma Olasılığı" Hesabı .....	95
4.2	METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ DEĞİŞKENLERİNİN ÇALIŞMA PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ .....	99
4.2.1	Metro Sinyalizasyon Sisteminin Çalışma Performansının Yükseltilmesi .....	99
4.2.1.1	Metro Hattı İşletmesi Yapısal Organizasyonu Ve Hattın Yönetim Kümesinin .....	99
	İyileştirilmesi .....	99
4.2.1.2	Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar Kümesinin İyileştirilmesi .....	100
4.2.1.3	Sinyalizasyon Saha Donanımları Kümesinin İyileştirilmesi .....	103
4.2.1.4	Araç Hareket Ortamı Kümesinin İyileştirilmesi .....	107
4.2.1.5	Metro Sinyalizasyon Sistemi İçin Sistem Bazında Geliştirilmiş "Başarılı Çalışma .....	108
	Olasılığı" Hesabı .....	108
4.2.2	Metro Sinyalizasyon Sisteminin Değişkenlere Bağlı Çalışma Performans Kayıp Analizi .....	109
5.	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>114</b>
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>117</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>118</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 İstanbul Ulaşım AŞ işletmedeki hatların güzergahları .....	4
Şekil 2.2 Aksaray-Havalimanı Sinyalizasyon ekipmanları .....	5
Şekil 2.3 İzole Cebire .....	5
Şekil 2.4 İzole Cebireli Ray Devresi Blok şeması.....	6
Şekil 2.5 Sinyal ve Ray Blokları.....	6
Şekil 2.6 Operatör mimik ekranı.....	7
Şekil 2.7 Sinyal Lambası .....	8
Şekil 2.8 Balise-RF antenler .....	9
Şekil 2.9 Dinamik Sürüş Eğrisi .....	9
Şekil 2.10 Frenleme Eğrileri.....	12
Şekil 2.11 Araç üstü ATC Kontrol Paneli .....	12
Şekil 2.12 Otomatik Kontrollü Makas.....	13
Şekil 2.13 Otomatik Kontrollü Makas Kontak, Redüktör ve Dişlileri.....	14
Şekil 2.14 Makas Kolları .....	14
Şekil 2.15 Mimik Ekranında S makas görünümü .....	16
Şekil 2.16 Çapraz Makas Tipleri .....	16
Şekil 2.17 Mimik Ekranında Çapraz makas görünümü .....	16
Şekil 2.18 Tek Taraflı Çapraz Makas .....	17
Şekil 2.19 Tek Taraflı Çapraz Makas .....	17
Şekil 2.20 Makas Isıtıcıları .....	18
Şekil 2.21 Sinyalizasyon Saha Kabinetleri .....	18
Şekil 2.22 Kabinet Haberleşme Döngüsü .....	19
Şekil 2.23 Kumanda Merkezi Operatör Kontrol ve İzleme Mimik ekranları .....	20
Şekil 2.24 Genel Sinyalizasyon Data Akış Diyagramı .....	21
Şekil 2.25 Aksaray-Havalimanı Hattı 1989 yılında kurulan Sinyalizasyon Merkez Bilgisayarı	22
Şekil 2.26 Yenilenen Sinyalizasyon Merkez Bilgisayarı.....	22
Şekil 2.27 Mimik Ekrandaki arıza gösterimi .....	25
Şekil 2.28 Mimik Ekrandaki Makasın Kontrol Dışı kalması Durumu .....	26
Şekil 2.29 Kabinetin Kontrol Dışı Kalması Durumu.....	27
Şekil 4.1 ABB araçları fren sistemi arıza raporu .....	69

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b> Sinyal 1 – Sinyal 2 arası rota alternatifleri.....	10
<b>Tablo 2.2</b> SIL seviyelerine göre THR .....	29
<b>Tablo 3.1:</b> Alt Sistem $X_k=\{X_{k1},X_{k2},X_{k3},X_{k4}\}$ 'ın Performans Skorları ve bunlara karşı düşen ağırlık katsayıları $\{w_{kj}; j=1,2,3,4\}$ .....	43
<b>Tablo 3.2</b> Örneğe ilişkin olasılık hesapları.....	44
<b>Tablo 3.3</b> Bulanık Mantık yaklaşımı ile belirlenen Başarılı Çalışma Dilimleri.....	46
<b>Tablo 4.1</b> IUAS için $P(X_{11})$ hesabı .....	56
<b>Tablo 4.2</b> IUAS için $P(X_{12})$ hesabı.....	58
<b>Tablo 4.3</b> IUAS için $P(X_{13})$ Hesabı.....	60
<b>Tablo 4.4</b> IUAS için $P(X_{14})$ hesabı.....	62
<b>Tablo 4.5</b> IUAS için $P(X_{15})$ Hesabı.....	63
<b>Tablo 4.6</b> IUAS için $P(X_{16})$ Hesabı.....	65
<b>Tablo 4.7</b> IUAS için $P(X_{17})$ hesabı.....	66
<b>Tablo 4.8</b> IUAS için $P(X_{18})$ hesabı .....	67
<b>Tablo 4.9</b> IUAS için $P(X_{21})$ hesabı.....	71
<b>Tablo 4.10</b> IUAS için $P(X_{22})$ Hesabı.....	75
<b>Tablo 4.11</b> IUAS için $P(X_{23})$ Hesabı.....	78
<b>Tablo 4.12</b> IUAS için $P(X_{24})$ Hesabı .....	78
<b>Tablo 4.13</b> IUAS için $P(X_{31})$ Hesabı.....	83
<b>Tablo 4.14</b> IUAS için $P(X_{32})$ Hesabı.....	87
<b>Tablo 4.15</b> IUAS için $P(X_{33})$ hesabı .....	89
<b>Tablo 4.16</b> IUAS için $P(X_{34})$ hesabı .....	91
<b>Tablo 4.17</b> IUAS için $P(X_{35})$ Hesabı .....	92
<b>Tablo 4.18</b> IUAS için $P(X_4)$ Hesabı .....	95
<b>Tablo 4.19</b> IUAS için Sistem Bazında, Başarılı Çalışma Olasılığı Hesabı .....	96
<b>Tablo 4.20</b> Geliştirilmiş Araç Hareket Ortamı .....	98
<b>Tablo 4.21</b> Geliştirilmiş Sistem Performansı .....	98
<b>Tablo 4.22</b> Geliştirilmiş $P(X_{22})$ Hesabı .....	101
<b>Tablo 4.23</b> Geliştirilmiş $P(X_{23})$ Hesabı .....	102



<b>Tablo 4.24</b> Geliştirilmiş $P(X_2)$ Hesabı.....	103
<b>Tablo 4.25</b> Geliştirilmiş $P(X_{31})$ Hesabı .....	104
<b>Tablo 4.26</b> Geliştirilmiş $P(X_{33})$ hesabı .....	105
<b>Tablo 4.27</b> Geliştirilmiş $P(X_{33})$ hesabı.....	106
<b>Tablo 4.28</b> Geliştirilmiş $P(X_3)$ Hesabı.....	106
<b>Tablo 4.29</b> Geliştirilmiş Araç Hareket Ortamı .....	108
<b>Tablo 4.30</b> Geliştirilmiş Sistem Başarılı Çalışma Olasılığı Hesabı .....	109
<b>Tablo 4.31</b> IUAS için $P(X_{22})$ Hesabı.....	110
<b>Tablo 4.32</b> IUAS için $P(X_{23})$ Hesabı.....	111
<b>Tablo 4.33</b> IUAS için $P(X_2)$ Hesabı .....	111
<b>Tablo 4.34</b> IUAS için $P(X_{34})$ Hesabı.....	112
<b>Tablo 4.35</b> IUAS için $P(X_3)$ Hesabı .....	112
<b>Tablo 4.36</b> IUAS için Sistem Bazında, Başarılı Çalışma Olasılığı Hesabı .....	113
<b>Tablo 5.1</b> IUAS İşletme Planlama Sefer Gerçekleşme Verileri .....	114
<b>Tablo 5.2</b> Bulanık Mantık yaklaşımı ile belirlenen Başarılı Çalışma Dilimleri.....	116

## SEMBOL LİSTESİ

<b>F</b>	: Toplam Başarı Skoru
<b>W</b>	: Alt Blokların Etkinlik Katsayısı
<b>W<sub>max</sub></b>	: Etkinlik Katsayılar Toplamı
<b>X<sub>n</sub></b>	: Alt Blok Çalışma Performans Skoru
<b>F<sub>D</sub></b>	: Doğrudan Performans Fonksiyonu
<b>F<sub>L</sub></b>	: Dolaylı Performans Fonksiyonu
<b>η</b>	: Sistem Çalışma Olasılığı
<b>PO</b>	: Başarılı Çalışma Olasılığı
<b>PF</b>	: Düzensiz Veya Başarısız Çalışma Olasılığı
<b>P(X<sub>n</sub>)</b>	: Alt Sistem Başarılı Çalışma Olasılığı
<b>α</b>	: Tasarım Parametresi
<b>P<sub>L</sub></b>	: Dolaylı Ana Unsur Kümesinin Başarılı Çalışma Olasılığı
<b>P<sub>D</sub></b>	: Doğrudan Ana Unsur Kümesinin Başarılı Çalışma Olasılığı
<b>X<sub>L</sub></b>	: Dolaylı Unsur Kümesi
<b>X<sub>D</sub></b>	: Doğrudan Unsur Kümesi
<b>PS</b>	: Performans Skoru
<b>W<sub>kj</sub></b>	: Ağırlık Katsayısı
<b>λ</b>	: Ağırlık Yüzdesi
<b>β</b>	: Alt-Etkinlik Katsayısı
<b>IEC</b>	: International Electrotechnical Commission

## ÖZET

### **AKSARAY-HAVALİMANI METRO İŞLETMESİ SİNYALİZASYON SİSTEMİNİN İŞLETME-GÜVENLİK PERFORMANSININ STOKASTİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

Bu tezde, Aksaray-Havalimanı metro hattının işletme ve güvenlik performansının stokastik yöntemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Performans değerleri tanımlı çalışma fonksiyonunun bağımsız değişkenleri ile örneklemeler üzerinde hesaplanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde, Aksaray-Havalimanı metro hattı işletmesi genel yapısı ile elektronik sinyal sistemi özetlenmiştir, sisteme ilişkin muhtemel arıza noktaları belirlenmiş ve işletmenin geneline olan etkisi değerlendirilmiştir. Genel güvenlik standartları ele alınmıştır.

İkinci bölümde, Elektronik sinyal sistemine ilişkin performans-güvenlik ölçme akışları tanımlanmıştır. Riskli çalışma koşulları içeren “çalışma fonksiyonları” tanımlanmış ve bu fonksiyona ilişkin random (rastgele) değişkenler ile bu random değişkenlere ilişkin ağırlık katsayılar belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde; önceki bölümlerde matematik ifadelerle belirlenen işletme-güvenlik fonksiyonlarının skorları ölçüm yöntemleri ile tespit edilmiştir. Buna göre sistemin işletme performansı ve olası riskleri detaylandırılmıştır.

Sonuç olarak ; kullanılacak modele göre her değişkene ilişkin ağırlık katsayıları şartlı olasılık hesabı yöntemiyle ölçümlere bağlı olarak belirlenmiştir. Geliştirilen değişik senaryolarla en kötü durum analizi yapılmış ve buna ilişkin güvenlik tedbirleri tezin son bölümünde tespit edilmiştir. Böylece sistemin güvenlik ve işletme performansının en üst düzeye çıkartılması hedeflenmiştir.

## **SUMMARY**

### **AKSARAY-AIRPORT SUBWAY LINE SIGNALLING SYSTEM SAFETY AND OPERATING PERFORMANCE DETERMINATION BY STOCHASTIC METHODS**

In this thesis, Aksaray-Airport metro line's operation and safety performance was aimed to determine with stochastic methods. Performance values were calculated on the samples with independent variables of the defined utility function.

In the first part of this study, overall structure of the Aksaray-Airport metro line's operation and electronic signal system was summarized. The possible failures of the system were determined and evaluated to impact to general operation. General safety standards were discussed.

In the second section, performance-safety measuring flows of the electronic signal system was defined. Utility functions, including the defined hazardous operating conditions, were generated. Then the variables, the weight coefficients and other system parameters were created.

In the third section, the operating-safety functions scores, defined by mathematical expressions in the previous sections, was determined by measurement methods. Accordingly system's operating performance and possible risks were investigated.

As a result, according to the model used, the weight coefficients of each variable was determined based on the measurements by the conditional probability calculation method. Safety precautions was determined in the last part of the thesis depending on worst-case analysis which was carried out in different scenarios. Thus, safety and operating performance of the system is aimed to maximization.

## 1. GİRİŞ

Gelişmiş ya da gelişmekte olan tüm ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de en önemli sorunların başında trafik gelmektedir. Nüfus, sürücü ve motorlu araç sayısındaki hızlı artışın yanı sıra, sanayileşme ile birlikte ortaya çıkan kolay ulaşım ihtiyacı, kaynak yetersizliği ve plansız uygulamalar sonucu, motorlu taşıtların faydadan çok zarar vermesine neden olmaktadır. Yük ve yolcu taşımacılığının büyük bir kısmının şehir içi ve şehirlerarası karayollarımız üzerinden yapılmasına rağmen, trafik alt yapısında yeterli gelişme sağlanamaması nedeniyle trafik, ülkemizin en öncelikli çözülmesi gereken sorunların başında yer almıştır. Bu sorun, toplumumuzun belirli bir kısmını değil, bireyleri ve kurumlarıyla birlikte tamamını ilgilendiren çok boyutlu bir nitelik taşımaktadır. Trafikte zaman kaybetmek iş gücü kaybına yol açtığı gibi insanların psikolojisini de etkilemektedir. Her gün kendisini hatırlatan ve hiç istisnasız herkesi hedef alan trafik kazaları, meydana geliş sebepleriyle kaza tanımlamasının ötesine geçmektedir.

Demiryolu taşımacılığı, tüm bu risk ve problemlerin minimum seviyeye indirilmesi amacıyla uygulanabilecek en doğru yöntem olmaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan şehirlerde yatırım maliyetleri ve sağladığı fayda göz önüne alındığında demiryolu taşımacılığı; güvenli, ucuz, konforlu ve süratli olması, trafik yoğunluğu oluşturmaması, aynı anda birçok insanı güvenli bir şekilde taşınması, enerji tasarrufu sağlaması, turizm faaliyetlerinin güçlendirmesi ve çevre dostu olması nedeniyle tüm dünyada ağırlıklı olarak tercih edilmektedir. [1]

Demiryolu teknolojilerinin gelişiminin başlangıç hedefi kazaları önlemektir. Bu amaca bağlı olarak sinyalizasyon sistemleri geliştirilmiştir. Demiryolu trafiğinin en az masrafla, planlı, hızlı ve emniyetli bir şekilde işletilebilmesi için iyi bir sinyalizasyon sisteminin kullanılması gerekir. Hat kapasitesinin yüksek verim altında işletilmesi durumunda bile işletme güvenliğinin sağlanması şarttır. Demiryolu sinyalizasyon sistemi, trenlerin hat içerisinde minimum sefer aralıkları ile emniyetli bir şekilde

seyretmeleri, olası hata durumunda korumanın sağlanması, uzaktan yönetim gibi işletme gereklerini insan faktörünü en aza indirmek ve kazaların önlenmesi amacı ile kullanılmaktadır.

Sinyalizasyon sistemleri birçok bileşenden oluşur; Ray devreleri, sinyal lambaları ve makas sistemleri temel bileşenlerdir. Bu bileşenler üzerinden sistemin “tehlikeli durum” tanımlamasını sistemin yaşam süresinin başlangıç anından itibaren yapılmalıdır. Aynı zamanda risk analizlerinin de yapılması gerekir. Bu analizler sonucunda teknik sistemlerin oluşturabilecekleri risk değerleri bulunur. Bu değerler ışığında sistemin sahip olması gereken emniyet seviyesi bütünlüğü belirlenir. Bir sistemin emniyet bütünlüğünden bahsetmek için sistemin bütün parçalarının aynı emniyet seviyesine ve kriterlerine sahip olması gerekmektedir. Sistemde olacak bir “zayıf halka” sistemin emniyet bütünlüğünü zedeleyeceğinden o sistem, güvenli bir sistem olmaktan çıkacak ve sistemin güvenliği “zayıf halka”nın emniyet seviyesine eşdeğer olacaktır. Bu durumda tüm sistemin emniyet bütünlüğünden bahsetmek mümkün olmayacaktır. Demiryolu sistemlerinin sahip olması gereken emniyet kriterleri Uluslararası Standartlarda; CENELEC, IEC ile belirtilmiş ve ülkemizde de bu standartlar kabul edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Aksaray-Havalimanı metro işletmesi trafiğini kontrol eden elektronik sinyal sisteminin blok şeması çıkarılmış ve buna bağlı olarak çalışma fonksiyonu tanımlanarak bağımsız değişkenler üzerinden işletme-güvenlik performansı stokastik yöntemlerle ölçülmüştür.

## **2. GENEL KISIMLAR**

### **2.1 AKSARAY HAVALİMANI METRO HATTI GENEL YAPISI**

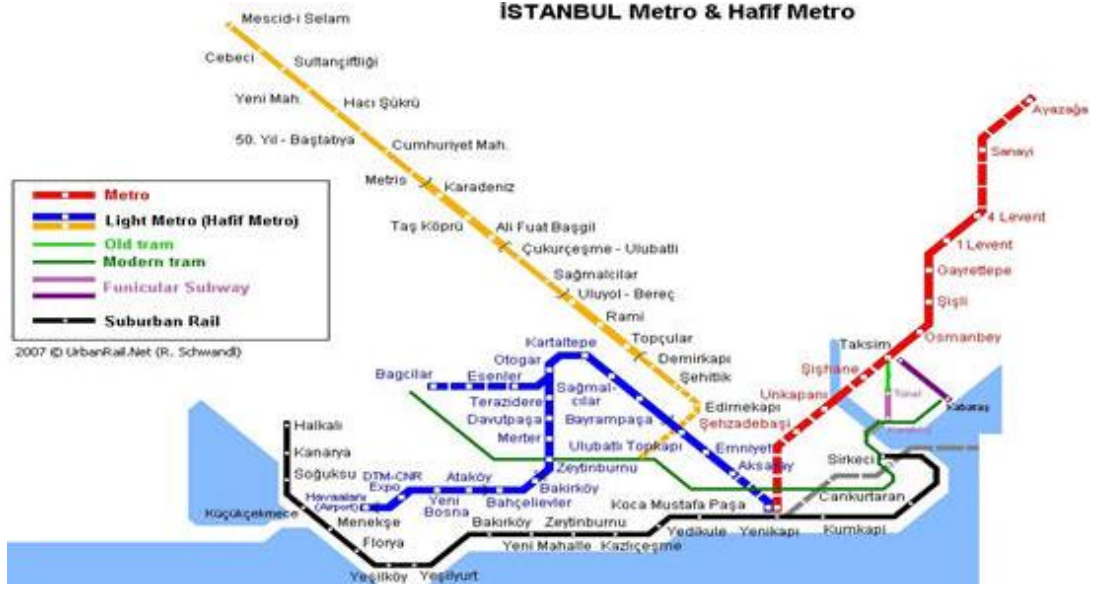
1989 yılından bu güne yolcu taşımaya devam eden Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattı, hizmet verdiği bölge ve güzergâh üzerinde günlük 220.000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir.

Birinci etabında Aksaray - Kartaltepe arasında hizmet veren Metro, 18 Aralık 1989 tarihinde Esenler, 31 Ocak 1994 tarihinde Otogar ve daha sonrasında ikinci etabı oluşturan Terazidere, Davutpaşa, Merter, Zeytinburnu ve Bakırköy istasyonlarının da açılması ile potansiyelini arttırmıştır.

Zaman içinde yapılan yatırımlarla yeni istasyonlar sisteme dâhil edilmiş, son olarak 13 Aralık 2002 tarihinde Dünya Ticaret Merkezi ve Havalimanı istasyonları açılmıştır.

Toplam 19,6 km uzunluğundaki hat 18 istasyon ihtiva etmektedir. 6 tanesi ortak kullanılan Orta Peron, 11 tanesi İkili Peron, Otogar' da bulunan istasyon ise 3 güzergâhın geçiş yapabildiği İkili Ortak Peron şeklinde inşa edilmiştir. Hat boyunca 6 adet tünel, 3 adet viyadük bulunmaktadır. Tüneller; Aksaray, Emniyet-Fatih, Topkapı-Ulubatlı, Bakırköy-İncirli, Bahçelievler ve Havalimanıdır. Viyadükler ise Davutpaşa, Merter ve DTM istasyon bölgelerindedir. Hattın geri kalanı yer üstündedir.. Filodaki toplam 105 vagon ile 32 dakikalık seferler ile günlük toplam 416 sefer düzenlenmektedir. Hattın en sık işletildiği saatlerde sefer sıklığı 5 dakikaya inmektedir.

İstasyon sırası; Aksaray, Emniyet, Ulubatlı, Bayrampaşa, Sağmalcılar, Kocatepe, Otogar, Esenler, Terazidere, Davutpaşa, Merter, Zeytinburnu, Bakırköy-İncirli, Bahçelievler, Ataköy-Şirinevler, Yenibosna, DTM - İstanbul Fuar Merkezi, Atatürk Havalimanı şeklindedir.



Şekil 2.1 İstanbul Ulaşım AŞ işletmedeki hatların güzergahları

## 2.2 SİNYALİZASYON SİSTEMİ

Sinyalizasyon sistemi genel olarak, demiryolu hattının yüksek verimde işletme güvenliğinin sağlanması amacıyla yapılan çalışmaların bütünüdür.

Demiryolu sinyalizasyon sisteminin sağladığı işletme kolaylığının yanında trenlerin emniyetli bir şekilde seyretmeleri, hata durumunda koruma, demiryolunun az masraf ile maksimum kapasitede kullanılması, minimum sefer aralığının azaltılması, hat içerisindeki sefer sayısının artırılması gibi birçok avantajı sayılabilir.

Sinyalizasyon sistemi genel olarak iki temel öğeden oluşur.

Saha Ekipmanları;

- Ray devreleri
- Sinyal lambaları
- Tren Haberleşme ekipmanları (Balise – RF anten)
- Araç üstü ATC (Automatic Train Control –Otomatik Tren Kontrol) sistemi
- Demiryolu makasları
- Sinyal kabinleri



Merkezi ekipmanlar ve yazılımlar;

- Anlaşman (Interlocking) sistemi
- Dispetcher Hat Kontrol Ekranları



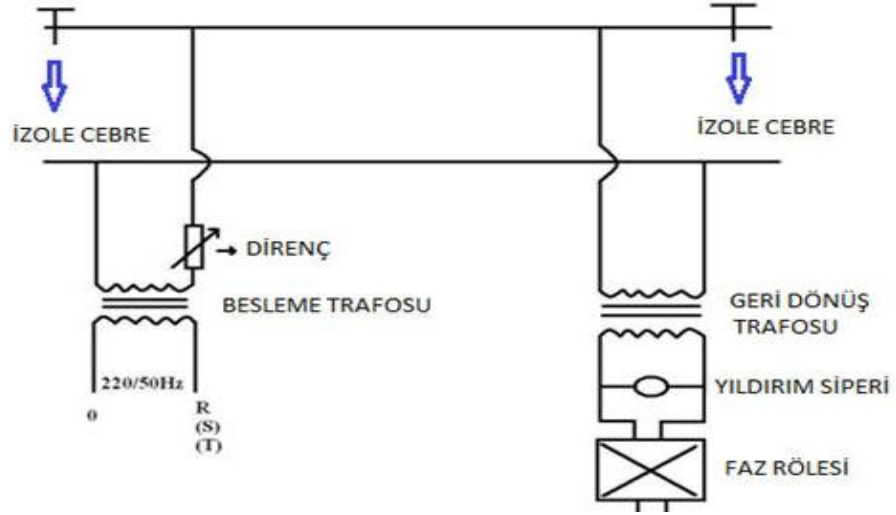
Şekil 2.2 Aksaray-Havalimanı Sinyalizasyon ekipmanları

### 2.2.1 Ray Devreleri

Ray hattı izole cebre ile belli bölgelere ayrıldıktan sonra bu bölgelerin herhangi bir tarafından 2,5 V AC (teorik olarak) besleme gerilimi verilir ve ray bölgesinin diğer tarafından da gerilim kontrol edilir. İzole edilmiş bölgeden uygulanan gerilime göre bir geri dönüş gerilimi alınıyorsa ray bölgesinde tren yoktur.



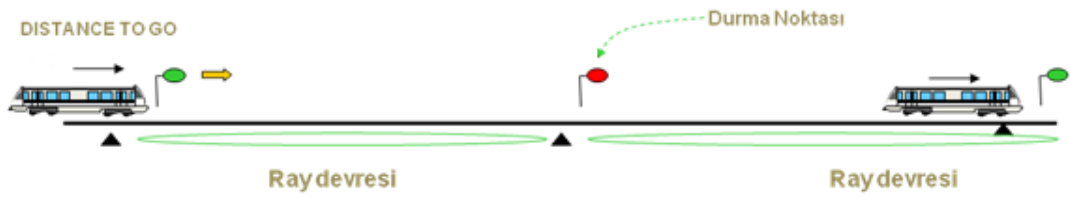
Şekil 2.3 İzole Cebire



Şekil 2.4 İzole Cebireli Ray Devresi Blok şeması

Tren bir ray bölgesine girince iki ray arasını kısa devre eder. Bu durumda rayaya uygulanan gerilimden geriye dönüş olmayacağı için bölgede trenin varlığı anlaşılır. Burada tren algılama sistemi ters mantıkla çalışır. Yani gerilim varsa tren yok, gerilim yoksa tren var kabul edilir. Bunun sebebi ise hata durumunda emniyetli çalışma mecburiyetidir. Herhangi bir sebepten (kablo kopması, kısa devre, donanım arızası vs) dolayı uygulanan gerilim geri alınamazsa o bölgede trenin olduğu varsayılır ve sistemde arıza olsa dahi en emniyetli duruma geçeceği için kazalar önlenir. [2]

Temel mantık olarak izole cebireli ray devreleri sabit bloklu ray devresidir. Bir başka deyişle trenlere sabit bloklu sürüş menzilleri tanzim edilebilmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 2.5 Sinyal ve Ray Blokları

Aksaray-Havalimanı hattı boyunca uzunlukları 100 m ile 1400 m arasında değişen 110 adet ray devresi bulunmaktadır. Sabit blok ifadesinden de anlaşılacağı gibi ray devrelerinin uzunlukları trenlerin birbirine yaklaşabileceği minimum mesafeleri belirlemektedir. Dolayısı ile sefer aralıklarını ray devrelerinin uzunluklarına göre planlanması gerekmektedir. Sefer aralıkları hattın en uzun ray devresi üzerinden hesaplanarak belirlenmektedir. Hat boyunca tesis edilen ray bloklarından en uzununu 1400 m olduğu için hat 150 sn minimum sefer aralığını desteklemektedir.

### 2.2.2 Sinyaller

Trenlerin ilerlemesini sağlayan ışıklı, renkli bildirim veren sistemlerdir. Makinist yol boyunca (gidiş yönüne göre sağda) bulunan sinyallerin verdiği renk bildirimlerine göre hareket eder. Genel olarak sinyal lambaları makas bölgelerinde, istasyon girişlerinde ve çıkışlarında bulunmaktadır. Sinyal lambaları kırmızı ve yeşil olmak üzere 2 renklidir. Her sinyal lambası gidiş yönüne göre kendinden sonraki ray bloğunun durumu hakkında bilgi yansıtmaktadır. Sinyal lambasının yeşil yanması; hattın bu noktadan sonrası için trenin geçişine müsait olduğunu göstermektedir. Kırmızı yanması hattın bu noktadan sonrasının geçişe müsait olmadığı ya blokta trenin olması ya da hat boyunca bir arızanın olduğuna işaret etmektedir. Güvenlik seviyesi standartları gereği sinyal lambaları üzerinde kontrol kartları vardır. Kontrol kartları sinyal ampullerinin çektiği akımları ölçerek ampul arızalarını takip eder. Herhangi bir ampulün arızalı olması durumunda sistem hata oluşturarak trenlere geçiş yetkisi vermemektedir. Yeşil lamba arızalı olması durumunda sistem daima kırmızı lambayı yakar ve sonraki ray devresinin meşgul olmaması durumunda bile trene geçiş yetkisi vermez. Kırmızı lamba arızasında ise lambalardan hiçbiri yanmaz ve sistem yine trene geçiş izini vermez ve kırmızı yanıyormuş gibi davranılır.

Aksaray-Havalimanı hattı boyunca 114 sinyal bulunmaktadır. Hat merkez trafik kontrollü ve tamamen elektronik yol tanzim sistemi ile trafik akışının düzenlendiği bir sisteme sahiptir. Sinyal lambaları, dispetcherin klavye üzerinden verdiği rota tanzim talebi komutları doğrultusunda ray devrelerinin kontrolü sonucu hattın durumuna göre kırmızı veya yeşil yanmaktadır.



Şekil 2.6 Operatör mimik ekranı

Dispetcher önündeki operatör panel ekranları, hat ve objelerin sembolize edilerek oluşturulmuş sembollerden oluşan dinamik değişen bir mimik ekrandır. Tüm hattın görüntüsü basit grafiklerle yollar, sinyaller, makaslar ve ray devreleri olarak gösterilmektedir. Her objenin durumu, farklı şekil ve renklerle sunulmaktadır.



Şekil 2.7 Sinyal Lambası

### 2.2.3 Tren Haberleşme Ekipmanları (Balise - RF anten)

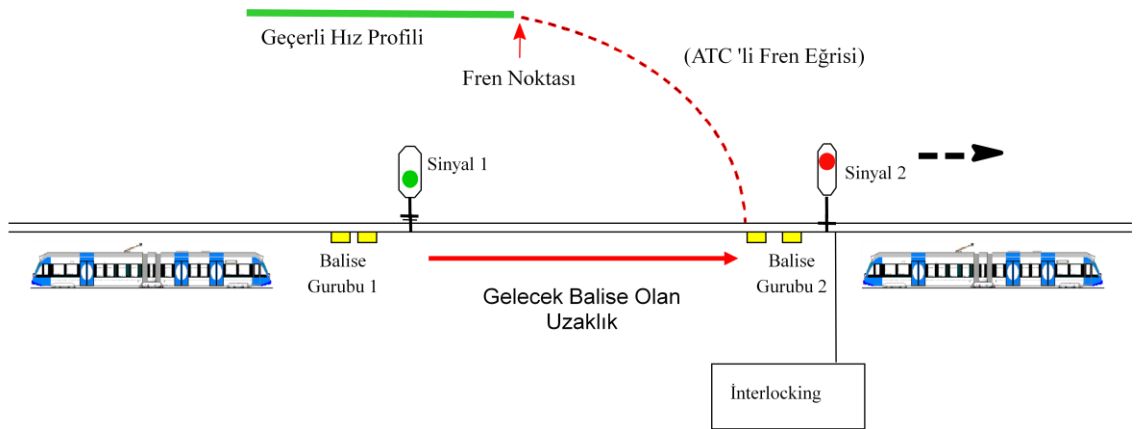
Hat boyunca ray devreleri ve sinyallerin durumuna göre trenlere sürüşle ilgili olarak veriler rayların arasına yerleştirilmiş Balise'ler vasıtasıyla verilmektedir."Balise" antenler pasif elemanlardır. Enerjilerini araç altındaki antenden almaktadır. Balise temel mantık olarak tek yönlü haberleşmeye sahiptir. Haberleşme yönü yalnızca sahadan trene doğrultusundadır.



Balisler her sinyalin önünde çiftli guruplar halinde monte edilmiştir. Bir sonraki ray bloklarının durumuna göre trenlere sinyalin kırmızı veya yeşil olması hallerindeki hız ve hedef uzaklık bilgilerini vermektedir. Her gurubu gidiş yönüne göre geçilecek olan iki bloğun hız limitini ve bir sonraki sinyale olan mesafe bilgisini vermektedir.



Şekil 2.8 Balise-RF antenler



Şekil 2.9 Dinamik Sürüş Eğrisi

Şekil 2.9'daki gibi bir güzergâhta bulunan iki sinyalli bir yapıda üç rota alternatifi bulunmaktadır. Bu rota alternatiflerine göre Balise guruplarının vereceği bilgiler Tablo 2.1'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2.1 Sinyal 1 – Sinyal 2 arası rota alternatifleri

SİNYAL 1	SİNYAL 2	BALİSE GURUBU 1	BALİSE GURUBU 2
YEŞİL	YEŞİL	Geçerli Hız Değeri ve İzin verilen hedef Mesafe	Geçerli Hız Değeri ve İzin verilen hedef Mesafe
YEŞİL	KIRMIZI	Geçerli Hız Değeri ve İzin verilen hedef Mesafe	Duruş bilgisi
KIRMIZI		Duruş bilgisi	

Tablodan anlaşıldığı gibi iki sinyalin yeşil olması durumu Balise gurubundan iki bloğun serbest olduğu bilgisinin alınacağı ve trenin müsaade edilen hız limitlerinde geçişine izin verildiğine işaret etmektedir.

İlk sinyalin yeşil ve ikinci sinyalin kırmızı olması durumunda; trenin ilk sinyali geçiş yetkisinin olduğu ve ikinci sinyale duracak pozisyonda yaklaşması gerektiği anlaşılmaktadır.

İlk sinyalin kırmızı olması durumunda trenin hiçbir şekilde hareket edemeyeceği ve hattın bu noktadan sonrasında bir araç olabileceği anlaşılmaktadır.

#### 2.2.4 Araç üstü ATC (Automatic Train Control –Otomatik tren kontrol) sistemi

ATC (Automatic Train Control) sistemi sinyalizasyon sisteminin bir parçasıdır. Sinyal sisteminden aldığı bilgilere göre aracın hız limitlerini gözetleyerek trafik güvenliğini artıran bir Elektronik güvenlik sistemidir. Trenin sinyale göre hareket etmesinde sistemin en önemli bileşenidir. On-board ekipmanları makinistin treni sürdüğü sistemlerde hız sınırına veya diğer emniyet kurallarına uyulmadığı zaman önce makinisti uyarırlar ve tren üzerinde emniyetle ilgili bir eksiklik (kuplaj kopması, kapıların açılması, fren sisteminde bir arıza vs) veya sinyal sistemine göre bir hata (hat üzerinde bir engel algılanması, tanımlanmış maksimum hızı aşma vs) gördükleri an treni durdururlar. Otomatik sistemlerde ise makinisti uyarma olmayacağı için güvenlik ölçme metotları biraz daha geliştirilmiş ve acil durum olduğunda yine güvenlik amaçlı

tren durdurma yapılmaktadır. Sinyalizasyon sistemlerindeki kazaların birçoğu on-board ekipmanları kapatarak yapılan manuel sürüşlerde meydana gelmektedir.

ATC sistemi MD (Sürücü kabinli) araçta bulunan bir Lojik Birim ile ray hattında teçhiz edilmiş ekipmanlardan oluşur. (Balise gurubu, Trafik sinyalleri, Obje kontrol ekipmanları vb.)

Ray hattı boyunca raylar arasına yerleştirilmiş olan balislerden, üzerinden geçen araçlara sinyal gönderilir. Bu sinyaller aracın alt kısmında bulunan ATC anten ünitesi tarafından alınır ve ATC Lojik birimine ulaşır. Lojik Birim balislerden aldığı bilgiyi işleyen ve daha sonra bu bilgi ile takometreden aldığı hız bilgisini karşılaştırarak karar veren bir bilgisayar sistemidir. Bu karar sonucunda (örn: aşırı hız durumu için ) ATC sistemi Ana bilgisayara bir frenleme komutu göndererek aracın frenlemesi sağlanır.

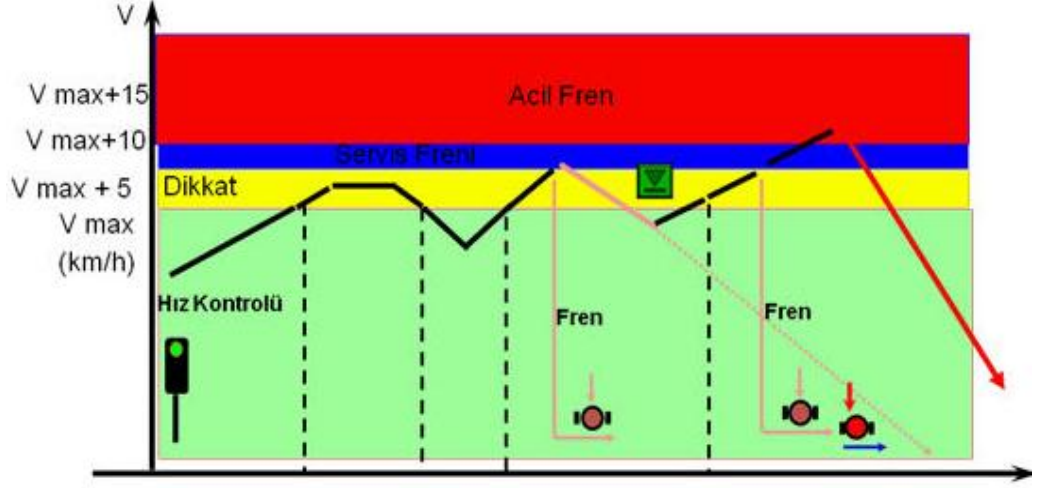
Aracın hız ve durma limitleri aşıldığında frenler otomatik olarak devreye sokularak araç emniyete alınmaktadır. Araç normal limitlerde sürüldüğünde ise herhangi bir müdahalede bulunmamaktadır.

Örnek olarak sürücü hat boyunca verilen trafik işaretlerini (kırmızı ışık: Dur sinyali ) göremeyip geçerse ATC aracı otomatik olarak durdurur. Müsaade edilen hızın aşılması durumunda ise otomatik frenleme uygulayarak aracı belirlenen hızın altında tutacaktır.

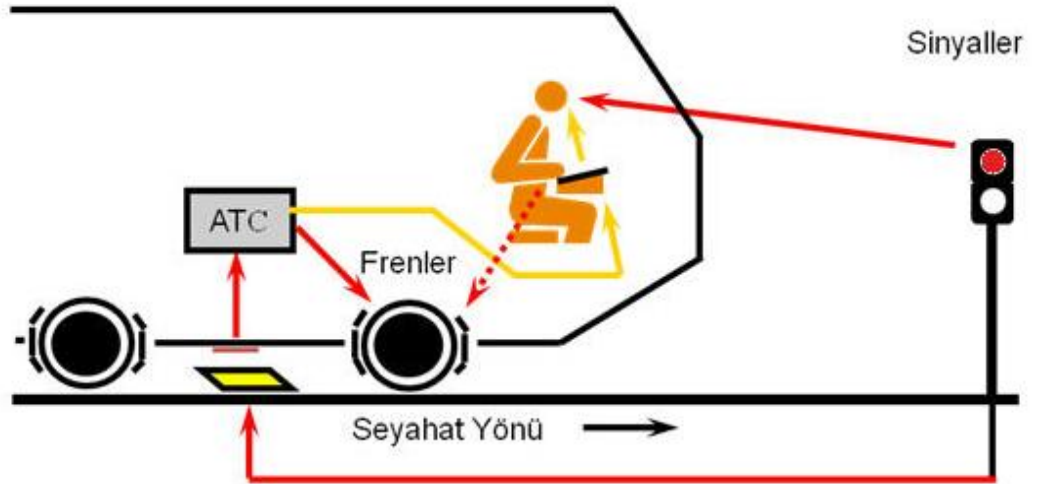
ATC sistemi 4 ayrı Sinyal kanalı olan bir takometre'den hız bilgisi alır. Bu sensör hız göstergesini ve kilometre sayacı ünitesini çalıştıran bir hız ölçüm sensörüdür. Orta (taşıyıcı) bogideki yedek aks kutusuna monte edilmiştir. Sol aksta araç bilgisayarına giden hız sensörü, sağ aksta da ATC hız sensörü vardır.

Aksaray Havalimanı hattında trenler sürüş limitleri tanımlanmış makinistli sürüş prensibinde hareket etmektedir. ATC bilgisayarı hat boyu ekipmanlarından alınan bilgilere göre güzergâhtaki gidilecek hız-konum-zaman grafiği çıkartır. Bu noktadan sonra tren makinistin sürüşüne bırakılır ve anlık olarak ATC bilgisayarı üzerinden takip edilmeye başlanır. Belirlenen limitlere yaklaşıldığında makinist sesli olarak ikaz edilir. İlk limit aşımında servis frenleri devreye alınarak tren yavaşlatılır. Tren limitlerin altına

kadar yavaşlatıldığında servis frenleri devreden çıkartılır. Limit aşımı ikinci kez tekrarlandığında acil durum frenlerini devreye alınarak tren durdurulur.



Şekil 2.10 Frenleme Eğrileri



Şekil 2.11 Araç üstü ATC Kontrol Paneli

Kırmızı sinyale yaklaşan makinist sinyal lambasının kırmızı olduğunu görüp treni durdurabilir. Makinistin fark etmemesi durumunda ATC ekranından makinist sesli olarak ikaz edilir. Güvenli duruş mesafesine kadar makinistin treni durdurmaması halinde ATC treni emniyetli bir şekilde durdurur. [3]

### 2.2.5 Demiryolu Makasları

Demiryolu araçlarının bir yoldan diğer bir yola geçmesini sağlayan tesise makas denir. Demiryolu araçlarının karayolu araçlarından önemli bir farkı da dümenlerinin olmayışıdır. Bu sebeple demiryolu araçlarının yol değiştirmeleri de yine yollar üzerine



döşenen makaslar vasıtasıyla olur. Aksaray-Havalimanı hattı içerisindeki bütün makaslar otomatik kontrollü makaslardır. Makaslar 3 şekilde tanzim edilmektedir.

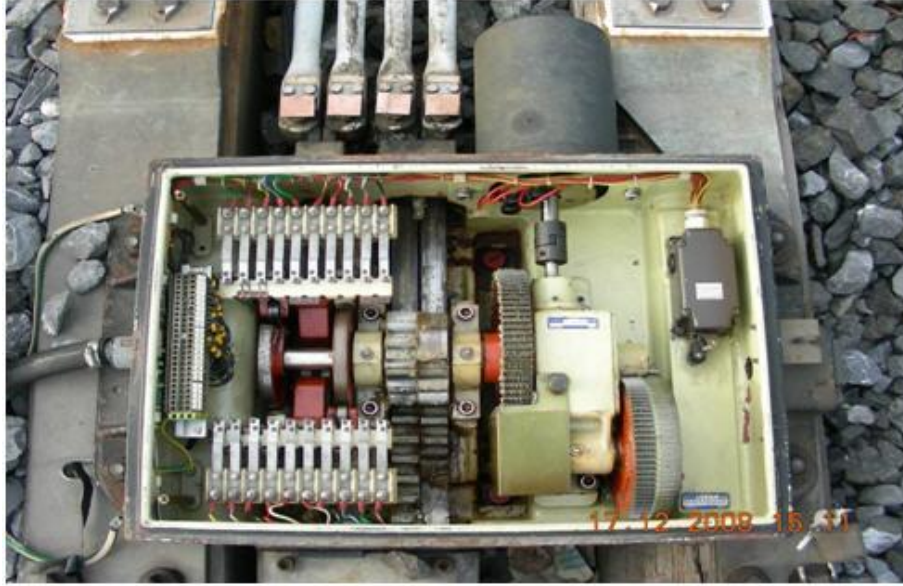
- Uzaktan Dispetcherin komutları ile tanzim edilebilir.
- Makas kenarındaki yerel kumanda butonları ile tanzim edilebilir.  
(Yerel kumanda yetkisi Dispetcher tarafından verilir)
- Makasın başında makas kolu ile elle çevrilerek tanzim edilebilmektedir.

Makaslar, elektrik motorunun redüktörün milini döndürerek tahrik kollarının hareket ettirilmesi suretiyle tanzim edilmektedir.



Şekil 2.12 Otomatik Kontrollü Makas

Makas dil uçlarına bağlı ikişer adet kol vardır. Bu kollardan biri tahrik kolu diğeri ölçü koludur. Redüktör milinin hareket etmesi sonucu kollara bağlı olan dişliler hareket etmeye başlar. Dolayısı ile kollara bağlı olan kontak uçları da kollarla beraber hareket etmektedir. Kontak uçlarının temas ettikleri yönler tespit edilerek makasın tanzimden sonraki son yönü belirlenir.



Şekil 2.13 Otomatik Kontrollü Makas Kontak, Redüktör ve Dişlileri

Basit bir makas 3 bölümden oluşur.

Demiryolu araçlarının yol değiştirmesini sağlayan dil ucu kısmıdır.

Parçaları;

- İki adet dil
- Dillerin yaslandığı 2 adet yaslanma rayı,
- Makas dilleri altına ve traversler üzerine döşenen ve üzerleri yağlanarak, dillerin kolay hareket etmesini sağlayan kayma plakaları
- Yeteri kadar travers ve bağlantı malzemeler



Şekil 2.14 Makas Kolları

Dillerin ara raylarına bağlandığı bölüme ökçe adı verilir. Diller ökçeden hareket ediyorsa mafsalı dil, kendi esnekliği ile hareket ediyor ökçeden hareket etmiyorsa esnek (fileksibl) dil denir.

Ara raylar; makas dil takımını ile göbek takımını birleştiren raylara makas ara rayları adı verilir.

Göbek ve kontra raylardır. Göbek, makasın doğru yol ray ile sapan yol rayının birbirini kestiği noktaya denir. Bu kesişme noktasından tekerleklerin geçişini sağlamak için, iki ray bu noktadan başlayarak dışa doğru bükülürler ve tavşanayağı denilen eğrileri oluştururlar. Kesişme noktasında tekerleklerin serbestçe geçmesi için bir boşluk bırakılır. Bu boşlukta araçların yol değiştirmemesi için de karşılarında kontra raylar bağlanır. [4]

Makaslar işletmedeki yönlerine göre;

- Sağ Makas; Makas dil ucuna karşı durulduğunda sapan yol sağda kalıyorsa böyle makaslara sağ makas olarak sınıflandırılır.
- Sol Makas; Makas dil iğne ucuna karşı durulduğunda sapan yol solda kalıyorsa böyle makaslara sol makas denir.
- Simetrik Makas; Sağ ve sol makasların birer yolları sapan yoldur. Simetrik makasların ise her iki yolu sapan yoldur. Yani doğru yolları yoktur.

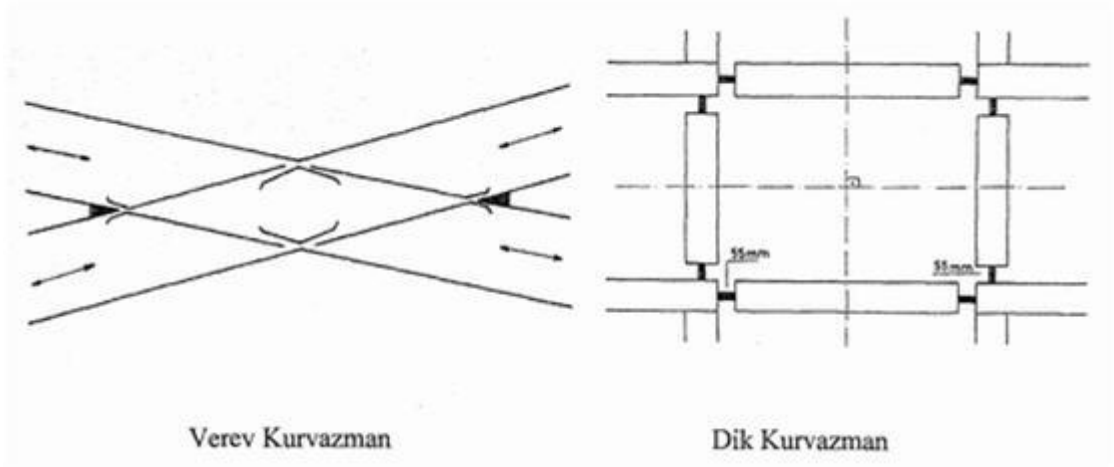
Tiplerinde göre makaslar ; “s” makaslar, çapraz makaslar ve tek taraflı çapraz makaslar olarak 3 sınıfta gruplanır.

- i. S (ES) Makas; birbirine paralel iki yoldan, birinden diğerine geçişi sağlayan ve iki basit makastan oluşan yol grubudur.



Şekil 2.15 Mimik Ekranda S makas görünümü

- ii. Çapraz makaslar; Dil takımı olmayıp sadece göbek takımı mevcuttur. Düz geçişleri sağlar. Sapma olmaz. Geçişler verev veya dik olarak yapılır. Dik geçişlerde göbek yoktur. Bu tip cihazlara Kurvazman da denir.



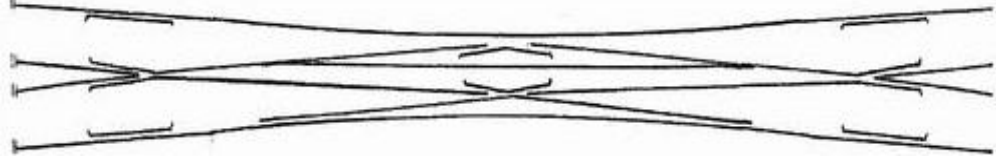
Şekil 2.16 Çapraz Makas Tipleri



Şekil 2.17 Mimik Ekranda Çapraz makas görünümü



- iii. Tek taraflı çapraz makas; bu tip makaslara Basit İngiliz Makası da denir. Dört göbek ve dört dil vardır.



Şekil 2.18 Tek Taraflı Çapraz Makas



Şekil 2.19 Tek Taraflı Çapraz Makas

Aksaray Havalimanı hattında toplam 46 adet makas bulunmaktadır. Hat boyunca, 5 adet 4'lü S makas gurubu, 1 adet 2'li S makas gurubu, 4 adet 4'lü çapraz makas gurubu, 1 adet simetrik makas, 3 adet sol makas ve 4 adet sağ makas bulunmaktadır.

Soğuk mevsimde demiryolları hizmetinin pürüzsüz bir şekilde sağlanmasının ön koşulu, makasların hiçbir arıza ve bozulmaya maruz kalmadan kurulabilmesidir.

Kar yağışı ve buzlanma, işletmeyi engeller veya sağlanmasını imkânsız kılar. Makas ısıtıcı sistemler sayesinde makasın hareketli kısımları kar ve buzdan korunur.



Şekil 2.20 Makas Isıtıcıları

Nem ve buzlanmadan dolayı makasın hareketli kısımlarının donmasının engellenmesi, kar yağışı sebebiyle makas mekanizmasının bloke olması gibi durumlarda oluşabilecek işletme kayıplarının önüne geçilmesi için makas ısıtıcılarının aktif olarak çalışması gerekmektedir.

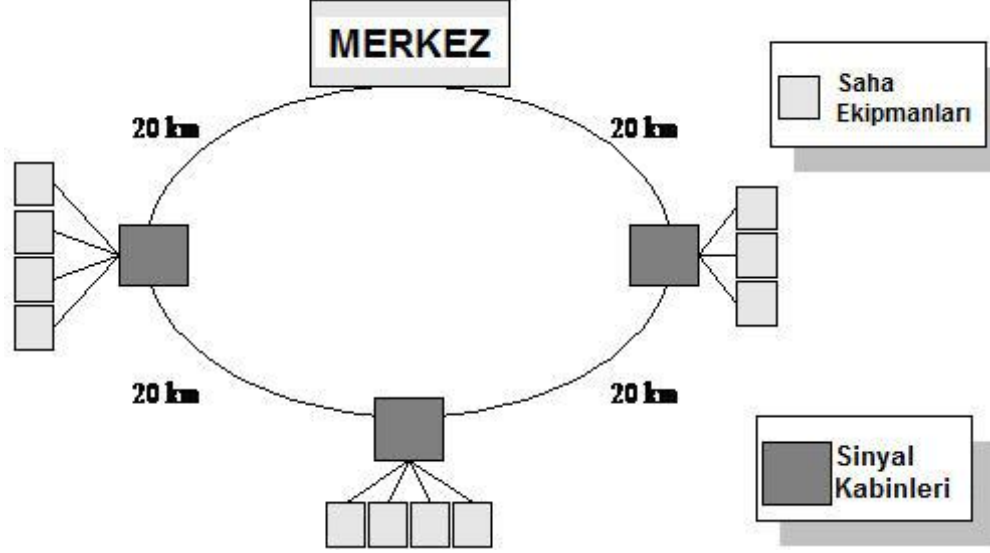
### 2.2.6 Sinyal Kabinleri

Sahada bulunan bütün sinyal ekipmanlarının kontrol ve besleme kartları belirli bölgelerde kabinlerin içerisinde toplanmıştır. Bütün elektronik kartlar, donanımlar ve haberleşme ekipmanları bu saha dolapları içerisinde muhafaza edilmektedir.



Şekil 2.21 Sinyalizasyon Saha Kabinleri

Her bir sinyal kabinine maksimum 8 obje (sinyal ve makas) bağlanarak bir haberleşme döngüsü oluşturulmuştur. Saha ekipmanları bağlı bulunduğu kabinler üzerinden merkez ile haberleşmektedir.



Şekil 2.22 Kabinet Haberleşme Döngüsü

Haberleşme döngüsü iki yönlü olarak tasarlanmıştır. Haberleşme tek taraflı kesintiye uğraması durumunda dahi diğer yönde haberleşme devam etmektedir.

### 2.2.7 Anlaşman (Interlocking) sistemi

Anlaşman (Interlocking) sistemi raylı sistemlerde ulaşım ve taşımının güvenli olarak yapılabilmesini sağlayan bileşenler arasında hayati öneme sahiptir. Sabit blok sinyalizasyon sistemlerinde (Fixed Block Signalling Systems) trenlerin istenilen güzergâhlar boyunca güvenli bir şekilde hareketi anlaşman sistemi tarafından sağlanmaktadır. Bu kontrol tren rotalarını, makas tanzimlerini ve diğer bütün raylı sistem araçlarının hareketlerini demiryolu kurallarına, düzenlemelerine ve işletmedeki demiryolu istasyonunun teknolojik süreç gereksinimlerine uyarak gerçekleştirilir.

Anlaşman mantığı (Interlocking Logic) terimi raylı sistemlerde makaslar, sinyaller, ray devreleri vb. gibi sahada kullanılan fiziksel birimlerin birbirleri arasındaki mantıksal ilişkiyi ifade eder. SSI sistemlerinde bu olgu yazılım içerisinde programlanır. Röle tabanlı anlaşman sistemlerinde ise rölelerin birbirleri ile uygun şekilde bağlanarak oluşturulan kumanda devreleri ile elde edilir. Sinyal levhalı anlaşman sistemlerinde fiziksel parçaların birbirlerine mekanik mafsallarla uygun bir şekilde bağlanmasıyla anlaşman mantığı oluşturulur. [5]

### 2.2.7.1 Mekanik Anlaşman Sistemi (Ground-frame Interlocking);

Sistemler arasında mekanik bağlantılar kullanılarak gerçekleştirilen anlaşman sistemleridir. Mafsallar ve tellerden oluşan sistem en eski anlaşman örneğidir. Günümüzde kullanım alanı yoktur. [6]

### 2.2.7.2 Röleli Anlaşman Sistemi (Route Relay Interlocking System - RRI);

Tamamen tanzim rölesi (Route Relay) denilen elektromekanik röleler ile gerçekleştirilen anlaşman sistemidir. [7]

### 2.2.7.3 Elektronik Anlaşman Sistemi (Solid State Interlocking System - SSI);

Diğer tipteki sistemlerde kullanılan mekanik mafsallar veya elektromekanik röleler yerine elektronik ekipmanların kullanıldığı anlaşman sistemleridir.

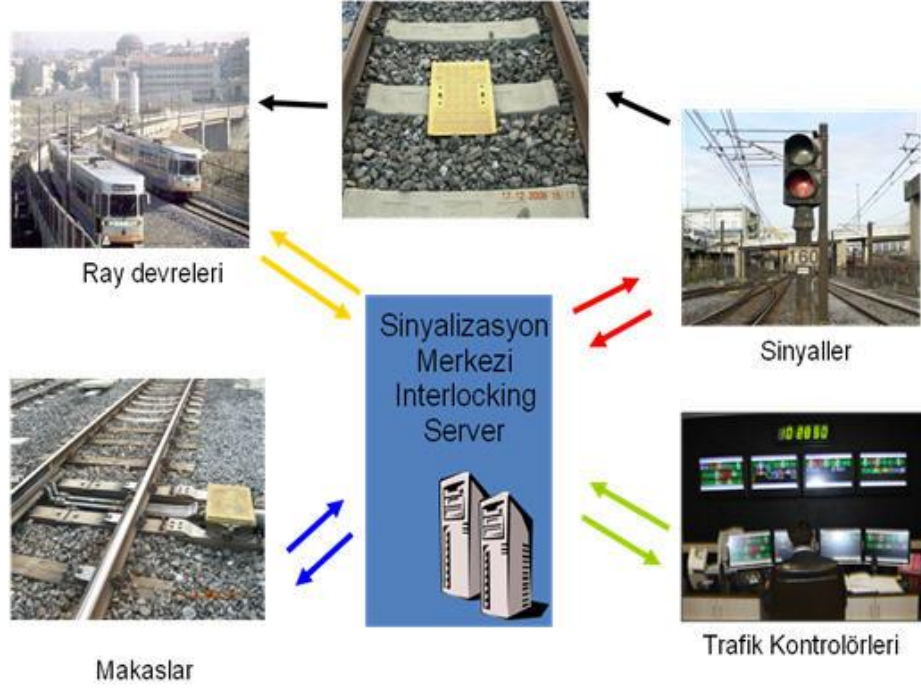
Trenin gideceği güzergâh dışındaki bütün yollar Merkezi Interlocking – anlaşman tarafından kilitlenir. Trenin yön değiştireceği her noktada rota kilitleme ile yol tanzimi yapılır. Bütün elektrik motorlu makaslar doğru pozisyona alınır ve mekanik olarak kilitlenir. Sinyal ataması yapılan yani trenin seyredeceği bölgede trenin varlığının takibi yapılır. Kilitlenen bölgeden trenin geçişi ile beraber diğer trenlerin geçişine müsaade edilebilmesi için otomatik serbest bırakılır.



Şekil 2.23 Kumanda Merkezi Operatör Kontrol ve İzleme Mimik ekranları

Aksaray Havalimanı hattı elektronik Anlaşman sistemi mimarisi üzerine kurulmuştur. Hat esenlerde bulunan kumanda merkezindeki dispatcher tarafından tanzim komutları vasıtasıyla yönetilmektedir.





Şekil 2.24 Genel Sinyalizasyon Data Akış Diyagramı

Genel olarak sistem yapısı merkezdeki anlaşılan bilgisayar üzerinden işletilmektedir. Operatörün yazmış olduğu komutlar öncelikle anlaşılan bilgisayarda kontrol edilmektedir. Uygun olan komutlar saha ekipmanlarına yerine getirilmek üzere iletilir. Saha ekipmanları basit anlaşılan algoritmalarını kendi üzerlerinde gerçekleştirir. Bütün koşullar yerine geldiğinde sistem güvenliği sağlanmış olur ve trenin geçişi için gerekli rotalar açılır. Saha ekipmanlarındaki oluşan yeni durum ve değişiklikler dispeçerin önündeki dinamik ekranlarda anında görüntülenir.

### 2.3 SİNYALİZASYON SİSTEMİNE İLİŞKİN MUHTEMEL ARIZA NOKTALARI VE İŞLETMEYE ETKİLERİ

Aksaray-Havalimanı hattı günlük sefer planı yoğun saatler içerisinde minimum sefer aralığı 5 dakikaya kadar inmektedir. Seferler sabah 06.00'da başlayıp 00.00'da bitmektedir. Gün içerisinde değişik arızalar sebebi ile seferlerde gecikmeler ve iptaller olabilmektedir. Bu bölümde sinyalizasyon sisteminden kaynaklanan arızaların işletmeye etkileri ve arıza giderme süresince oluşan işletme kayıplarını detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

İşletmeyi etkileyen sinyalizasyon sistemi arızalarını üç ana başlıkta toplayabiliriz.

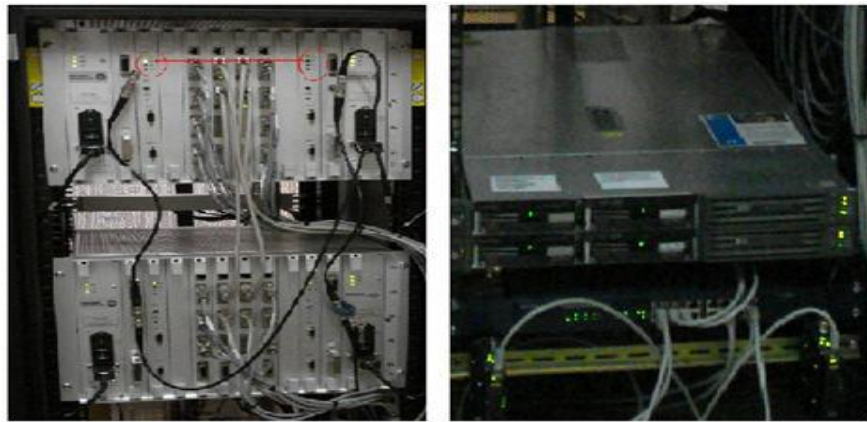
### 2.3.1 Merkezi Anlaşman Sisteminde Oluşabilecek Muhtemel Arızalar Ve İşletmeye Etkileri

Sinyalizasyon sisteminin merkezinde daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere anlaşman sisteminin sağlandığı donanımlar yer almaktadır. Aksaray- Havalimanı hattı sinyalizasyon sistemi 1989 yılında sinyalizasyon sistemi konusunda çok başarılı ve dünyada bir çok uygulama yapmış olan Ericsson-Bombardier transportation (İSVEÇ) firması tarafından kurulmuştur. Aksaray-Havalimanı hattı uluslararası güvenlik standartlarında kabul görmüş ve problemsiz çalışan bir güvenlik alt yapısına sahiptir.[8]

İlk hali ile DOS işletim sistemine sahip bilgisayarlar ile kurulan sisteme sahip olan hat 2007 yılında merkez donanımlarının yenilenmesi ile modern teknolojiye sahip hale gelmiştir. Bu geliştirmeler sonucunda merkez kaynaklı arıza oranları %70 azalmıştır.



Şekil 2.25 Aksaray-Havalimanı Hattı 1989 yılında kurulan Sinyalizasyon Merkez Bilgisayarı



Şekil 2.26 Yenilenen Sinyalizasyon Merkez Bilgisayarı

2007 yılında kurulan sistemde tam yedekli bir yapı kurulmuştur. Sistem bileşenlerin tamamı yedekli (Hot-standby) yapıda sisteme paralel olarak çalışmaktadır. Olası bir sistem hatasında operasyonu devralarak tren seferlerinin durmaması sağlanmış olur.

Merkezi ekipmanlarda olası bir arıza durumunda hattın tamamındaki sinyal sistemi en güvenli seviyeye geçerek kapalı duruma geleceğinden işletme kayıpları meydana gelecektir. Trenlerin tamamı duracak ve işletme bir süre makinist kontrollü sürüş ile temkinli hız limiti olan 20 km/sa hız ile seferlere devam edilecektir. Merkez donanımları kısaca anklaşman bilgisayarı, operatör sunucu-konsolları ve bilgisayar ağ donanımlarından oluşmaktadır.

Sinyalizasyon sistemi diğer sistemlerden izole edilerek tamamen kapalı devre çalıştırılmaktadır. Ağ yapısı, enerji beslemeleri ve bütün kablo alt yapısı gibi kritik donanımlar yalnızca sinyalizasyon sisteminde kullanılmak üzere özel teçhiz edilmiştir. Dolayısı ile arıza durumları minimize durumdadır. Merkez ekipmanların tamamının yedekleri düzenli olarak kontrolleri yapılarak her an çalışabilecek pozisyonda bekletilmektedir.

Anklaşman sisteminde oluşabilecek arızalar genel olarak,

- I. Sistemin haberleşme alt yapısında oluşabilecek arızalar neticesinde donanımların birbiri ile olan haberleşmesi kesileceğinden operatörün hat boyunca izleme ve komutlarla sefer yönetimini yaptığı oturma devre dışı kalmış olur. Sistemdeki bütün sinyal rota tanzimleri, tren hareketleri ve makas talepleri en güvenli işletme durumuna alınır. Bütün sinyaller kırmızı yanar. İşletmenin tamamen durmaması için trenlere güvenli hız limiti olan 20 km/sa maksimum hızla hareket müsaadesi iletilir. Makas kolu yardımı ile makinistin makası çevirmesi durumu haricinde makaslar kilitlenir uzaktan herhangi bir harekete izin verilmez.

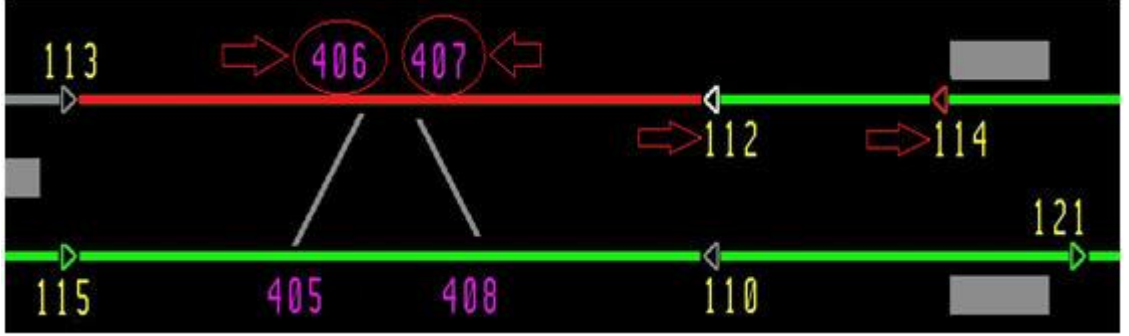
- a. Bu durumda bütün trenler 20 km/sa hızla hareket etmek zorundadır. Dolayısı ile işletme olumsuz etkilenecektir. Normal sefer süresi 32 dakika iken arıza durumunda seferin tamamlanması 75 dakikayı bulabilmektedir.

- b. Bu tip arızalar stoktaki yedek malzemelerden yararlanılarak donanım değişiklikleri ile bir saat gibi bir sürede düzeltilebilmektedir.
  - c. Bu arızanın gerçekleşme zamanına göre sefer iptallerinden dolayı işletme kaybı günlük %3.12 (iptal edilen 13 sefer/toplam 416 sefer) ile %5.77 (iptal edilen 24 sefer/toplam 416 sefer) arasında değişmektedir.
- II. Merkez ekipmanlarından birinin arızalanması durumunda, bütün ekipmanların sistem içerisinde aktif bir yedeği bulunmaktadır. Dolayısı ile bu tip bir arızada işletmenin doğrudan etkilenmesi pek olası değildir. Fakat sistemin arıza yapması durumundan yedekliliğin kısa sürede tekrar sağlanması gerekmektedir. Aksi takdirde yedek donanım üzerinde oluşabilecek ilave yeni bir arızada sistem tamamen devre dışı kalma ihtimali vardır.
- Yedeklemenin sağlıklı çalışmadığı veya ilave bir arızanın oluşması durumunda birinci koşulda oluşan bütün işletme kayıpları bu arızada da oluşabilir.
- III. Operatör izleme bilgisayarının kontrol dışı kalması, bu arıza durumunda operatör yedek oturuma geçerek hattın işletmesine devam edebilmektedir. Yedek oturumda oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda hattın izleme ve rota tanzimi yapılamayacağı için sefer planı uzaktan yapılamayacaktır. Fakat anlaşılan sistemi çalışmasını sürdürdüğü için hat içerisinde otomatik rota tanzimi aktif olması durumunda işletme aynı şekilde güvenli yapıda devam edebilmektedir.
- IV. Elektrik kesintisi, Sistemdeki bütün yedekler ayrı kesintisiz güç kaynağı ve kablo tesisatları üzerinden beslenmektedir. Dolayısı ile arıza ihtimali çok düşüktür. Sistemin bütününün yedekleri ile beraber (pek olası bir durum değildir) enerjisiz kalması durumunda hat boyunca bütün trenler sinyalizasyon sistemi olmadan 20 km/sa hızla hareket ederler. Bu arızada birinci durumdaki işletme kayıpları aynı şekilde oluşur.

### 2.3.2 Saha Ekipmanlarında Oluşabilecek Muhtemel Arızalar Ve İşletmeye Etkileri

#### 2.3.2.1 Sinyal Lamba Ve Ray Devresi Arızaları

Sinyal lamba veya ray devresinde oluşabilecek arıza durumunda yalnızca ilgili bölge etkilenmektedir. Trenler bu bölgeye operatörün müsaadesi ile 20 km/sa hızla girerek sefere devam eder. Bölgede makasların olması durumunda makas tanzimleri de yapılamaz ve makaslar sistem tarafından otomatik olarak bloke konuma alınır.



Şekil 2.27 Mimik Ekrandaki arıza gösterimi

Örneğin; Aksaray-Emniyet istasyonu arasındaki sinyallerden 112 nolu sinyalin arıza yapması durumunda bölgedeki 114 nolu sinyal, 406 ve 407 nolu makaslar sistem tarafından güvenli moda alınır. 114 nolu sinyal kırmızı yanar, 406 ve 407 nolu makaslar bloke edilir. Bölgeye giren trenler 20 km/sa hızla tamamen makinist kontrolünde seferlerine devam eder.

Sinyal lambalarında oluşabilecek arızalar,

- Kırmızı lamba arızası
- Yeşil lamba arızası
- Sinyal lambalarının bağlı bulunduğu kontrol kartlarının arızalanması
- Ray devresi besleme veya geri dönüş noktasında oluşabilecek arızalar
- Enerji arızaları
- Kablo tahribat ve kesikleri

Bu arıza durumunda bir bölge etkileneceği için işletmenin yoğunluğuna bağlı olarak sefer iptali oluşmayabilir. Makas tanzimine ihtiyaç duyulması durumlarında makas kolu kullanılarak tanzimler yapılır. Bu durumda kısmi tehirlere oluşabilmektedir.

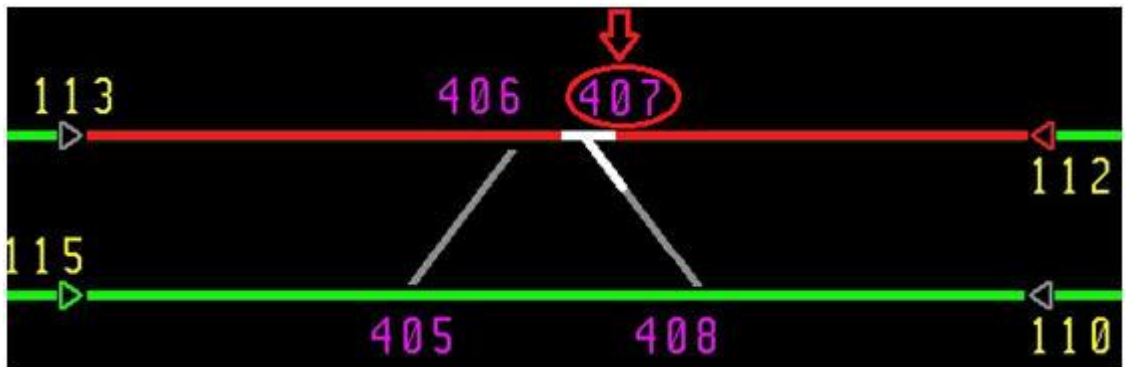
### 2.3.2.2 Otomatik kontrollü Makas Arızaları

Makas arızalarında da sinyal lambalarında oluşan arızalara benzer olarak yalnızca arızanın olduğu bölge etkilenmektedir. Makas arızası oluşması durumunda bölge sistem tarafından emniyetli pozisyon konumuna alınır.

Arızalan makasın bulunduğu bölgedeki giriş sinyalleri kapalı konuma alınarak bölgeye tren girişine sistem tarafından müsaade edilmez. Bu noktadan sonra makinist inisiyatifli sürüş ile 20 km /sa hızla kontrollü olarak bölge geçilir.

Otomatik kontrollü makaslarda oluşabilecek arızalar,

- Makas kontaklarındaki temassızlık sebebi ile makasın hangi yöne oturduğu bilgisi alınamayabilir.
- Makas dil uçları arasında herhangi bir cisim sıkışması sebebi ile makasın oturmaması sonucu makasın kontrol dışı kalması.
- Makas motoru arızalanabilir.
- Makas redüktörü arızalanabilir.
- Makas tahrik kolları veya hareketi sağlayan miller kırılmış olabilir.
- Makas objelerinin bağlı bulunduğu kontrol kartlarının arızalanması
- Enerji arızaları



Şekil 2.28 Mimik Ekrandaki Makasın Kontrol Dışı kalması Durumu

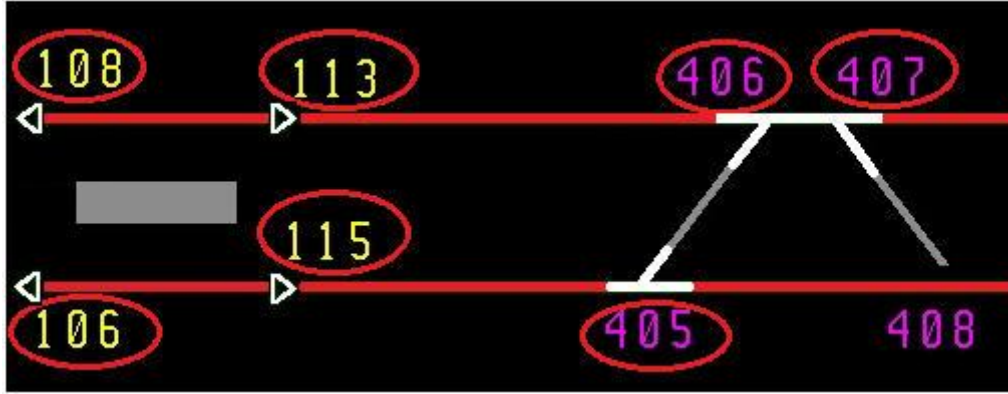
Örneğin, Aksaray- Emniyet istasyonları arasındaki 407 nolu makasın kontrol dışı kalması durumunda şekilde görüldüğü gibi operatör ekranında makas kontrol dışı pozisyonuna alınmıştır. Bölgenin girişinde bulunan 112 nolu sinyal sistem tarafından kapalı (kırmızı) konuma alınmıştır.

Bu arızaların önüne geçebilmek için önleyici ve kesici bakımlar aksatılmadan yapılmaktadır. Bu durumda arıza ve işletme kayıpları çok küçük bir değerde kalmaktadır.

### 2.3.2.3 Sinyal Saha Kabin Arızaları

Sinyal ve makas objelerinin bağlı bulunduğu kabinlerin kontrol dışı kalması durumunda kabine bağlı olan bütün objeler kontrol dışı kalacaktır. Dolayısı ile etkilenen bölge genişlemiş olur.

Örneğin, 7 tane objenin bağlı olduğu Aksaray 3 nolu kabinin kontrol dışı kalması durumunda bölgedeki bu objeler ve bu bölgeye girişteki objeler etkilenecektir. İşletmede seferler iki yönlü olarak aksayacaktır. İşletmenin durmaması için bölgeyi trenler sinyalsiz olarak makinist kontrolünde 20 km/sa hız ile geçerler.



Şekil 2.29 Kabinin Kontrol Dışı Kalması Durumu

### 2.3.2.4 Tren Haberleşme Ekipman Arızaları

Sinyalizasyon verilerinin trene aktarıldığı antenlerde oluşan arızalarda bütün trenler bu bölgeden hız bilgisini alamamaktadır. Dolayısı ile trenler sistem tarafından 20 km /sa hız ile zorlanır. Bu arızanın diğer arızalardan tek farkı sinyal tanzim ve izlemenin bu arızadan etkilenmemesidir. Yine bölgeye başka araçlar girememektedir. Bu arıza durumunda etkilenen tek durum trenin sürüş performansıdır.

Bölgeden geçen trenlerin yavaş hareket etmesi sebebi ile sefer gecikmeleri olması muhtemeldir. Sefer iptalleri olma olasılığı oldukça düşüktür.

### 2.3.2.5 Araç Üstü Ekipman Arızaları

Bu sınıf arızalar araçların sinyal sistemi ile haberleşebilmesi için gerekli olan araç üstü anten veya ATC bilgisayarlarında oluşan arızalardır. Araç anteninde oluşabilecek bir arıza durumunda tren hiçbir Balise ile haberleşemeyeceği için hız değerlerini alamayacaktır. Dolayısı ile tren emniyetli seviyeye düşürülecek ve 20 km/sa hız ile harekete zorlanacaktır. Bu arızanın olduğu tren işletmeyi etkilememesi için hızlı bir şekilde seferden çekilir. Trenin seferden alınması süresince işletmede tehirlere oluşma riskleri muhtemeldir. Sefer iptalleri olma olasılığı oldukça düşüktür.

## 2.4 SİNYALİZASYON SİSTEMİ EMNİYET KRİTERLERİ

Sinyalizasyon sisteminin ana fonksiyonları ve amacını;

- Trenler arasındaki kazaların önlenmesi,
- Makasların yanlış yönlendirmesi ve kilitlenmesi sonucu oluşabilecek
- Derayların (trenin raydan çıkması), kazaların önlenmesi,
- Rota yönlendirmesiyle çakışmayacak şekilde trene hareket etme yetkisinin verilmesi,

Hattın sinyalizasyon sistemi tasarımı yapılırken Fail-Safe (hata durumunda koruma) kavramı ön planda tutulmuştur. “Fail – safe” kavramı demiryolu sinyalizasyon sistemlerinin temel tasarım prensibi olarak; sistemin tümünde ya da tek bir bileşeninde, tehlike ve hata oluşturabilecek unsurları ortadan kaldırmak amacıyla tanımlanmıştır. “Fail-safe” kavramı kısaca, sistem herhangi bir işlem yaparken “başarısız/hatalı-fail” olduğunda, sistemin “güvenli-safe” duruma ulaşmasıdır. Başarısız/hatalı bir işlem gerçekleştiğinde sistemin güvenlik bütünlüğü bozulmadan, o an için en güvenli olan pozisyona geçer. [9]



Aksaray-Havalimanı hattı sinyalizasyon sistemi ve kontrol merkezi “fail-safe” prensiplerine uygun olarak tasarlanmıştır. Saha ve merkez ekipmanları çift-eşli sıcak yedekleme prensibi ile kurulmuştur. Sinyal ekipmanları teçhiz edilirken sistemin herhangi bir bölümünde hata oluşması durumunda ilgili sinyal lambasının o bölüm için belirlenmiş/gerekli olan en kısıtlayıcı ve güvenli duruma geçecek şekilde tasarlanmıştır.

Sinyal sisteminde kullanılan “rota kilitleme-bölge meşguliyeti” ekipmanları; ray devreleri, tren makas bölgelerinden geçerken, makasın hareketli kısımlarının hareket etmesini engelleyecek, mekanik kilitleme şeklinde tasarlanmıştır. [10]

Emniyet bütünlüğü seviyesi (Safety integrity level, SIL) demiryolu standartları; “tehlikeli durum” tanımlamasını sistemin yaşam süresinin başlangıç anından itibaren yapılmasını ister. Aynı zamanda risk analizlerinin de yapılması gerekir. Bu analizler sonucunda teknik sistemlerin oluşturabilecekleri risk değerleri bulunur. Bu değerler ışığında sistemin sahip olması gereken emniyet seviyesi bütünlüğü (SIL) belirlenir.

CENELEC raylı sistemler standartları kabul edilebilir risk değerlerini belirlemiştir. Risk analizi ve risk değerlendirme metotlarının uygulanmasıyla “emniyet seviyesi bütünlüğü, SIL” seviyeleri elde edilir. Bu değerler Tablo 2.2 de verilmiştir. [11]

Tablo 2.2 SIL seviyelerine göre THR

Tolere Edilebilir Tehlike Oranı, THR (Fonksiyon/h)	Emniyet Bütünlüğü Seviyesi, SIL
$10^{-9} \leq \text{THR} < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq \text{THR} < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq \text{THR} < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq \text{THR} < 10^{-5}$	1

Aksaray-Havalimanı hattı genel olarak hafif raylı sistem olarak anılmaktadır. Emniyet bütünlük seviyesi Bombardier firması tarafından Level 2 seviyesinde olduğu raporlanmıştır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, bir ulaştırma sisteminin çalışma başarısını ölçmek için tanımlanan matematiksel bir yöntem ele alınmıştır. Buna göre, sistemin ana bloklarına karşı düşen performans değişkenleri ve bunlara ilişkin ağırlık katsayıları cinsinden bir Çalışma Fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu fonksiyon lineer veya non-lineer olabilir. [12]

Tanımlanan sistem çalışma fonksiyonu üzerinden, sistemin başarılı veya başarısız çalışmasıyla, sistemin verimli veya verimsiz çalışmasıyla, güvenliğiyle, taşıdığı riskler ve bunlara ilişkin olasılıklarla hattın emniyet-performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

#### 3.1 ULAŞTIRMA SİSTEMİ ÇALIŞMA FONKSİYONU

Yukarıda açıklanan şekliyle, sefere çıkan her araç ve sahadaki ekipmanlar, seferlerin başlaması ile beraber, zamanla değişen “dinamik bir sistem” olarak ele alınabilir. Bu dinamik sistemin her sefer için, bir durum tespiti (İngilizce adı ile “determination of current state”) yapılması uygundur. Buna göre, işletmeye başlayan bir ulaştırma sisteminin, tanımlandığı ve tasarlandığı gibi başarılı çalışabilmesi, sistemi oluşturan alt sistemlere bağlıdır. Matematik deyişi ile başarılı çalışma, alt sistemlerin bir fonksiyonudur. Buna göre, ulaştırma veya taşıma sisteminin başarılı çalışabilirliğini bir çalışma (Utility) fonksiyonu  $f$ , buna bağlı alt blokların çalışmalarını da  $x_1, x_2, x_3$ , ve  $x_4$  gibi değişkenler ile ilişkilendirirsek, çalışma fonksiyonu (Utility function)

$f = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  olacaktır.

Bu gösterimde,

X<sub>1</sub>, Metro hattı işletmesinin yapısal organizasyonu ve hattın yönetim

X<sub>2</sub>, Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar

X<sub>3</sub>, Sinyalizasyon saha donanımları

X<sub>4</sub>, Araç hareket ortamı

### 3.2 ULAŞTIRMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA BAŞARISININ ÖLÇÜLMESİ

İşletmeye başlayan bir ulaştırma sisteminin, başarıyla çalışması, başka bir deyişle performansı, o sistemin tanımlandığı ve tasarlandığı şekilde çalışıp-çalışmadığına bağlıdır. Örneğin; Aksaray-Havalimanı arasında çalışan tarifeli bir tren seferi, yolculuğunu daha önce öngörüldüğü gibi, belirlenen sürede, tasarlanan konfor düzeyinde, belirlenen yolcu adedi ile başarılı (tehir ve iptal olmadan) bir şekilde tamamlarsa, tam başarı veya tam performans ile çalışıyor demektir. Tam başarı notuna, 100 dersek, bu tarifeli tren, başarı notu olarak 100 üzerinden 100 puan almış olacaktır. Biz bu başarı notuna performans skoru adını veriyoruz. Böylesi bir anlayışla, çalışma fonksiyonu, performans fonksiyonu olacaktır. Ölçülebilmesi de performans skoru ile söz konusu olabilir. Buna göre, aşağıdaki bölümde Çalışma (Performans) veya İngilizce adıyla “Utility” Fonksiyonu ve buna ilişkin Başarılı Çalışma Skoru tanımı verilmiştir.

### 3.3 LİNEER PERFORMANS (ÇALIŞMA-VEYA UTİLİTY) FONKSİYONU

Ulaştırma sisteminin toplam başarı skoru “F”i, sistemi oluşturan alt blokların başarılarının lineer fonksiyonu olarak düşünebiliriz. Buna göre, her alt sistem için bir sayısal performans değeri (veya skoru) tanımlanabilir.

Bu skorları  $x_1, x_2, x_3, x_4$  ile gösterelim.

Buna göre fonksiyon;

$$F = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4x_4 \quad (3.1)$$

şeklinde olacaktır.

Bu gösterimde,  $w_1, w_2, w_3, w_4$  katsayıları reel büyüklükler olup, “alt blokların önemi” veya “alt blokların etkinliği” ile ilişkilendirilebilir. Bu katsayılara, ağırlık katsayıları da diyebiliriz.

### 3.4 GENELLEŞTİRİLMİŞ LİNEER PERFORMANS FONKSİYONU

Bir dinamik sistemi  $[X]$  ile simgeleyelim. Bu sistemin çalışma başarısı,  $F$  performans skoru ile ölçülsün. Bu sistemin  $n$  adet alt bloktan oluştuğunu varsayalım. Bu alt blokları da  $[X_1], [X_2], \dots, [X_n]$  ile gösterelim. Her alt bloğun çalışma performansını  $x_1, x_2, \dots, x_n$  skorları ile, bunlara ilişkin ağırlıkları da  $w_1, w_2, \dots, w_n$  ile gösterirsek fonksiyon,

$$F = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n \quad (3.2)$$

veya

$$F = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (3.3)$$

şeklinde olacaktır. Alt blok skorlarını ve ağırlıkları  $[X]$  ve  $[W]$  vektörleri altında toplarsak, başka bir deyişle;

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

şeklinde tanımlanacak olursa fonksiyon denklemi 3.4 ' deki gibi olacaktır.

$$F = X^T W \quad (3.4)$$

Bu arada, her alt blok'un performans skorunu oluştururken bunların altında ikinci kademe grupların da var olduğunu düşünebiliriz. Örneğin, bu alt grupları toplam "m" alt değişkenle sınırlayabiliriz. Buna göre, birinci alt blok performans skorlarını " $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}$ " ile gösterebiliriz. Benzer şekilde, n'inci alt grubun performans skorunu da " $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}$ " ile gösterebiliriz. Ayrıca,  $x_{ij}$ 'lere karşı gelen ağırlık katsayılarını da  $w_{ij}$  ile gösterirsek,

$$\begin{aligned} x_1 &= w_{11}x_{11} + w_{12}x_{12} + \dots + w_{1m}x_{1m} \\ x_2 &= w_{21}x_{21} + w_{22}x_{22} + \dots + w_{2m}x_{2m} \\ &\dots \\ x_n &= w_{n1}x_{n1} + w_{n2}x_{n2} + \dots + w_{nm}x_{nm} \end{aligned} \quad (3.5)$$

olacaktır. Matrisel gösterimle,

$$X = X_{nm}^T W_{nm} \quad (3.6)$$

Bu gösterimde,

$$X_{nm} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$W_{nm} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

olarak tanımlanmıştır.

Yukarıda tanımlanan  $X_{nm}$ 'e Sistem Performans matrisi,  $W_{nm}$ 'de Ağırlık, Önem veya Sorumluluk Dağılım Matrisi diyebiliriz. Böylece,  $X_{ij}$ 'ler alt bloklara ilişkin performans skorlarını,  $W_{ij}$ 'ler de değişkenlerin dağılımındaki ağırlığı veya önemi veya sorumluluk dağılımını simgeler. Bu terimleri eş anlamlı olarak çalışmamızda kullanacağız.

### 3.5 NONLINEER PERFORMANS FONKSİYONU

Performans fonksiyonu, lineer olabildiği gibi, non-lineer de olabilir. Örneğin, ulaştırma sistemlerinde,  $n$  adet bağımsız değişkenden ilk  $n_1$  adedi, performans skorunu doğrudan çarpım olarak (non-lineer) etkilerken, diğer  $n_2=n-n_1$  adedi de dolaylı toplam olarak etkileyebilir. Bu durumda performans ya da çalışma fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir.

$$F = \left[ \prod_{k=1}^{n_1} x_k \right] \cdot \left[ \sum_{i=n_1+1}^n w_i x_i \right] \quad (3.9)$$

Veya

$$F = F_D \cdot F_L \quad (3.10)$$

Burada,

$$F_D = \prod_{k=1}^{n_1} x_k \text{ Doğrudan performans fonksiyonunu}$$

ve

$$F_L = \sum_{i=n_1+1}^n w_i x_i \text{ Dolaylı performans fonksiyonunu tanımlar.}$$

Performansın ölçülmesi, her bir değişkeni, örneğin 10 veya 100 gibi, bir üst (maksimum) skor üzerinden belirlemekle söz konusu olabilir. Buna göre, her değişken maksimum değeri ile verilmelidir. Örneğin,  $\{x_k=45, x_k(\max)=100\}$  gibi.

(3.3) Denklemi ile verilen Sistem Performansını basit bir örnekle açıklayalım.

Bir ulaştırma sistemi  $[X]$  de, organizasyon ve yönetim alt sistemini  $[X_1]$ , hareketli araç alt sistemi  $[X_2]$ , hareket ortam alt sistemini  $[X_3]$  ve yolcu-yük alt sistemini  $[X_4]$  ile gösterelim. Her bir alt sistem veya alt blok'un çalışma başarısını 0-25 arasında değişen bir performans skoru ile ölçelim. Başka bir gösterimle,  $\{0 \leq x_i \leq 25; \quad i = 1, 2, 3, 4\}$  olsun. Ayrıca, blok ağırlık skorlarının eşit ve 1 olduğunu varsayalım  $\{w_i = 1; \forall i\}$ . Buna göre, sistemin maksimum çalışma başarı skoru  $F_{max}=100$  olacaktır. Alt bloklardan herhangi birinin çalışma performansındaki düşüş, toplam başarı skorunu da düşürecektir. Örneğin, başarı skorunun  $95 \leq F < 100$  olması işletmede hiçbir gecikmenin olmadığı bir işletme anlamına gelmektedir.  $60 \leq F < 74$  2 ile 5 dakika arasında sınırlı bir gecikmeler anlamına gelebilir. Bu gecikme arızalardan dolayı veya başka nedenlerden dolayı olabilir.  $F \leq 50$  durumu, trenin kaza ile karşılaşabileceğinin göstergesi olabilir.

Demiryolu işletmelerinde, yol üstüne düşen beklenmedik objeler, hava şartları ve daha birçok neden gecikmelere, kazalara sebep olabilir. Başka bir deyişle, ulaştırma sistemi alt blokları, her zaman önceden öngörülebilir ve öngörülemez risklere açıktır. Bir başka deyişle risklere karşı aciz konumdadır. Sistem tasarımında ve uygulamasında önemli olan riskleri azaltabilmektir. Öngörülebilir riskler, doğrudan sistem tanımı, sistem tasarımı ve uygulamasıyla, sistem işletmesine ve yönetimine bağlıdır. Sistemde kullanılan teknoloji sınırlamaları, sistemin işletilmesi ve idamesinde yer alan bakım-onarım faaliyetleri, işletme personeline dönük kabiliyetler, sistem yönetim birikimleri

ve becerileri öngörülebilir riskleri etkiler. Öngörülemeyen risklere yapılabilecek bir şey yoktur. Ancak, sistemin tasarım teknolojisi ve işletme güvenlik düzeyine bağlı olarak bir maliyetle karşılaşılacağı ve işletmenin sürdürülebilir olması göz ardı edilmemelidir.

Yukarıdaki açıklamalardan görüleceği üzere, sistemin genel performans skoru;

- I. Sistemin başarılı veya başarısız çalışmasıyla,
- II. Sistemin verimli veya verimsiz çalışmasıyla,
- III. Sistemdeki birçok arıza ile
- IV. Sistemin güvenliği ile
- V. Sistemin taşıdığı risklerle,
- VI. Sistemin düzenli veya düzensiz çalışabilirliğiyle ve
- VII. Tüm bunlara ilişkin olasılık değerleriyle ilişkilendirilebilir.

Özet olarak yukarıda söz konusu edilen 7 farklı “değer” tek bir performans skorundan üretilebilir.

### 3.6 SKOR NORMALİZASYONU VE ÇALIŞMA BAŞARISININ VERİMLİLİK HESABI İLE ÖLÇÜLMESİ

(3.3), (3.4), (3.5) veya (3.6) nolu denklemlerle, önceden belirlenen sabit ağırlık skorları  $\{w_i\}$  dikkate alınarak, performans skorlarının alabileceği en büyük değerlerle, Ulaştırma Sisteminin alabileceği en yüksek başarı notu veya maksimum performans skoru hesaplanabilir.

Buna  $F_{\max}$  diyelim. Lineer performans fonksiyonu için,

$$F_{\max} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot (x_i)_{\max} \quad (3.11)$$

Bu gösterimde,  $(x_i)_{\max}$ , herhangi bir alt sistemin alabileceği maksimum performans skorunu simgeler.

Eğer  $(x_{imax})'$  lar birbirine eşit ve  $x_{max}$  ile gösterilirse,

$$F_{\max} = w_{sum} \cdot x_{\max} \quad (3.12)$$

olacaktır.

Bu gösterimde,

$$w_{sum} = \sum_{i=1}^n w_i \quad (3.13)$$

olmaktadır.

Non-linear performans fonksiyonu için,

$$F_{\max} = F_{D(\max)} \cdot F_{L(\max)} \quad (3.14)$$

olacaktır. Bu gösterimde,

$$F_{D(\max)} = \prod_{k=1}^{n_1} x_{k(\max)} \quad \text{ve} \quad F_{L(\max)} = \sum_{i=n_1+1}^n w_i x_{i(\max)} \quad (3.15)$$

olmaktadır.

O zaman, sistemin çalışma verimliliği  $\eta$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\eta = F / F_{\max} \quad (3.16)$$

Verimlilik 1 ile sınırlıdır ( $\eta \leq 1$ ). (3.16) denklemini başka türlü de yorumlamak söz konusu olabilir. Bir [X] sistemi, toplam  $F_{\max}$  işletme deney sayısı üzerinden F defa, tasarlandığı gibi mükemmel çalışabilir. Başka bir deyişle, sistem  $F_{\max} - F$  defa da “kusurlu”, “hatalı”, “düzensiz” veya “başarısız” çalışmış olabilir. Bu raporda, bu sözcüklerin tamamı eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. “Kusur”, “hata” veya “başarısız” sözcükleri kaza anlamına gelmeyebilir; duruma göre, elektrik kesintisini, trenin istenen hıza çıkamayacak kadar gücünü kaybetmesini, yol boyunca konuşlanan başka trenlerin arızalarını, sinyalizasyon uyumsuzluklarını veya benzeri düzensizlikleri işaret edebilir.



Böylesi bir anlayışla, verimlilik, çalışma koşullarının belirlediği “Düzenli Çalışma Frekansına” eşit alınabilir. Bu frekansın limit durumu da “Likely hood Probability of Proper Operation” veya Başarılı Çalışma Olasılığını (*PO*) tanımlar. Benzer şekilde, ulaştırma sisteminin düzensiz çalışma koşullarını, Düzensizlik veya Başarısızlık Skoru *E* ile tanımlamak söz konusu olabilir. Örneğin, Başarı Skoru *F*’nin maksimum değeri  $F_{\max}=100$  ise, Düzensizlik veya Başarısızlık Skoru da  $F_{\max}$ ’dan sapma olarak verilebilir. Matematik ifadesiyle,  $E=F_{\max}-F$  olarak tanımlanır. Bu skorun normalize değeri  $\mu$  de “Verimsizlik” olarak isimlendirilebilir ve

$$\mu = \frac{F_{\max} - F}{F_{\max}} = 1 - \frac{F}{F_{\max}} = 1 - \eta \quad (3.17)$$

olarak hesaplanabilir. Bunun limiti de Sistemin Başarısız veya Düzensiz Çalışma Olasılığı olacaktır.  $PO=1$  (veya %100) sistemin mükemmel çalıştığını gösterir.  $PO$ ’nun 1’in altına düşmesi, sistemin düzensizliğini yansıtır. Düzensiz veya Başarısız Çalışma Olasılığı da

$$PF=1-PO \text{ (“Likely hood Probability of Failure”)} \quad (3.18)$$

ile verilir.

### 3.7 BAŞARILI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESABI

Ulaştırma Sistemini bağımsız dört ana unsur veya matematik tabiri ile dört küme ile ifade etmiştik. Bu kümeleri  $\{X_1\}, \{X_2\}, \{X_3\}, \{X_4\}$  simgeleriyle gösterelim. Olasılık teorisinde, bu kümelere olay kümesi adı verilir.

Başka bir deyişle;

- $\{X_1\}$  Metro hattı işletmesinin yapısal organizasyonu ve yönetim olay kümesi
- $\{X_2\}$  Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar olay kümesi
- $\{X_3\}$  Sinyalizasyon saha donanımları olay kümesi
- $\{X_4\}$  Araç hareket ortamı olay kümesi

Bu çalışmada  $\{X_i\} \cap \{X_j\} = \Phi; i \neq j$  ve  $i, j = 1, 2, 3, 4$  kabul edilmiştir.  $\Phi$  boş kümeyi simgelemektedir. Bunlara karşı düşen alt sistem başarılı çalışma olasılıkları da  $P(X_1)$ ,  $P(X_2)$ ,  $P(X_3)$  ve  $P(X_4)$  ile gösterilirse, Lineer Performans Fonksiyonu ile tanımlanan ulaştırma veya taşıma sisteminin başarılı çalışma olasılığı,

$$PO = \sum_{i=1}^{n=4} \alpha_i P(X_i) \leq 1 \quad (3.19)$$

olacaktır. Böylesi bir bakış açısı ile  $PO = \lim_{F_{\max} \rightarrow \infty} \frac{F}{F_{\max}}$  olmaktadır.

Detaylı açılımda,  $F_i = x_i$ ,  $F_{i(\max)} = x_{i(\max)}$  alınarak,  $P(x_i) = \lim_{F_{i(\max)} \rightarrow \infty} \frac{F_i}{F_{i(\max)}}$  olarak hesaplanır. Ayrıca,  $\alpha_i$  katsayıları tasarım parametresi olup, “i” indeksli terimin etkinliğini vurgular ve  $\alpha_i = \frac{w_i}{w_{\text{sum}}}$  olarak hesaplanmaktadır. Buna göre, ana unsurların

“etkinlik katsayıları”  $\alpha_i$ ’ların  $0 \leq \alpha_i \leq 1$  ve  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$  şartlarını sağlamalıdır. Ayrıca, başarılı çalışma olasılıkları  $P(x_i) \leq 1$  olmalıdır. Papoulis’e göre [13] (3.11), (3.19) özünde toplam olasılık görünümünde olan  $P(X)$ ’i tanımlamaktadır. Buna göre, (3.19) denklemini Bayes’ teoremi kullanılarak algılanabilir.

Bu yaklaşımda, sistem kümesi

$$\{X\} = \{X\} \cap \left\{ \bigcup_{i=1}^n X_i \right\} = XX_1 \cup XX_2 \cup \dots \cup XX_n \quad \text{olmaktadır.} \quad O \quad \text{zaman,}$$

$$P(X) = P(XX_1) + \dots + P(XX_n) \quad \text{olacaktır.} \quad \text{Şartlı olasılık tanımı} \quad P(X | X_1) = \frac{P(XX_1)}{P(X_1)} \quad \text{den}$$

$$P(X) = P(X | X_1)P(X_1) + P(X | X_2)P(X_2) + \dots + P(X | X_n)P(X_n) \quad \text{bulunur.}$$

Bu durumda, geçiş olasılığı veya şartlı olasılık diyebileceğimiz  $P(X | X_i)$  ler, etkinlik katsayılarını tanımlamaktadır. Böylece,  $\alpha_i = P(X | X_i)$  bulunur.

Her alt sistemin mükemmel çalışması halinde  $P(X_i)=1$  olacaktır. Etkinliğin ana unsurlar arasında eşit dağılımı halinde ise  $\alpha_i = 1/n$  olacaktır.  $n=4$  alınırsa uniform dağılım için,  $\alpha_i = 0.25$  olacaktır. (3.19) denklemi ile sunulan model lineerdir. Biraz daha karmaşık bir non-linear modeli aşağıdaki gibi sunabiliriz. Bu modelde,  $X_1$  ve  $X_4$  dolaylı değişkenlere ilişkin ayrık kümeler olarak kabul edilmiş ve  $X_L = X_1 \cup X_4$  olarak tanımlanmıştır. Ayrıca,  $X_3$  ve  $X_4$  doğrudan değişkenlere ilişkin kümeler olarak kabul edilmiş,  $X_D = X_3 \cap X_4$  olarak tanımlanmıştır. Buna göre,  $P_L = \alpha_1 P(x_1) + \alpha_2 P(x_4)$ ,  $P_D = P(x_2) \cdot P(x_3)$  alınarak,  $PO(X) = P_D \cdot P_L$  bağıntısından,

$$PO(X) = P(x_2) \cdot P(x_3) [\alpha_1 P(x_1) + \alpha_4 P(x_4)]; \quad \alpha_4 = (1 - \alpha_1) \quad (3.20)$$

denklemi yazılır. Bu modelde, araçların  $[X_2]$  ve hareket ortamının  $[X_3]$  başarılı çalışma olasılığını doğrudan etkilediği varsayılmıştır.

Performans fonksiyonları cinsinden (3.19) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P(x_1) = \lim_{x_1(\max) \rightarrow \infty} \frac{x_1}{x_1(\max)}; \quad P(x_2) = \lim_{x_2(\max) \rightarrow \infty} \frac{x_2}{x_2(\max)}; \quad P(x_3) = \lim_{x_3(\max) \rightarrow \infty} \frac{x_3}{x_3(\max)} \quad \text{ve}$$

$$P(x_4) = \lim_{x_4(\max) \rightarrow \infty} \frac{x_4}{x_4(\max)}$$

Ayrıca, etkinlik katsayıları  $\alpha_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_4}$ ;  $\alpha_4 = \frac{w_4}{w_1 + w_4}$  olacaktır.

Yolcu ve yüklerin başarılı çalışma olasılığına hiç etkisi yok ise, tasarım parametresi  $\alpha_1 = 1$  alınacaktır. Bu da makul bir kabuldür. O zaman,

$$PO(X) = P(x_1)P(x_2)P(x_3) \quad (3.21)$$

olacaktır.

(3.20) ile verilen olasılık modelini geliştirilebiliriz. Genelleştirilmiş yaklaşımda, daha önce yaptığımız gibi, ana unsur değişkenlerini doğrudan ve dolaylı ana unsurlar olarak iki farklı kümede ele alabiliriz. Bu yaklaşımda, dolaylı ana unsur kümesine  $X_L$  dersek  $X_L = \{X_i; i = 1, 2, \dots, n_1\}$  ile ifade edilebilir. Bu ifadede,  $n_1$  tamsayısı, dolaylı ana

unsur değişkenlerin sayısını ifade eder. Doğrudan ana unsur kümesine  $X_D$  dersek  $X_D = \{x_j; j = n_1 + 1, n_1 + 2, \dots, n\}$  ile gösterilebilir. Bu unsurlara karşı gelen başarılı çalışma olasılıklarını da  $P_L(X)$  ve  $P_D(X)$  olarak gösterelim.

Buna göre, Başarılı Çalışma Olasılığı PO

$$PO = P_L(X) \cdot P_D(X) \quad (3.22)$$

olacaktır.

Bu gösterimde,

$$P_L(X) = \sum_{i=1}^{n_1} \alpha_i P(X_i) \quad (3.23)$$

$$P_D(X) = \prod_{i=n_1+1}^n P(x_i) \quad (3.24)$$

olarak tanımlanmıştır. Sorumluluk dağıtım katsayısı  $\alpha_i$  reel olup,  $0 \leq \alpha_i \leq 1$ ;  $\sum_{i=1}^{n_1} \alpha_i = 1$  şartlarını sağlar.

(3.21) - (3.23) denklemleri performans fonksiyonları cinsinden ifade edilebilir. Buna göre,

$$P_L(X) = \lim_{F_{L(\max)} \rightarrow \infty} \frac{F_L}{F_{L(\max)}} = \left[ \frac{w_1}{w_{sum}} \lim_{x_1 \rightarrow \infty} \frac{x_1}{x_{1(\max)}} \right] + \dots + \left[ \frac{w_{n_1}}{w_{sum}} \lim_{x_{n_1} \rightarrow \infty} \frac{x_{n_1}}{n_{1(\max)}} \right] = [\alpha_1 P(x_1)] + \dots + [\alpha_{n_1} P(x_{n_1})]$$

$$P_D(X) = \lim_{F_{D(\max)} \rightarrow \infty} \frac{F_D}{F_{D(\max)}} = \left[ \lim_{x_{(n_1+1)\max} \rightarrow \infty} \frac{x_{(n_1+1)}}{x_{(n_1+1)\max}} \right] \dots \left[ \lim_{x_{(n)\max} \rightarrow \infty} \frac{x_n}{x_{(n)\max}} \right] = [P(x_{n_1+1})] \dots [P(x_n)] ;$$

$$F_D = \prod_{k=1+n_1}^n x_k; \quad F_{D(\max)} = \prod_{k=1+n_1}^n x_{k(\max)}; \quad \alpha_i = \frac{w_i}{w_{sum}} \leq 1; \quad w_{sum} = \sum_{i=1}^{n_1} w_i; \quad P(x_i) = \lim_{x_i(\max) \rightarrow \infty} \frac{x_i}{x_{i(\max)}} \quad (3.25)$$

olacaktır.

### 3.8 ÇALIŞMA DİLİMLERİ

Performans Skorları (PS) ve Ağırlık Katsayıları 100 üzerinden yapılan bir değerlendirmeyle verilebilir. Bu durumda, PS=100 mükemmel çalışmaya karşı gelir. PS' nin 100 altına düşmesi, mükemmel çalışmadan sapmaları gösterir. Bu sapmalar da, tren seferlerinde gecikmelere, duraklamalara, sefer iptalleri, kazalara kadar gidebilir.

Çalışma fonksiyonu ile hesaplanan “Performans Skorlarını” veya bunlarla ilintilendirilen olasılıkları aşağıdaki gibi sınıflandırılabiliriz.

I.	1.Derece Başarılı Çalışma	PS=90-75;	0.75<PO<1.0
II.	2.Derece Başarılı Çalışma	PS=74-60;	0.60<PO<0.74
III.	3.Derece Başarılı Çalışma	PS=59-50;	0.50<P<0.59
IV.	Riskli Çalışma	PS=49-40;	0.40<PO<0.49
V.	Kazalı Çalışma	PS=39-00;	0.0<PO<0.39

Yukarıda verilen performans skorları sonuçta, sistem veya alt sistem düzeyinde Başarılı Çalışma olasılıklarına veya verimliliğe karşı gelecektir. PS' ler veya bunlara karşı gelen PO'lar “Fuzzy Logic” veya Türkçe karşılığı “Bulanık Mantık” yaklaşımı ile güncel işletme koşullarına uygun olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım çerçevesinde, durum demiryolu işletmeciliği açısından ele alındığında, çalışma dilimlerini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

#### 3.8.1 1.Derece Başarılı Çalışma Dilimi

Gecikmesiz veya yolcular tarafından da kabul edilebilir gecikmeli tren seferleri olan bir demiryolu işletmesinin günlük çalışma koşullarını tanımlar. Bu çalışma diliminde “Kaza” kavramı yoktur. Gecikmeler, trafik yoğunluğu, yolcu yoğunluğu, yükleme, boşaltma gibi işletmeye bağlı nedenlerden kaynaklanabilir. Batı Avrupa ülkeleri

demiryolları işletmelerinde çalışan tren seferleri bu çalışma diliminde yer almaktadır. Alman Standartlar Kurumu TUV istatistiklerine göre, bu çalışma diliminden Kazalı Çalışma Dilimine düşüş olasılığı  $10^{-9}$  olarak verilmektedir.[12]

### 3.8.2 2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi

Belirgin olan ve yolcu şikâyetlerine yol açan, gecikmeli tren seferli bir demiryolu işletmesinin güncel çalışma koşullarını tanımlar. Bu çalışma diliminde de kaza kavramı yoktur. Kısmen sefer iptalleri olabilir. Şikâyetlere sebep olan tren seferlerindeki gecikmeler, hava koşullarına bağlı zorluklar veya işletme ihmallerinden kaynaklanabilir. Metro işletmesinde kabul edilebilir 2 dk sefer tehiridir. Fazlası olması durumunda sefer iptalleri doğabilir. Bu çalışma diliminden kazalı çalışma dilimine düşme olasılığı  $10^{-7}$  olarak kabul edilebilir.

### 3.8.3 3. Derece Başarılı Çalışma Dilimi

Aşırı süreli gecikmeli tren seferleri ve az hasarlı kazaları içeren bir işletmenin çalışma koşullarını tanımlar. Bakım-onarım eksikliği nedeniyle oluşan arızalar, az hasarlı kazalarda, az sayıda yaralı söz konusu olabilir. Bu çalışma diliminden kazalı çalışma dilimine düşme olasılığı  $10^{-5}$  olarak hesaplanmaktadır.

### 3.8.4 Riskli Çalışma Dilimi

Tren seferlerinde, uzun süreli arızaları, kesintili çalışmaları, sefer iptalleri ve orta derecede maddi hasarlı kazaları içeren bir işletmenin çalışma koşullarını tanımlar. Bu çalışma diliminde can kaybı olabilir. Bu çalışma diliminden kazalı çalışma dilimine düşme olasılığı  $10^{-4}$  olarak hesaplanmaktadır.

### 3.8.5 Kazalı Çalışma Dilimi

Tren Seferlerinde, büyük maddi hasarlar, can kaybı ve yaralanmayla sonuçlanan kazaları içeren bir işletmenin çalışma koşullarını tanımlar.

## 3.9 AĞIRLIK KATSAYILARININ SEÇİMİ

Ağırlık Katsayıları “ $w_{kj}$ ” da maksimum 100 üzerinden dağıtmak pratik olur. Bu katsayılar, olasılık hesabında kullanılan değişkenin sonuçtaki etkisini belirler. Örneğin, dört değişkenli bir olasılık hesabında, en önemli değişken birinci değişkense, burada

$w_1=50$  alınabilir. Önem sırasına göre bunu takip eden değişken üçüncü değişken ise,  $w_3=30$  alınabilir. Bu durumda, ikinci ve dördüncü değişkenlerin sonuca etkisi azalacaktır. Eğer her iki değişken eşit ağırlıklı ise  $w_2=10$  ve  $w_4=10$  olacaktır. Aksi halde, toplam 20 olan ağırlık ikinci ve dördüncü değişkenler arasında önem sırasına göre dağıtılabilir. Eğer  $w_2=15$  seçilirse,  $w_4=5$  olacaktır. Yukarıdaki açıklamalarımızı bir uygulama ile verelim. Dört değişkenli bir alt sistem  $[X_k]$  düşünelim. Bu durumda  $\{X_k\}$  olay kümesi  $X_k=\{X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}, X_{k4}\}$  ile gösterilir. Değişkenlere karşı gelen Performans Skorlarını ve ağırlıkları aşağıdaki gibi belirleyelim.

Tablo 3.1: Alt Sistem  $X_k=\{X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}, X_{k4}\}$ 'in Performans Skorları ve bunlara karşı düşen ağırlık katsayıları  $\{w_{kj}; j=1,2,3,4\}$

$X_{k1}$	$X_{k2}$	$X_{k3}$	$X_{k4}$	$X_{k(max)}=X_{max}$
85	75	90	95	100
$W_{k1}$	$W_{k2}$	$W_{k3}$	$W_{k4}$	$W_{sum}$
50	10	30	10	100

Lineer model yaklaşımı ile alt Sistem Performans Skoru  $X_k$

$X_k = w_{k1}X_{k1} + w_{k2}X_{k2} + w_{k3}X_{k3} + w_{k4}X_{k4}$  olacaktır. Buna karşı gelen verimliliği veya başarılı

çalışma olasılığını yaklaşık olarak  $P(X_k) \approx \frac{w_{k1}}{W_{sum}} \frac{X_{k1}}{X_{max}} + \frac{w_{k2}}{W_{sum}} \frac{X_{k2}}{W_{sum}} + \frac{w_{k3}}{W_{sum}} \frac{X_{k3}}{X_{max}} + \frac{w_{k4}}{W_{sum}} \frac{X_{k4}}{X_{max}}$

denklemleri ile hesaplayabiliriz. Bu denklemde, her değişkenin maksimumunun aynı olduğu

varsayılmış ve  $X_{max}=100$  alınmıştır. Alt sistemin Etkinlik katsayılarına  $\lambda_{kj} = \frac{w_{kj}}{W_{sum}}$  ve

verimlilik veya başarılı çalışma olasılığına da  $P(X_{kj}) = \frac{X_{kj}}{X_{max}}$  dersek,  $P(X_k)$  Tablo 3.2' de

olduğu gibi hesaplanabilir.

Yukarıda verilen hesaplama yöntemine göre önce, alt sistem değişkenlerinin performans skorları ve bunlara karşı gelen ağırlıklar belirlenir. Bunlar bir tasarım parametresi olarak da algılanabilir. Algoritmik bir bakış açısıyla, sistem değişkenlerini ve bunlara karşı gelen ağırlıkları, algoritmanın giriş değerleri olarak ele almak mümkündür. Daha sonra, algoritma içinde, düz olasılık hesapları yapılmakta, bunu ağırlıklı veya etkinlikli olasılık hesapları izlemektedir. Sonuç olarak, algoritmanın çıktısı alt sistemin çalışma

olasılığı olmaktadır. Hesaplamaların sonunda da alt sistem başarılı çalışma olasılığına bakılarak, alt sistemin “Bulanık Mantık” yaklaşımıyla belirlenen hangi çalışma dilimine girdiği belirlenir. Sistemin Başarılı Çalışma dilimleri veya aralıkları Tablo 3.3 de verilmiştir.

Buna göre Başarılı Çalışma Algoritmasını aşağıdaki gibi verebiliriz.

Tablo 3.2: Örneğe ilişkin olasılık hesapları

<b>Giriş Değişkenleri</b>	85	75	90	95	100
	$w_{k1}$	$w_{k2}$	$w_{k3}$	$w_{k4}$	$w_{sum}$
<b>Ağırlıklar</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>100</b>
Düz Olasılık Hesapları	$P(X_{k1})$	$P(X_{k2})$	$P(X_{k3})$	$P(X_{k4})$	
	0,85	0,75	0,9	0,95	
Etkinlik Katsayıları	$\lambda_{k1}$	$\lambda_{k2}$	$\lambda_{k3}$	$\lambda_{k4}$	$\lambda_{k(sum)}$
	0,5	0,1	0,3	0,1	1
	$\lambda_{k1}P(X_{k1})$	$\lambda_{k2}P(X_{k2})$	$\lambda_{k3}P(X_{k3})$	$\lambda_{k4}P(X_{k4})$	
Ağırlıklı Olasılık hesabı	0,425	0,075	0,27	0,095	0,865
<b>Çıktı</b>		$P(X_k)$	<b>0,865</b>		

### 3.10 ALGORİTMA: BAŞARILI ÇALIŞMA OLASILIĞININ HESABI

Hazırlıklar

- Sistem değişkenleri için bir maksimum performans skoru  $X_{max}$ 'ı belirlenir. Pratik açıdan, tüm değişkenlere karşı gelen performans skorunun aynı skala ile belirlenmesi kolay olur. Hesaplarda sadelik sağlar. Bu nedenle  $X_{max}=100$  seçilebilir.
- Sistem değişkenlerine karşı gelen ağırlık katsayılarını sabit bir  $w_{sum}$  skoru üzerinden dağıtmak pratik olur. Hesaplarda sadelik sağlar. Bu nedenle  $w_{sum}$  skoru 100 olarak seçilebilir.
- Başarılı çalışma olasılığının hesabı için, önce çalışma fonksiyonunun formu seçilir. Bu fonksiyon, değişkenler cinsinden lineer veya nonlineer olabilir.



## Girdiler

- Çalışma fonksiyonunun formunu belirle.
  - Fonksiyon lineer ise toplam değişken sayısı “n” yi gir.
  - Fonksiyon nonlinear ise, dolaylı ( $n_1$ ) ve doğrudan ( $n_2$ ) değişken sayılarını gir ( $n=n_1+n_2$ ).
- Sistem değişkenlerine dönük olarak performans skorlarını gir. Bu skorların en yüksek değeri  $X_{max}$  geçemez.
- Sistem değişkenlerine dönük ağırlık katsayılarını, değişkenlerin sistem içindeki etkinliğini düşünerek belirle.

## Stepler

- Step 1: Etkinlik katsayılarını hesapla.
- Step 2: Sistem değişkenlerine dönük ağırlıksız başarılı çalışma olasılıklarını hesapla.
- Step 3: Her değişkene dönük olarak etkinlikli başarılı çalışma olasılığını hesapla.
- Step 4: Sistem genelinde Başarılı Çalışma Olasılığını hesapla.
- Step 4: Tablo 3.3'den, Başarılı Çalışma Dilimini belirle.

Not: Yukarıdaki steplerde (3.19-3.25) denklemleri kullanılacaktır.

## Çıktılar

- Sistem veya alt sistemin başarılı çalışma olasılığı
- Sistemin Başarılı Çalışma Dilimi

Tablo 3.3: Bulanık Mantık yaklaşımı ile belirlenen Başarılı Çalışma Dilimleri

ÇALIŞMA KOŞULLARININ TASNİFİ		
Çalışma Koşulu Tanımı	Başarılı Çalışma Olasılığı Dilimi	Açıklamalar
1.Derece Başarılı Çalışma Dilimi (Çok İyi Düzey)	$0.75 < PO < 1.0$	Yolcular tarafından da kabul edilebilir gecikmeli tren seferleri olan bir işletmenin çalışma koşullarını tanımlar
2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi (İyi Düzey)	$0.60 < PO < 0.74$	Belirgin ve şikâyetlere sebep olabilecek gecikmeler ve sefer iptallerini tanımlar
3. Derece Başarılı Çalışma Dilimi (Orta Düzey)	$0.50 < P < 0.59$	Aşırı süreli gecikmeler, az hasarlı kazalar olabilir.
Riskli Çalışma Dilimi (Riskli Düzey)	$0.40 < PO < 0.49$	Uzun süreli arızalar, kesintili çalışma, sefer iptalleri. Orta derecede maddi hasarlı kazalar.
Kazalı Çalışma Dilimi (Olağanüstü koşullar)	$0.0 < PO < 0.39$	Büyük maddi hasarlı, can kaybı ve yaralanmayla sonuçlanan kazalar.

Üzerinde çalıştığımız örnek için,  $P(X_k)=0.865$  bulunmuştur. Buna göre alt sistem “Çok İyi Düzey” çalışma aralığındadır.

## 4. BULGULAR

Sistem yaklaşımı ile Aksaray-Havalimanı metro hattı üzerindeki sinyalizasyon sistemi bir işletme olarak ele alınıp, çalışma performansları incelenmiştir. Sistem yaklaşımının amacı, işletme sisteminin çalışma başarısını veya performansını, sistemin alt blokları ve bu blokları oluşturan alt grupların ölçülebilir performansları yardımı ile belirleyebilmektir. Bu bakış açısı ile işletme sisteminin, alt blokları ve bunlara ilişkin alt gruplar, sistem değişkenleri olarak tanımlanmıştır.

Sistem değişkenleri, parametreler olarak kabul edilmiş ve bu parametreler “olağan” (veya “günlük”) diyebileceğimiz koşullar için belirlenmiştir. İşletme Sisteminin parametreleri, alt grupların “sayısal performans değerleri (spd)” ile bunlara ilişkin “ağırlıklar” veya “etkinlik katsayıları” olmaktadır. Parametreler, ölçülebilir, öngörülebilir büyüklüklerdir.

Bu yaklaşımda, maddi hasara, yaralanmalara ve can kayıplarında sebep olan kaza durumları “olağan üstü koşullar” olarak tanımlanırsa, bu durumlar için, sistem parametrelerinin nasıl değiştiği, değişik senaryolarla irdelenebilir.

Bu anlayışla, Aksaray-Havalimanı metro hattında çalışan bir tren seferi, bu hatta ilişkin işletmenin idari ve teknik katkısı ile birlikte düşünülerek, “parametrik” bir sistem olarak tanımlanmış ve bu sistemin parametreleri de, sayısal performans değerleri (veya skorları) ve bunlara ilişkin ağırlıklar olarak belirlenmiştir. Sistem parametrelerinin belirlenmesinde, işletmenin değerli uzmanlarının görüşleri, Bağımsız Bilim Kurulunun (BBK)’nın yaptığı bilimsel çalışmalar ve bunlara ilişkin bulgular ile ulusal ve uluslararası standartlar ve İstanbul Ulaşım AŞ (IUAS) dosyalarında yer alan son 20 yıl’a ilişkin sefer bilgileri ve istatistiklerden yararlanılmıştır.

Bir işletmenin tümünü içeren çalışma performansı 100 üzerinden verilen bir sayısal performans değeri veya “Çalışma Verimliliği” ile ölçülebilir. Örneğin, mükemmel çalışan bir işletme için sayısal performans değeri veya skoru PS=100 olacaktır veya

buna karşı gelen çalışma verimliliği de  $\eta=100\%$  olacaktır. “Çalışma verimliliği”, “güvenlik” ve “güvenilirlik” kavramları ile de örtüşür. Bu kavramları “Başarılı Çalışma Olasılığı”, tanımını altında toplayabiliriz. Mükemmel çalışan bir sistem için Başarılı Çalışma Olasılığı  $P(X)=100\%$  veya 1 olarak verilebilir. Verimliliğin  $90\%$  olması, sayısal performans değerini 90’a çeker. Bu durumda  $P(X)=0,9$  olur. Bu yaklaşımla, bir tren seferinin “çalışma durumunu veya konumunu (İngilizce tabiri ile operational state’ni)” işletmenin sunduğu hizmet düzeyi yönünden aşağıda verilen tablodaki gibi sınıflandırmak mümkündür. Bu tablo’daki “Durum”lar (İngilizce karşılığı “Saate” ler) veya “Çalışma Dilimleri” en tepede, mükemmel çalışmadan başlayarak, başarılı çalışma düzeyini azaltarak, kaza konumuna kadar düşmektedir. Her çalışma diliminin olasılık aralığı orta kolonda yer almaktadır. Bunun da açıklaması son kolonda verilmiştir. Örneğin, bu tablodaki en başarılı çalışma dilimi “Çok iyi düzey” çalışma dilimi olarak isimlendirilmiş ve en tepede yer almıştır. İkinci konumdaki çalışma dilimi “iyi düzey” olarak isimlendirilmiş ve ilk dilime göre daha az başarılı olarak tanımlanmıştır. Bundan sonra, daha az başarılı bir çalışma dilimi gelmektedir. Buna da “Orta Düzey” çalışma dilimi adı verilmektedir. Bu düzeydeki çalışmada aşırı süreli gecikmeler beklenir. Değişik nedenlerden dolayı, az hasarlı kazalar, “on bin de bir olasılıkla da olsa”, söz konusu olabilir. Bölüm 3.10’daki Tablo 3.3’de bu çalışma dilimleri özet halinde verilmiştir.

Sistem yaklaşımında metro sinyalizasyon sistemi 4 ana unsur dikkate alınarak irdelenmiştir. Bu unsurlar aşağıda sıralanmıştır.

- I. Metro hattı işletmesinin yapısal organizasyonu ve hattın yönetim [ $X_1$ ]
- II. Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar [ $X_2$ ]

Tren seferlerinin zaman çizelgelerine uygun olarak düzenli ve güvenli bir şekilde düzenlenebilmesi, uzaktan yönetim esası ile sevk ve idaresinde görevli personeller ve hat yönetim merkez yazılım ve donanımları (Interlocking bilgisayarları, operatör panelleri, haberleşme ekipmanları vs..)

Taşımayı gerçekleştiren çeken ve çekilen araçlar, bu araçları imal eden-kullanan-yöneten-denetleyen-bakım ve arızaları ile ilgilenen görevliler (insan faktörü) ve araç üstü donanımlar (ATC, Balise anten, disk ve ray frenleri, takometre, uyarı ve kontrol panelleri vs...)

### III. Sinyalizasyon saha donanımları [X<sub>3</sub>]

Güzergâh boyunca seferlerin başarılı ve tam zamanlı düzenlenebilmesi için uzaktan veya lokal yönetim ve güvenlik sistemleri (Sinyal lambaları, Balisler, otomatik kontrollü makaslar, ray devreleri vs...)

### IV. Araç hareket ortamı [X<sub>4</sub>]

Hatların üst yapıları (Ray, Travers, Balast, Bağlantı Elemanları, Tünel, Platform ve viyadük gibi)

Her ana blok, alt grupları ile incelenebilir. Buna göre;

#### I. Metro hattı işletmesinin yapısal organizasyonu ve hattın yönetim [X<sub>1</sub>]

##### 1) İdari Organizasyon (X<sub>11</sub>)

- a. Personel: Görev tanımları, Görevlendirme yapısı ve işlevlendirme usulleri (işe göre adam veya adama göre iş anlayışı) (X<sub>11A</sub>)
- b. Personelin Psikolojik/Sağlık Durumları: işletmeye dönük personelin psikolojik ve sağlık durumlarının takibi ve tedavisi periyodik sağlık taraması (X<sub>11B</sub>)
- c. Meslek içi Eğitim (X<sub>11C</sub>)
- d. Diğer etkili parametreler (İzinler, İnsan İlişkileri, Fazla Mesailer, Dinlenme, Satın alma, Ücret Politikaları vs...) (X<sub>11D</sub>)

##### 2) Teknik Organizasyon (X<sub>12</sub>)

- a. Teknik Kadrolaşma Kabiliyeti (X<sub>12A</sub>)

- b. Bakım Onarım Kabiliyeti (çeken, çekilen araçlar için muayene ve tamir atölyeleri ile depolama tesisleri, sinyalizasyon ekipmanları bakım ve onarımları,) (X<sub>12B</sub>)
  - c. Yedek Parça ve Depo Kabiliyeti (sinyalizasyon saha ve araç üstü donanımların kritik yedek stoklarının yeterliliği) (X<sub>12C</sub>)
  - d. Diğer (Teknoloji Düzeyi, Güncel Teknolojiye uyum, Teknik Kalite, Satın alma, Mali imkânlar) (X<sub>12D</sub>)
- 3) İşletmeyi belli standartlara uygun olarak yürütebilmek için esasları belirleyen, bu esaslara ilişkin dokümanları üreten, işletme esaslarını uygulayan, denetleyen birim veya birimler (İşletme yaptırımları ve Kalite Kontrol Birimi gibi) (X<sub>13</sub>)
- a. Doküman hazırlama ve yenileme (X<sub>13A</sub>)
  - b. Bilgi toplama, işleme ve dağıtım (X<sub>13B</sub>)
  - c. İşletme Talimatlarını Uygulama ve Denetim (X<sub>13C</sub>)
  - d. Diğer (X<sub>13D</sub>)
- 4) Yönetim Destek Araçları (Bilişim Teknolojileri vs gibi) (X<sub>14</sub>)
- a. Bilgisayar Donanım ve Bilgi ağları Altyapısı(X<sub>14A</sub>),
  - b. İdari yönetim yazılımları (Depo, Muhasebe, karar-destek, işletme yazılımları gibi)(X<sub>14B</sub>)
  - c. Teknik yazılımlar (Simülatör Programları: Adams- Rail, Vampire, Matlab-Math Rail, Railsim, Matcad, Simulink, AutoCad gibi ) (X<sub>14C</sub>)
  - d. Diğer (X<sub>14D</sub>)
- 5) Kaynak Kullanımı Kabiliyeti (X<sub>15</sub>)
- a. Mevcut Alt yapıyı koruma (X<sub>15A</sub>)
  - b. Kısa vadeli yatırımlar (Modifikasyon Kabiliyeti için) (X<sub>15B</sub>)
  - c. Orta ve Uzun vadeli yatırımlar (Modernizasyon Kabiliyeti vs.) (X<sub>15C</sub>)
  - d. Diğer (Milli ARGE ve Üretim Kabiliyetini Geliştirmek gibi) (X<sub>15D</sub>)
- 6) ARGE ve Üretim Kabiliyeti (X<sub>16</sub>)
- a. Tasarım Kabiliyeti (X<sub>16A</sub>)

- b. Uygulama Kabiliyeti ( $X_{16B}$ )
- c. Üretim kabiliyeti ( $X_{16C}$ )
- d. Diğer ( $X_{16D}$ )

7) Seyir-Sefer Sertifikasyon Kabiliyeti ( $X_{17}$ )

- a. Ulusal Talimatlara Uyum ( $X_{17A}$ )
- b. Uluslararası Standartlara Uyum ( $X_{17B}$ )
- c. Güncel İşletmeden Bağımsızlık ( $X_{17C}$ )
- d. Diğer ( $X_{17D}$ )

II. Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar [ $X_2$ ]

1. Sistemde yer alan araçların tasarımıyla belirlenen teknik standartlara uygunluğu ( $X_{21}$ )

- a. Araçların güç performansları ( $X_{21A}$ )
- b. Hız ve Dinamik Fren Sistem ( $X_{21B}$ )
- c. Araç Hava Freni ve dizi freni ( $X_{21C}$ )
- d. Diğer Bogi, Dingil, Tekerlek, süspansiyon sistemi gibi yol almada kritik öneme sahip mekanik hizmet donanımları ( $X_{21D}$ )

2. Araç İzleme ve Denetim Sistemi (İnsanlar ve Elektronik Sistemler) ( $X_{22}$ )

- a. İnsanla İzleme ve Denetim (Makinist Etkinlikleri: Uygulanan hız ve gidilen mesafenin ve istasyonlara giriş zamanlamasının izlenmesi, durumun yazılı doküman olan sefer zaman çizelgesi ile karşılaştırılması, sinyalizasyon ve trafik işaretlerinin izlenmesi vs. ) ( $X_{22A}$ )
- b. Makine ve teçhizatla İzleme ve Denetim (Araçta yer alan, hız göstergesi, Takometre, güzergâh bilgisi, GPS ile yer ve kilometre tayini gibi) ( $X_{22B}$ )
- c. Kontrol Merkezi ile İzleme ve denetim (operatör etkinlikleri sinyalizasyon, hat bloklarının, makas bilgilerinin izlenmesi, hız takibi gibi) ( $X_{22C}$ )

- d. Diğer (Sefer zaman Cetveli, Hat üzerindeki bilgiler: Hat kenarı direk üstü Kilometre Bilgisi, Trafik-Hız uyarı işaretleri.) (X<sub>22D</sub>)
3. Araç Yönetim Sistemi (İnsanlar ve Makine/Elektronik Sistemler). (X<sub>23</sub>)
- a. İnsanla Yönetim (Makinistler) (X<sub>23A</sub>)
  - b. Makine ve teçhizatla Yönetim (Yol Bilgisayarı, Hız Kontrol Sistemi, GPS vs) (X<sub>23B</sub>)
  - c. Kontrol Merkezi ile Yönetim (Anklaşman bilgisayarı, operatör mimik ekranları vs.) (X<sub>23C</sub>)
  - d. Haberleşme Sistemi (RF anten vs.) (X<sub>23D</sub>)
  - e. Diğer (Sefer Çizelgesi, Makinistlerin Hafızasındaki sefer cetveli, gibi) (X<sub>23E</sub>)

### III. Sinyalizasyon saha donanımları [X<sub>3</sub>]

1. Sinyal Lambaları (X<sub>31</sub>)
- a. Sinyal lamba beslemeleri (X<sub>31A</sub>)
  - b. Sinyal lamba akım kontrol kartları (X<sub>31B</sub>)
  - c. Sinyal Merkezi işlem birimleri (X<sub>31C</sub>)
  - d. Balise bağlantı birimleri (X<sub>31D</sub>)
  - e. Sinyal ampulleri (X<sub>31E</sub>)
  - f. Baliseler (X<sub>31F</sub>)
  - g. Diğer (Kablo, sigorta vs.) (X<sub>31G</sub>)
2. Otomatik Kontrollü makaslar (X<sub>32</sub>)
- a. Makas motoru (X<sub>32A</sub>)
  - b. Redüktör ve dişlileri (X<sub>32B</sub>)
  - c. Makas üç faz kontrol kartları (X<sub>32C</sub>)
  - d. Makas Merkezi işlem birimleri (X<sub>32D</sub>)
  - e. Makas tahrik ve ölçü kolları (X<sub>32E</sub>)
  - f. Makas yön tayin kontakları ve ölçüm kartları (X<sub>32F</sub>)
  - g. Lokal kontrol direği (X<sub>32G</sub>)
  - h. Manüel Makas tanzim kolu (X<sub>32H</sub>)
  - i. Diğer (Kablo, sigorta vs.) (X<sub>32I</sub>)



3. Ray devreleri ( $X_{33}$ )
  - a. Ray Besleme trafoları ( $X_{33A}$ )
  - b. Ray besleme geri dönüş ölçüm trafo ve röleleri ( $X_{33B}$ )
  - c. İzole cebireler ( $X_{33C}$ )
  - d. Diğer (Sigorta, parafudr, besleme kabloları ve ray bağlantı noktaları vs.) ( $X_{33D}$ )
4. Sinyalizasyon saha kabinetleri ( $X_{34}$ )
  - a. Kabinet güç üniteleri ve kesintisiz güç kaynakları ( $X_{34A}$ )
  - b. Kabinet kontrolör ve haberleşme kartları ( $X_{34B}$ )
  - c. Diğer (Haberleşme kabloları, topraklama, sigorta ve diyot bağlantıları vs.) ( $X_{34C}$ )

#### IV. Araç hareket ortamı [ $X_4$ ]

1. Traversler ( $X_{41}$ )
2. Balast ( $X_{42}$ )
3. Hava Durumu ( $X_{43}$ )
4. Raylar ( $X_{44}$ )
5. Alt zemin yapısı ( $X_{45}$ )
6. Teknik binalar ve teçhizatlar ( $X_{46}$ )
7. Enerji sistemleri ( $X_{47}$ )

### 4.1 BAŞARILI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESAPLARI

#### 4.1.1 Yapısal organizasyon ve Yönetim kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı $P(X_1)$

Yapısal organizasyon ve Yönetim alt bloğunu veya  $\{X_1\}$  olay kümesini 7 alt başlık altında verilmişti. Başka bir deyişle  $\{X_1\} = \{X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, \}$  bu gösterimde,

$X_{11}$  İdari Organizasyon olay kümesini,

$X_{12}$  Teknik Organizasyon olay kümesini,

X<sub>13</sub> İşletmeyi belli standartlara uygun olarak yürütebilmek için esasları belirleyen, bu esaslara ilişkin dokümanları üreten, işletme esaslarını uygulayan, denetleyen olaylar kümesini,

X<sub>14</sub> Yönetim Destek Araçları olaylar kümesini,

X<sub>15</sub> Kaynak Kullanımı Kabiliyeti olayları kümesini,

X<sub>16</sub> ARGE ve Üretim olayları kümesini,

X<sub>17</sub> Seyir-Sefer Sertifikasyon olaylar kümesini göstermektedir.

Bu kümelerden ilk altısının dolaylı değişkenlere karşı geldiğini, yedincisinin de diğerlerini doğrudan etkilediğini varsayalım. Bu durumda;

$$P(X_1) = P(x_{17}) \cdot \sum_{j=1}^6 \beta_{1j} P(x_{1j}) \quad (4.1)$$

olacaktır.

Bu gösterimde  $\beta_{1j}$ , bir tasarım parametresi olup, “alt-etkinlik” katsayısıdır. Uniform dağılımın yapılması halinde  $\beta_{1j} = \frac{1}{6}$  olacaktır. Dağılımın uniform olmaması halinde, alt-etkinlik katsayısı  $\beta_{1j}$ ,  $0 \leq \beta_{1j} \leq 1$ ;  $\sum_{j=1}^m \beta_{1j} = 1$  şartlarını sağlar. Ayrıca  $P(X_{1j}) \leq 1$  olmalıdır.

Yukarıda verilen 7 ana başlığın alt gruplarını detaylandıralım.

İdari organizasyon altında, İstanbul Ulaşım AŞ (IUAS) yönetim şeması vardır. Bu şemada, yer alan yönetim bloklarının işletmeyi sağlıklı bir şekilde yönetebilme kabiliyetlerine sahip olması beklenir. Özellikle, idari ve teknik kararların işletmecilik açısından bağımsız olması beklenir. İdari organizasyon içinde, insan kaynakları yönetimi başarılı işletmecilik açısından fevkalade önem arz etmektedir. Buna göre, idari organizasyon alt guruplarını aşağıdaki gibi basitleştirebiliriz.

- X<sub>11A</sub>: İş tanımlarına göre, o işin eğitimini almış personelin istihdam kabiliyeti
- X<sub>11B</sub>: Personel Sağlık/Psikolojik Takip (özellikle makinistlerde)
- X<sub>11C</sub>: Personelin meslek içi eğitimi
- X<sub>11D</sub>: Diğer idari hususlar (personel izinleri, ücret politikaları, mesailer ...)

Yukarıdaki değişkenlere bağlı olarak  $P(X_{11})$  olasılık hesabını aşağıdaki gibi ele alabiliriz.

$$P(X_{11})=\lambda_{11A}P(X_{11A})+\lambda_{11B}P(X_{11B})+\lambda_{11C}P(X_{11C})+\lambda_{11D}P(X_{11D}) \quad (4.2)$$

$$\lambda_{11A}+\lambda_{11B}+\lambda_{11C}+\lambda_{11D}=1 \quad (4.3)$$

olmalıdır.

Olasılık hesabı performans skorları cinsinden yapılabilir.

IUAS işletmesi için, yukarıdaki değişkenlerin tamamını maksimum  $X_{\max}=100$  üzerinden verilen bir performans skoru ile belirlersek,  $P(X_{11})$  Tablo 4.1 ile hesaplanabilir. Bu tabloda, Performans Skorları olarak  $X_{11A}=80$ ,  $X_{11B}=100$ ,  $X_{11C}=80$  ve  $X_{11D}=100$  olarak seçilmiştir.

Bu skorların anlamı şudur;

- Personellerin %80'i aldığı eğitime ve geçmiş tecrübelerine uygun işlerde istihdam edildiği,
- İşletmeye dönük olarak makinistlerin tamamı periyodik olarak sağlık ve psikolojik testlerinden geçtiği, diğer birimlerdeki çalışanların periyodik muayenelerinin yapıldığı tespit edilmiştir.
- Personellerin %80'inin gerekli meslek içi eğitimi aldığı tespit edilmiştir. IUAS bünyesindeki çalışan personeller için çok ciddi eğitim yatırımları yapılmaktadır. İşletmeyi doğrudan etkileyen makinistler için konusunda uzman personeller tarafından 3 aylık eğitim verilmektedir. Diğer personeller için gerekli olan forklift, unimog, sepetli araç operatör eğitimleri, yüksekte çalışma, ISG, ilkyardım gibi iş ve işçi güvenliği eğitimleri profesyonel firmalardan alınmaktadır. Bilgi teknolojileri, mimari tasarım sistemleri ve diğer teknik uygulamalar için gerekli eğitimlerin alınmasında hiçbir problem bulunmamaktadır.
- Ayrıca, personelin, özlük haklarına ilişkin izinlerinde, mesailerinde ve ücretlerini almalarında herhangi bir aksaklığa rastlanmamıştır.

Alt-etkinlik katsayıları  $\lambda_{ij}$ 'lerde ağırlık katsayıları “( $w_{ij}$ )”ler cinsinden hesaplanır. Tüm ağırlık katsayılarını da maksimum  $w_{max}=100$  üzerinden verebiliriz. Ulaşım aş çalışma koşullarında, ilk üç değişkenin çalışma olasılığı hesaplarında eşit ağırlıklı olduğu, sonuncusunun ise daha az etkili olduğu varsayımı ile  $w_{13A}=35$ ,  $w_{11B}=25$ ,  $w_{11C}=30$  ve  $w_{11D}=10$  olarak alınabilir. Buna göre, alt etkinlik katsayıları  $\lambda_{11A}=0.35$ ,  $\lambda_{11B}=0.25$ ,  $\lambda_{11C}=0.3$   $\lambda_{11D}=0.1$  olarak hesaplanır. Bu değerleri (4.2) denkleminde kullanarak,  $P(X_{11})=0.877$  bulunur.

Tablo 4.1: IUAS için P(X11) hesabı

<b><i>P(X<sub>11</sub>) HESABI: İDARİ ORGANİZASYON</i></b>					
	Personel İstihdam Kabiliyeti	Sağlık/Psikoloji Takibi	Meslek içi Eğitim	Diğer	Maksimum Skor
	<b><i>X<sub>11A</sub></i></b>	<b><i>X<sub>11B</sub></i></b>	<b><i>X<sub>11C</sub></i></b>	<b><i>X<sub>11D</sub></i></b>	<b><i>X<sub>MAX</sub></i></b>
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	80	99	80	100	100
	P(X <sub>11A</sub> )	P(X <sub>11B</sub> )	P(X <sub>11C</sub> )	P(X <sub>11D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,8	1	0,8	1	
	<b><i>w<sub>11A</sub></i></b>	<b><i>w<sub>11B</sub></i></b>	<b><i>w<sub>11C</sub></i></b>	<b><i>w<sub>11D</sub></i></b>	<b><i>Σw<sub>ij</sub></i></b>
<b><i>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></i></b>	30	30	30	10	100
	<b><i>λ<sub>11A</sub></i></b>	<b><i>λ<sub>11B</sub></i></b>	<b><i>λ<sub>11C</sub></i></b>	<b><i>λ<sub>11D</sub></i></b>	SUM(λ)
<b><i>Etkinlik Katsayıları λ</i></b>	0,3	0,3	0,3	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{11A} * P(X_{11A})$	$\lambda_{11B} * P(X_{11B})$	$\lambda_{11C} * P(X_{11C})$	$\lambda_{11D} * P(X_{11D})$	<b><i>P(X<sub>11</sub>)</i></b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,24	0,297	0,24	0,1	<b><i>0,877</i></b>

Benzer şekilde, Teknik Organizasyon değişkeni  $X_{12}$  aşağıdaki alt guruplardan oluşur.

$X_{12A}$ : Teknik Kadrolaşma Kabiliyeti,

$X_{12B}$ : Bakım-Onarım Kabiliyeti,

$X_{12C}$ : Yedek Parça ve Depo Kabiliyeti,

$X_{12D}$ : Diğer hususlar.

Bu durumda,

$$P(X_{12}) = \lambda_{12A}P(X_{12A}) + \lambda_{12B}P(X_{12B}) + \lambda_{12C}P(X_{12C}) + \lambda_{12D}P(X_{12D}) \quad (4.4)$$

$$\lambda_{12A} + \lambda_{12B} + \lambda_{12C} + \lambda_{12D} = 1 \quad (4.5)$$

olmalıdır.

IUAS için  $P(X_{12})$  Tablo 4.2’de hesaplanmıştır. Bu tabloda, IUAS çalışma koşulları dikkate alınarak, konularında uzman 10 mühendisle yapılan değerlendirmeler sonucunda performans skorları olarak  $X_{12A}=90$ ,  $X_{12B}=90$ ,  $X_{12C}=90$  ve  $X_{12D}=100$  olarak seçilmiştir.

Bu değerlerin anlamı şudur:

- İnsan kaynakları biriminden alınan kayıtlara göre IUAS bünyesinde teknik birimlerde 4 doktor mühendis, 34 yüksek mühendis, 195 mühendis çalışmaktadır. Bu durumda teknik kadrolaşma kabiliyeti oldukça iyi seviyede olduğu görülmektedir. ( $X_{12A}=90$ )
- Rastgele seçilen 100 ekipmanın 90’inde bakım-onarım faaliyetlerinin düzgün gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bütün birimlerin bakım ve test prosedürleri düzenli bir şekilde takip edilmektedir. Esenler kampüsü içerisinde yaklaşık 2400 m<sup>2</sup>’lik araç bakım atölyesi bulunmaktadır. IUAS bakım ve onarım faaliyetleri için çok yeterli seviyededir.
- Depolarda olması gereken yedek parçaların %90’ı mevcuttur veya hemen temin edilebilecek durumdadır.
- Diğer ihtiyaçların kusursuz temin edildiği varsayılmıştır.

Teknik konularda uzman 10 mühendisle yaptığımız görüşmelerde, ağırlık katsayıları  $w_{12A}=30$ ,  $w_{12B}=40$ ,  $w_{12C}=20$  ve  $w_{12D}=10$  olarak belirlenmiştir. Buna göre, alt-etkinlik katsayıları  $\lambda_{12A}=0.3$ ,  $\lambda_{12B}=0.4$ ,  $\lambda_{12C}=0.2$   $\lambda_{12D}=0.1$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerleri (4.4) denkleminde kullanarak,  $P(X_{12})=0.82$  bulunur.

Tablo 4.2: IUAS için  $P(X_{12})$  hesabı

<b><i>P(X<sub>12</sub>) HESABI: TEKNİK ORGANİZASYON</i></b>					
	Teknik Kadrolaşma Kabiliyeti	Bakım-Onarım Kabiliyeti	Yedek Parça ve Depo Kabiliyeti	Diğer	Maksimum Skor
	<b><i>X<sub>12A</sub></i></b>	<b><i>X<sub>12B</sub></i></b>	<b><i>X<sub>12C</sub></i></b>	<b><i>X<sub>12D</sub></i></b>	<b><i>X<sub>MAX</sub></i></b>
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	90	90	90	100	100
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,9	0,9	1	
	<b><i>W<sub>12A</sub></i></b>	<b><i>W<sub>12B</sub></i></b>	<b><i>W<sub>12C</sub></i></b>	<b><i>W<sub>12D</sub></i></b>	<b><i>ΣW<sub>ij</sub></i></b>
<b><i>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></i></b>	30	40	20	10	100
	<b><i>λ<sub>12A</sub></i></b>	<b><i>λ<sub>12B</sub></i></b>	<b><i>λ<sub>12C</sub></i></b>	<b><i>λ<sub>12D</sub></i></b>	SUM(λ)
<b><i>Etkinlik Katsayıları λ</i></b>	0,3	0,4	0,2	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{12A} * P(X_{12A})$	$\lambda_{12B} * P(X_{12B})$	$\lambda_{12C} * P(X_{12C})$	$\lambda_{12D} * P(X_{12D})$	<b><i>P(X<sub>12</sub>)</i></b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,27	0,36	0,18	0,1	<b><i>0,91</i></b>

İşletme standartları ve dokümantasyon hazırlama ( $X_{13}$ ) değişkenini aşağıdaki alt gruplara ayırabiliriz.

$X_{13A}$ : Doküman Hazırlama ve güncelleştirme,

$X_{13B}$ : Bilgi Toplama – İstatistik çıkarma ve Bilgi Dağıtım,

$X_{13C}$ : İşletme Talimatlarını Uygulama ve Denetim,

$X_{13D}$ : Diğer.

Bu durumda,

$$P(X_{13})=\lambda_{13A}P(X_{13A})+\lambda_{13B}P(X_{13B})+\lambda_{13C}P(X_{13C})+\lambda_{13D}P(X_{13D}) \quad (4.6)$$

verilebilir. Olasılık hesabı performans skorları cinsinden yapılabilir.

IUAS için  $P(X_{13})$  hesabı Tablo 4.3'te verilmiştir. Bu tabloda, Performans Skorları olarak  $X_{13A}=80$ ,  $X_{13B}=80$ ,  $X_{13C}=80$  ve  $X_{13D}=100$  olarak seçilmiştir.

Bu skorların açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- Aksaray-Havalimanı hattı için ihtiyaç duyulan dokümanların %80'i hemen temin edilmektedir. Özellikle standartları temin etmekte bir sorun yoktur. Kitap, proje dökümanları, Ulusal makaleler, prosedürler, kurallar gibi dökümanlara ulaşmada herhangi bir problem bulunmamaktadır. Son yıllarda doküman paylaşımı ve dijital arşivleme için ciddi yatırım ve çalışmalar yapılmaktadır. İtranet uygulamaları hızla geliştirilmeye devam etmektedir. Bütün doküman ve iş takipleri bir yıl içerisinde intranet üzerinden uygulamaya alınacaktır.
- Son yıllarda kurulan işletme planlama birimi ve kalite-istatistik şeflikleri kurulmuştur. İstenilen bilgilerin ve istatistiklerin %80'i hemen temin etmek mümkündür.
- İşletme talimatlarına uygunluk tamamdır. Her yıl yapılan iç ve dış denetlemeler ile uygulamada ciddi bir yaptırım oluşturulmuştur. Her birim için bir EYS (Entegre yönetim sistemleri) temsilcileri vardır. Dolayısı ile her birim oto kontrol sistemi ile prosedürlere uymaktadır. Bu nedenle, 10 IUAS uzmanının değerlendirmesine göre, Uygulama ve Denetleme Skoru 80 alınmıştır.
- Etkinlik katsayısı düşük olan diğer hususların yerine getirildiği varsayılmıştır.

Alt-etkinlik katsayıları da ağırlık katsayıları cinsinden hesaplanır. IUAS'da görev yapan 10 uzmanla yapılan görüşmeler sonucunda, ağırlık katsayıları  $w_{13A}=20$ ,  $w_{13B}=20$ ,  $w_{13C}=50$  ve  $w_{13D}=10$  belirlenmiştir. Buna göre etkinlik katsayıları  $\lambda_{13A}=0.2$ ,  $\lambda_{13B}=0.2$ ,  $\lambda_{13C}=0.5$   $\lambda_{13D}=0.1$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler (4.6) denkleminde kullanılarak,  **$P(X_{13})=0.82$**  bulunur.

Tablo 4.3: IUAS için P(X<sub>13</sub>) Hesabı

<b>P(X<sub>13</sub>) HESABI: İŞLETME STAND. VE KALİTE KONTROL/DENETİM</b>					
	Doküman Hazırlama ve Yenileme	Bilgi Toplama İşleme ve Dağıtım	İşletme Talimatlarını Uygulama ve Denetim	Diğer	Maksimum Skor
	X <sub>13A</sub>	X <sub>13B</sub>	X <sub>13C</sub>	X <sub>13D</sub>	X <sub>MAX</sub>
<b>Giriş Değişkenleri</b>	80	80	80	100	100
	P(X <sub>13A</sub> )	P(X <sub>13B</sub> )	P(X <sub>13C</sub> )	P(X <sub>13D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,8	0,8	0,8	1	
	w <sub>13A</sub>	w <sub>13B</sub>	w <sub>13C</sub>	w <sub>13D</sub>	w <sub>ij</sub>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	2	2	5	1	10
	λ <sub>13A</sub>	λ <sub>13B</sub>	λ <sub>13C</sub>	λ <sub>13D</sub>	SUM(λ)
<b>Etkinlik Katsayıları λ</b>	0,2	0,2	0,5	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>13A</sub> *P(X <sub>13A</sub> )	λ <sub>13B</sub> *P(X <sub>13B</sub> )	λ <sub>13C</sub> *P(X <sub>13C</sub> )	λ <sub>13D</sub> *P(X <sub>13D</sub> )	<b>P(X<sub>13</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,16	0,16	0,4	0,1	<b>0,82</b>

Yönetim Destek Araçları ve Bilişim Teknolojileri değişkeni X<sub>14</sub>'ü aşağıdaki alt gruplara ayırabiliriz.

- X<sub>14A</sub>: Bilgisayar, bunları bağlayan ağlar ve diğer bilişim donanımları
- X<sub>14B</sub>: İdari yönetim yazılımları (Depo, Muhasebe gibi)
- X<sub>14C</sub>: Teknik İşletme Yazılımları (Simülatör gibi)
- X<sub>14</sub>: Diğer

Bu durumda,

$$P(X_{14})=\lambda_{14A}P(X_{14A})+\lambda_{14B}P(X_{14B})+\lambda_{14C}P(X_{14C})+\lambda_{14D}P(X_{14D}) \quad (4.7)$$

olacaktır.



IUAS için  $P(X_{14})$  hesabı Tablo 4.4'de verilmiştir. Bu tabloda,  $X_{14A}=90$ ,  $X_{14B}=90$ ,  $X_{14C}=90$  ve  $X_{14D}=80$  olarak seçilmiştir.

Performans skorlarının verilişinde aşağıdaki hususlar etkin olmuştur.

- IUAS hatlarından bir kısmı yakın zamanda kurulduğu için son teknolojiler takip edilerek teçhiz edilmiştir. Diğer mevcut hatlar bilişim teknolojilerinden yararlanılarak sürekli olarak yenilenmektedir. 10 uzmanla yaptığımız görüşmelerde, donanım altyapısının, ihtiyaçlar doğrultusunda %90'ının tamamlandığı kanaati vardır.
- Yönetim destek yazılımlarından personel ve muhasebe programları tamamlanmış ancak entegre işletme yazılımları henüz devreye girmemiştir. Bu noktada son yıllarda ciddi yatırımlar yapılmış ve entegre yönetim sistemleri için 25 kişilik bir ekip kurulmuştur. Bu noktada gelişmeler göz önüne alındığında ihtiyaçlara göre, yönetim destek yazılımlarının %90'ının var olduğu kanaati oluşmuştur.
- IUAS için yazılım temin edilmesi noktasında hiçbir sıkıntı yoktur. Simülasyon, tasarım, çizim, ERP gibi birçok yazılım geliştirme araçları IUAS bünyesinde bulunmaktadır. Bu nedenle, günlük teknik ihtiyaçların %80'i mevcut yazılımlarla çözülebilmektedir.
- İşletme uzmanlarının görüşü doğrultusunda, ağırlığı düşük diğer teknik hususların %80 oranında karşılandığı varsayılmıştır.

Ağırlık katsayıları olarak,  $w_{14A}=25$ ,  $w_{14B}=30$ ,  $w_{14C}=30$  ve  $w_{14D}=15$  alınmıştır. Buna göre, alt-etkinlik katsayıları  $\lambda_{14A}=0.25$ ,  $\lambda_{14B}=0.3$ ,  $\lambda_{14C}=0.3$   $\lambda_{14D}=0.15$  olarak hesaplanmıştır. Bu değerler (4.7) denkleminde kullanılarak,  $P(X_{14})=0.765$  bulunur.

Tablo 4.4: IUAS için  $P(X_{14})$  hesabı

<b><math>P(X_{14})</math> HESABI: YÖNETİM DESTEK ARAÇLARI-BİLİŞİM ALTYAPISI</b>					
	Bilgisayar ve Donanım Altyapısı	Yönetim Yazılımları	Simülatör gibi Teknik S/W	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{14A}$	$X_{14B}$	$X_{14C}$	$X_{14D}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	90	90	80	100
	$P(X_{14A})$	$P(X_{14B})$	$P(X_{14C})$	$P(X_{14D})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,9	0,9	0,8	
	$W_{14A}$	$W_{14B}$	$W_{14C}$	$W_{14D}$	$\Sigma W_{ij}$
<b>Ağırlık Katsayıları <math>w_{ij}</math></b>	25	30	30	15	100
	$\lambda_{14A}$	$\lambda_{14B}$	$\lambda_{14C}$	$\lambda_{14D}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,25	0,3	0,3	0,15	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{14A} * P(X_{14A})$	$\lambda_{14B} * P(X_{14B})$	$\lambda_{14C} * P(X_{14C})$	$\lambda_{14D} * P(X_{14D})$	<b><math>P(X_{14})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,225	0,27	0,27	0,12	<b>0,885</b>

Kaynak kullanım değişkeni, ( $X_{15}$ ), sistemin idame edilebilmesi için bakım onarım ve geliştirilmesi açısından kaynak kullanım kabiliyetini ölçer. IUAS için  $X_{15}$  değişkenini aşağıdaki gibi alt gruplara ayırabiliriz.

Yönetim Destek Araçları ve Bilişim Teknolojileri değişkeni  $X_{15}$ 'i aşağıdaki alt gruplara ayırabiliriz.

$X_{15A}$ : Mevcut alt yapıyı koruma

$X_{15B}$ : Kısa Vadeli Yatırımlar

$X_{15C}$ : Orta ve Uzun Vadeli yatırımlar

$X_{15D}$ : Diğer (Üretim kabiliyetleri gibi)

Bu durumda,

$$P(X_{15}) = \lambda_{15A}P(X_{15A}) + \lambda_{15B}P(X_{15B}) + \lambda_{15C}P(X_{15C}) + \lambda_{15D}P(X_{15D}) \quad (4.8)$$

olacaktır.

IUAS'a yapılan yatırımların son yıllarda oldukça arttığı görülmektedir. Mevcut hatlar üzerinde son yıllarda yoğun geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Yeni sistemler entegre edilmektedir (Telsiz, yolcu bilgilendirme, anons sistemleri vs). Orta vadeli yatırımlar son iki yılda hız kazanmıştır. Kaynak kullanımında ciddi gelişmeler kaydedilmiştir. Son iki yıldaki gelişmeler dikkate alınarak, IUAS için  $P(X_{15})$  hesabı Tablo 4.5'de verilmiştir. Bu tabloda,  $X_{15A}=90$ ,  $X_{15B}=80$ ,  $X_{15C}=80$  ve  $X_{15D}=100$  olarak seçilmiştir. Ağırlıklar cinsinden yapılan hesaplarla, alt-etkinlik katsayıları  $\lambda_{15A}=0.3$ ,  $\lambda_{15B}=0.3$ ,  $\lambda_{15C}=0.2$   $\lambda_{15D}=0.2$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler (4.8) denkleminde kullanılarak,  $P(X_{15})=0.85$  bulunur.

Tablo 4.5: IUAS için  $P(X_{15})$  Hesabı

<b><i>P(X<sub>15</sub>) HESABI: YATIRIMLAR VE KAYNAK KULLANIMI</i></b>					
	Mevcut Altyapıyı Koruma	Kısa Vadeli Yatırımlar/ Geliştirmeler	Orta ve Uzun Vadeli Yatırımlar	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{15A}$	$X_{15B}$	$X_{15C}$	$X_{15D}$	$X_{MAX}$
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	90	80	80	100	100
	$P(X_{15A})$	$P(X_{15B})$	$P(X_{15C})$	$P(X_{15D})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,8	0,8	1	
	$W_{15A}$	$W_{15B}$	$W_{15C}$	$W_{15D}$	$\Sigma W_{ij}$
<b><i>Ağırlık Katsayıları wij</i></b>	30	30	20	20	100
	$\lambda_{15A}$	$\lambda_{15B}$	$\lambda_{15C}$	$\lambda_{15D}$	SUM( $\lambda$ )
<b><i>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></i></b>	0,3	0,3	0,2	0,2	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{15A} * P(X_{15A})$	$\lambda_{15B} * P(X_{15B})$	$\lambda_{15C} * P(X_{15C})$	$\lambda_{15D} * P(X_{15D})$	<b><i>P(X<sub>15</sub>)</i></b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,27	0,24	0,16	0,2	<b><i>0,87</i></b>

$X_{16}$  IUAS'ın Arge ve üretim ve Mühendislik kabiliyetlerini ölçen bir değişkendir. Bu kabiliyet aşağıdaki alt gruplara ayrılabilir.

- $X_{16A}$ : Tasarım Kabiliyeti
- $X_{16B}$ : Uygulama Kabiliyeti
- $X_{16C}$ : Üretim Kabiliyeti
- $X_{16}$ : Diğer (Modern teknolojileri takip edebilme kabiliyeti gibi )

Bu durumda,

$$P(X_{16})=\lambda_{16A}P(X_{16A})+\lambda_{16B}P(X_{16B}) +\lambda_{16C}P(X_{16C}) +\lambda_{16D}P(X_{16D}) \quad (4.9)$$

olacaktır.

IUAS'ın ciddi bir üretim altyapısı vardır. Bakım atölyeleri ve diğer birimlerde IUAS ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için ciddi imalatlar yapılabilmektedir. İlk yerli tramvay aracı üretimi IUAS bünyesinde yapılmıştır. Dolayısı ile AR-GE kabiliyeti yüksektir. Son yıllarda sinyalizasyon sistemleri adına ciddi bir AR-GE yatırımı yapılmış ve çalışmalara başlanılmıştır. Teknik personelin yeni teknolojileri takip edebilme imkânları son 10 yılda oldukça gelişmiştir. Yurtiçi ve Yurtdışı fuar, seminer ve diğer organizasyonlar IUAS uzmanları tarafından yakından takip edilmektedir. Buna göre, 15 yılı aşkın deneyimi olan 5 mühendis ile yapılan görüşmeler sonucunda,  $X_{16A}=80$ ,  $X_{16B}=90$ ,  $X_{16C}=90$  ve  $X_{16D}=90$  olarak seçilmiş ve alt-etkinlik katsayıları  $\lambda_{16A}=0.3$ ,  $\lambda_{16B}=0.3$ ,  $\lambda_{16C}=0.3$   $\lambda_{16D}=0.1$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler (4.9) denkleminde kullanılarak,  $P(X_{16})=0.87$  bulunmuştur ( Tablo 4.6).

Tablo 4.6: IUAS için P(X<sub>16</sub>) Hesabı

<b>P(X<sub>16</sub>) HESABI: ARGE VE ÜRETİM/MÜHENDİSLİK KABİLİYETLERİ</b>					
	Tasarım Kabiliyeti	Uygulama Kabiliyeti	Üretim Kabiliyeti	Diğer	Maksimum Skor
	<b>X<sub>16A</sub></b>	<b>X<sub>16B</sub></b>	<b>X<sub>16C</sub></b>	<b>X<sub>16D</sub></b>	<b>X<sub>MAX</sub></b>
<b>Giriş Değişkenleri</b>	80	90	90	90	100
	P(X <sub>16A</sub> )	P(X <sub>16B</sub> )	P(X <sub>16C</sub> )	P(X <sub>16D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,8	0,9	0,9	0,9	
	<b>w<sub>16A</sub></b>	<b>w<sub>16B</sub></b>	<b>w<sub>16C</sub></b>	<b>w<sub>16D</sub></b>	<b>Σw<sub>ij</sub></b>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	30	30	30	10	100
	<b>λ<sub>16A</sub></b>	<b>λ<sub>16B</sub></b>	<b>λ<sub>16C</sub></b>	<b>λ<sub>16D</sub></b>	SUM(λ)
<b>Etkinlik Katsayıları λ</b>	0,3	0,3	0,3	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>16A</sub> *P(X <sub>16A</sub> )	λ <sub>16B</sub> *P(X <sub>16B</sub> )	λ <sub>16C</sub> *P(X <sub>16C</sub> )	λ <sub>16D</sub> *P(X <sub>16D</sub> )	<b>P(X<sub>16</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,24	0,27	0,27	0,09	<b>0,87</b>

X<sub>17</sub> Seyir Sefer Sertifikasyon değişkenidir. Sertifikasyon ulusal ve uluslararası standartlara göre verilir. Sertifikasyon mekanizmasının mevcut idari ve işletme yapısından bağımsız olması beklenir. Bu değişkeni aşağıda verilen alt gruplara ayırabiliriz.

- X<sub>17A</sub>: Ulusal Standartlara uyum
- X<sub>17B</sub>: Uluslararası Standartlara uyum
- X<sub>17C</sub>: Güncel İşletmeden Bağımsızlık
- X<sub>17D</sub>: Diğer (Sertifikasyon personelinin kabiliyeti, teknik altyapısı vs)

Bu durumda,

$$P(X_{17}) = \lambda_{17A}P(X_{17A}) + \lambda_{17B}P(X_{17B}) + \lambda_{17C}P(X_{17C}) + \lambda_{17D}P(X_{17D}) \quad (4.10)$$

olacaktır.

IUAS'ın kurumsal organizasyonunda Kalite ve Kurumsal gelişim Müdürlüğü bünyesinde ilgili standartların takibi ve uluslar arası standartlara uygunluğu sürekli takip halindedir. Yeni açılan hatlar ve seferler için bir sertifikasyon altyapısı vardır. Aynı zamanda IUAS Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği (UITP)'nin bir üyesidir. UITP,

toplu taşımacılık sektöründe dünyadaki en büyük sivil toplum kuruluşudur. Bünyesinde toplu taşımacılık işletmecileri, yerel ve ulusal düzenleyici idareler, endüstri kuruluşları, araştırma merkezleri, akademisyenler ve danışmanlar yer almaktadır. UITP türkiye ofisi İstanbul Ulaşım AŞ bünyesinde bulunması ile uluslararası standartların takibi ve uygulanması daha kolay olmaktadır. IUAS organizasyonunda Sertifikasyon Mekanizması güncel operasyonlardan tamamen bağımsızdır. Sertifikasyon konusunda UAS 41 kişilik teknik kadrosu oldukça yeterli ve tecrübeli personellerden oluşmaktadır. Buna göre, IUAS için  $P(X_{17})$  hesabı Tablo 8 de verilmiştir. Bu tabloda, IUAS kalite ve işletme uzmanlarının görüşleri de alınarak,  $X_{17A}=90$ ,  $X_{17B}=90$ ,  $X_{17C}=90$  ve  $X_{17D}=90$  olarak seçilmesinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Alt-etkinlik katsayıları  $\lambda_{17A}=0.3$ ,  $\lambda_{17B}=0.3$ ,  $\lambda_{17C}=0.3$   $\lambda_{17D}=0.1$  olarak belirlenmiştir. Bu değerler (4.10) denkleminde kullanılarak,  $P(X_{17})=0.90$  bulunur.

Tablo 4.7: IUAS için  $P(X_{17})$  hesabı

<b><i>P(X<sub>17</sub>) HESABI: SEYİR-SEFER SERTİFİKASYON KABİLİYETLERİ</i></b>					
	Ulusal Talimatlara Uyum	Uluslararası Standartlara Uyum	Güncel İşletmeden Bağımsızlık	Diğer	Maksimum Skor
	<b>X<sub>17A</sub></b>	<b>X<sub>17B</sub></b>	<b>X<sub>17C</sub></b>	<b>X<sub>17D</sub></b>	<b>X<sub>MAX</sub></b>
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	90	90	90	90	100
	P(X <sub>17A</sub> )	P(X <sub>17B</sub> )	P(X <sub>17C</sub> )	P(X <sub>17D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,9	0,9	0,9	
	<b>W<sub>17A</sub></b>	<b>W<sub>17B</sub></b>	<b>W<sub>17C</sub></b>	<b>W<sub>17D</sub></b>	<b>Σw<sub>ij</sub></b>
<b><i>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></i></b>	30	30	30	10	100
	<b>λ<sub>17A</sub></b>	<b>λ<sub>17B</sub></b>	<b>λ<sub>17C</sub></b>	<b>λ<sub>17D</sub></b>	SUM(λ)
<b><i>Etkinlik Katsayıları λ</i></b>	0,3	0,3	0,3	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>17A</sub> *P(X <sub>17A</sub> )	λ <sub>17B</sub> *P(X <sub>17B</sub> )	λ <sub>17C</sub> *P(X <sub>17C</sub> )	λ <sub>17D</sub> *P(X <sub>17D</sub> )	<b>P(X<sub>17</sub>)</b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,27	0,27	0,27	0,09	<b>0,90</b>

Sonuç olarak, etkinlik katsayısının uniform olduğu varsayımı  $\beta_{1j} = \frac{1}{6}$  alınarak  $P(X_1)$ 'i hesaplanır.

$$P(X_1) = P(x_{17}) \cdot \sum_{j=1}^6 \beta_{1j} P(x_{1j}) = 0,78471 \quad (4.11)$$

Tablo 4.8 de  $P(X_1)$  hesabının detayları görülmektedir. Sonuç olarak  $P(X_1) = 0,78471$  olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık, Bulanık Mantık sisteminde 2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi diliminin alt sınırında yer alır.

Tablo 4.8: IUAS için  $P(X_1)$  hesabı

<i>P(X<sub>1</sub>) HESABI: YAPISAL ORGAN. VE YÖNETİM OLASILIĞI HESABI</i>							
	İdari	Teknik	İşletme Std	Yön. Dest. Bilişim	Kaynak Kull.	Arge/ Üretim	
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	<i>sum(W)</i>
<b>Ağırlık Katsayıları <math>w_j</math></b>	1	1	1	1	1	1	6
	$\beta_{11}$	$\beta_{12}$	$\beta_{13}$	$\beta_{14}$	$\beta_{15}$	$\beta_{16}$	Sum( $\beta$ )
	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	1
<b>Giriş Değişkenleri</b>	$P(X_{11})$	$P(X_{12})$	$P(X_{13})$	$P(X_{14})$	$P(X_{15})$	$P(X_{16})$	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,877	0,91	0,82	0,885	0,87	0,87	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\beta_{11} * P(X_{11})$	$\beta_{12} * P(X_{12})$	$\beta_{13} * P(X_{13})$	$\beta_{14} * P(X_{14})$	$\beta_{15} * P(X_{15})$	$\beta_{16} * P(X_{16})$	<b><math>PL(X_1)</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,1466	0,15166	0,1366	0,1475	0,145	0,145	<b>0,8719</b>
	<b><math>P(X_1) = P(X_{17}) * PL(X_1) = 0,78471</math></b>						

#### 4.1.2 Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı $P(X_2)$

Bu ana grubun alt kümelerini aşağıdaki şekliyle verebiliriz.

$\{X_{21}\}$  sistemde yer alan araçların tasarımıyla belirlenen teknik standartlara uygun çalışma şartları kümesi

$\{X_{22}\}$  Araç İzleme ve Denetim Sistemi (İnsanlar ve Elektronik Sistemleri) kümesi

$\{X_{23}\}$  Araç Yönetim Sistemi (İnsanlar ve Makine/Elektronik Sistemleri) kümesi olsun.

Yukarıdaki kümelerden  $\{X_{21}\}$  ve  $\{X_{22}\}$ 'yi dolaylı etkileyen,  $\{X_{23}\}$ 'de doğrudan etkileyen kümeler olarak düşünebiliriz.

Bu durumda, Hareketli Araç Sistemi Başarılı Çalışma Olasılığı  $P(X_2)$  aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P(X_2) = P(X_{23})[\beta_{21}P(X_{21}) + \beta_{22}P(X_{22})] \quad (4.12)$$

Bu denklemde,  $P(X_{21})$  sistemde yer alan araçların başarılı çalışma olasılığını,  $P(X_{22})$  başarılı izleme olasılığını,  $P(X_{23})$ 'de başarılı yönetim olasılığını göstermektedir.

$\beta_{21} = \beta_{22} = \frac{1}{2}$  olarak seçilebilir. Etkinlik Dağıtım Katsayılarının Uniform dağıtılmaması halinde,  $(0 \leq \beta_{2j} \leq 1; j=1,2)$  ve  $\beta_{21} + \beta_{22} = 1$  olmalıdır.

IUAS için araçların tasarımıyla belirlenen teknik standartlara uygun çalışma şartlarını  $X_{21}$  ile tanımlanmıştı.

$X_{21}$  değişkenini dört alt gruba ayrılabilir.

- $X_{21A}$  Hareketli araçlardan, ABB marka araçların elektrik enerjisiyle beslenen motor sistemine bağlı hızlanma ve dinamik fren sistemi adı verilen yavaşlama performansını ölçmektedir. Aracın 75 KW'lık güçlü bir cer motoru vardır. Bu motorun, sağlam ve güvenilir bir yapısı vardır. Motorun hızı, dinamik olarak, elektrik motorunu besleyen elektrik enerjisinin bir rezistans üzerinde harcanması suretiyle kesilebilir. Bu sisteme dinamik fren sistemi adı verilir.



Bu sistem de “çok güvenilir” bir yapı arz etmektedir. Bütün arıza ve bakımlar raporlanarak arşivlenmektedir. IUAS arıza ve bakım rapor takip modülü olarak “IUAS bilgi sistemi” yazılımı kullanılmaktadır. Periyodik Bakım-Onarım (PBO) yapılması halinde, performans skoru  $X_{21A}$  100 üzerinden 90 veya üzerinde düşünülebilir.

- $X_{21B}$  ABB marka aracın, mekanik disk fren sisteminin performansını ölçmektedir. Mekanik disk frenleri aracın yavaşlatılmasında elektrodinamik frenlerin yetersiz kalması durumunda devreye girmektedir.

Son 10 yıl içindeki arıza raporlarına bakıldığında fren sistemi için genel olarak 89 adet arıza olduğu ve bu arızaların sefere mani bir durum oluşturmadığı tespit edilmiştir.

The screenshot shows the 'Ulaşım Bilgi Sistemi' interface. At the top, there is a search bar with 'Sorgu Türü' set to 'Arıza Koduna Göre' and 'Tüm Arızalar'. Below this, there are filters for 'Seflik' (checked for HM Arıza Revizyon Periyodik Bakım Atölye Şefliği, HM Ağır Bakım Atölye Şefliği, LRT-TRAM Atölye Müdür Yardımcılığı, LRT Arıza Revizyon ve Periyodik Bakım Atölye Şefliği, Metro Ağır Bakım Atölye Şefliği, Metro Arıza Revizyon ve Periyodik Bakım Atölye Şefliği) and 'Hat' (checked for Tramvay, Hafif Metro). The date range is from 26/05/2000 to 27/06/2011. The 'Arıza Durumu' is set to 'Tümü' and the 'Arıza Kodu' is 620. There are buttons for 'Sorgula' and 'Excele transfer'.

Below the filters, there is a table with the following columns: Araç, Arıza Tarihi, İşlem Tarihi, Arıza Kodu, Ünite, Sef. Engel mi?, Arıza Durumu. The table shows 88 faults with a total duration of 28 adam.saat. The first few rows are:

Araç	Arıza Tarihi	İşlem Tarihi	Arıza Kodu	Ünite	Sef. Engel mi?	Arıza Durumu
114	25/05/2011	31/05/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
513	05/04/2011	30/03/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
556	24/02/2011	25/02/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
135	31/01/2011	31/01/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
544	19/01/2011	19/01/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
546	14/01/2011	25/01/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
546	12/01/2011	13/01/2011	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
102	28/10/2010	01/11/2010	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
102	27/10/2010	28/10/2010	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi
548	14/10/2010	15/10/2010	620	FREN SİLİNDİRİ	Hayır	Arıza Giderildi

Below the table, there are three sections: 'Arıza Tanımı' (3 NOLU FREN SİLİNDİRİNDE HAVA KAYBI VAR DEĞİŞİMİ GEREKİR.), 'Yapılan İşlem' (3 nolu fren silindiri değiştirildi.), and 'Personel' (HASAN AKSOY 120, MURAT GÜLMEZ 120).

Şekil 4.1 ABB araçları fren sistemi arıza raporu

Bu durumda Mekanik-frenleme Sistemi performansının iyi düzeyde olduğu görülmektedir.  $X_{21B}$  90 olarak alınması yanlış olmayacaktır.

- $X_{21C}$  araç dizisini durduran ray fren sisteminin performansını ölçmektedir. Son IUAS kayıtlarına göre son 10 yıl içerisinde sefere mani bir arızası olmamıştır. “Çok başarılı” bir konumdadır. Performans skoru 90 veya üzerinde alınabilir.
- $X_{21D}$  hareketli araçlardaki bogi-dingil-bodenler ve tekerlek sistemlerinin performansını ölçen skordur. Bu sistemlerde, malzeme sağlamlığı ve üretim kontrolü çok önem kazanır. Bütün bakım ve testler araçların servis öncesi

kabul test standartları olan “IEC 1133” standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. IUAS atölye bakım personelleri test ve bakım kabiliyetleri bakımından oldukça yeterli olduğu tespit edilmiştir.

ABB araçlarında periyodik bakımlar aşağıdaki düzende yapılmaktadır.

- 1.bakım 10.000km (periyodik bakım-önleyici bakım)
- 2A bakım 100.000km (periyodik bakım)
- 2B bakım 200.000km (periyodik bakım)
- 3C bakım 400.000km (Ağır bakım)

skoru olarak  $X_{21D}$ 'yi 90 belirlenmiştir.

Performans skorlarının ağırlıkları  $w_{ij}$  'leri, maksimum 100 skoru üzerinden, aşağıdaki gibi dağıtılabilir.

- Döner sistemlerin yani bogi-dingil, teker ve diğer ilgili düzeneklerin hareket açısından fevkalade önemli olduğunu varsayarak, ağırlık katsayısı  $w_{21D}=50$  alabiliriz.
- Mekanik disk fren ve ray fren sistemlerinin önemi aynı kabul edilerek  $w_{21B}=w_{21C}=20$  alınmıştır.
- Diğer değişkenlerle önemi karşılaştırıldığında, dinamik fren için ağırlık katsayısı  $w_{21A}=10$  alınması uygun görülmüştür.

Buna göre,

$$P(X_{21})=[\lambda_{21A}P(X_{21A})+\lambda_{21B}P(X_{21B})+\lambda_{21C}P(X_{21C})+\lambda_{21D}P(X_{21D})] \quad (4.13)$$

$$\lambda_{21A}+\lambda_{21B}+\lambda_{21C}+\lambda_{21D}=1 \quad (4.14)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemlerde,

$$P(X_{21(A,B,C,D)}) \approx \frac{X_{21(A,B,C,D)}}{X_{\max}}; \quad \lambda_{21(A,B,C,D)} = \frac{w_{21(A,B,C,D)}}{W_{\text{sum}}}; \quad W_{\text{sum}} = w_{21A} + w_{21B} + w_{21C} + w_{21D} \quad (4.15)$$

olmaktadır.

Tablo 4.9: IUAS için  $P(X_{21})$  hesabı

<b><math>P(X_{21})</math>: ARAÇLARIN TEKNİK STD. UYGUNLUĞU</b>					
	Hız ve Dinamik Fren Sistemi	Mekanik Disk Fren Sistemi	Ray Fren Sistemi	Bogi-Tekerler ve diğer Mekanik Aksam	Maksimum Skor
	$X_{21A}$	$X_{21B}$	$X_{21C}$	$X_{21D}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	90	90	90	100
	$P(X_{21A})$	$P(X_{21B})$	$P(X_{21C})$	$P(X_{21D})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,9	0,9	0,90	
	$w_{21A}$	$w_{21B}$	$w_{21C}$	$w_{21D}$	$\Sigma w_{ij}$
<b>Ağırlık Katsayıları <math>w_{ij}</math></b>	10	20	20	50	100
	$\lambda_{21A}$	$\lambda_{21B}$	$\lambda_{21C}$	$\lambda_{21D}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,1	0,2	0,2	0,5	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{21A} * P(X_{21A})$	$\lambda_{21B} * P(X_{21B})$	$\lambda_{21C} * P(X_{21C})$	$\lambda_{21D} * P(X_{21D})$	<b><math>P(X_{21})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,09	0,18	0,18	0,45	<b>0,9</b>

Sonuç olarak,  $P(X_{21})=0.90$  olarak hesaplanmıştır. Bu da “çok iyi düzey” çalışma sınırının üzerindedir. IUAS kayıtlarına göre iki arıza arasındaki ortalama katedilen yol mesafesi (MDBF; mean distance between failures) 3288km/arıza ‘dır. Bu değer ortalama 45,7 saate (MTBF; Arızalar Arası Geçen Süre - Meantime Between Failure) denk gelmektedir. Son bir yıl içerisindeki toplam kayıtlı 3047 araç arızasından yalnızca 112’si sefere mani oluşturması sistemin başarılı çalıştığının bir göstergesidir. Yukarıdaki tabloda kullanılan tüm performans değerleri ve ağırlıklar, konusunda uzman 10 IUAS bakım mühendisinin görüşü de alınarak belirlenmiştir.

Araç İzleme ve Denetim Sistemi Olasılık hesabı  $X_{22}$  değişkeni ile ölçülmüştür. Araç izleme ve denetim kümesi  $\{X_{22}\}$ ’yi, İnsanlarla izleme  $\{X_{22A}\}$ , Makine ve Teçhizatla izleme  $\{X_{22B}\}$  ve Kontrol Merkezi aracılığı ile izleme  $\{X_{22C}\}$  kümelerinin birleşik kümesi olarak ele alabiliriz. ( $\{X_{22}\} = \{X_{22A}\} \cup \{X_{22B}\} \cup \{X_{22C}\}$ ).

Buna göre,

$$P(X_{22})=[\lambda_{22A}P(X_{22A})+\lambda_{22B}P(X_{22B})+\lambda_{22C}P(X_{22C})+\lambda_{22D}P(X_{22D})] \quad (4.16)$$

$$\lambda_{22A}+\lambda_{22B}+\lambda_{22C}+\lambda_{22D}=1 \quad (4.17)$$

olarak düşünülebilir. Bu denklemde  $\lambda_{22A}$ ,  $\lambda_{22B}$ ,  $\lambda_{22C}$  ve  $\lambda_{22D}$  tasarım parametreleri olup, IUAS'ın çalışma koşullarında, izleme ve denetimde etkinlik katsayıları adını alır. Örneğin, izleme tamamen insanla yapılıyorsa  $\lambda_{22A}=1$  alınır. Tamamen makine ve teçhizatla yapılıyorsa,  $\lambda_{22A}=0$  olacaktır. Mükemmel izleme için  $P(X_{22})=1$  olacaktır. Buradaki olasılık hesapları da bir önceki bölümdeki gibi performans skorları ve bunlara karşı gelen ağırlıklar cinsinden hesaplanabilir.

IUAS Aksaray-Havalimanı Hattı tren seferleri için aşağıda sunulan değerlendirme yapılmıştır.

$X_{22A}$  Makinistlerin çeken ve çekilen araçları izleyebilme performansını ölçer. ABB marka araç tasarımı izleme sorumluluğunu bir sinyal bloğu içerisinde kısıtlı bir ölçüde makiniste bırakmıştır. Bu tasarım ile araç üstü donanımlar ile yol bilgisi ve maksimum sürüş hızı paneller üzerindeki göstergeler ile makiniste iletilir. Makinist sinyalizasyon sistemine göre aracı belirtilen limitlerde kullanmak veya durdurmak ile sorumludur. Makinistin kırmızı sinyali geçebilme gibi bir durumu olmadığı için yalnızca bulunduğu sinyal bloğu içerisinde bu durum geçerlidir.

Geleneksel emniyet tesisleri aşağıdaki unsurları içermektedir.

- Güzergâh üstü yazılı kilometre işaretleri,
- Sinyalizasyon (Trafik ışıkları) sistemi,
- Trenin konumunu izleyen ray blokları ve ray devreleri,
- Güzergâh üzerindeki hız tahdit (sınırlama) levhaları,
- Geleneksel (klasik) makas kontrol ve sinyalizasyon sistemleri,
- Makinistle-Kontrol Merkezleri arasında haberleşmeyi sağlayan telsiz sistem

Bununla beraber, otomatik hız kontrol sistemlerinin (ATS, ATP, ATC vs.) de kullanılması, güvenliği artırıcı bir husus olmaktadır.

Buna göre, Türkiye'deki tüm demiryolu güzergâhları için, UIC standartlarıyla verilen geleneksel emniyet standartları geçerlidir. Geleneksel Emniyet Sistemlerini, Tren İzleme/Denetleme ve tren yönetim destek sistemleri olarak ele alabiliriz.

IUAS'da güvenlik uygulamaları uluslararası standart olan CENELEC standardına göre SIL 2 seviyesine uygun yapılmıştır. Hattın tamamı uluslar arası standartlarda kabul görmüş sinyalizasyon sistemi ile işletilmesinden dolayı güvenlik hat boyunca en üst mertebede sağlanmaktadır. Bu durum da, "başarılı (100-80)" performans skorlarının kullanımı uygun olmaktadır ( $X_{22A}=90$ ). İzleme ve denetlemede belirlenen mesafedeki hız limitleri ile sürüş kontrolü makinistte olduğu için bu etkinliğin ağırlığı 100 üzerinden  $w_{22A}=20$  olarak belirlenmiştir.

$X_{22B}$  makine ve teçhizatla izleme ve denetleme skorudur. ABB marka aracın üzerindeki izleme ve denetleme alt yapısı olarak, otomatik tren kontrol sistemi, hız kontrol sistemi, hız takip göstergesi, hız kayıt sistemi, frenlerin işlerliğini gösteren basınç ölçme sistemi (manometre), cer sisteminin izlenmesini sağlayan göstergeler bulunmaktadır. Bunlar makinistli izlemeye ( $X_{22A}$ ) yardımcı olan destek sistemleridir. Periyodik Bakım-Onarımlar düzenli olarak yapılarak tasarlandığı gibi sistem başarılı çalışan bir sistem olmaktadır. Bu nedenlerle  $X_{22B}=90$  alınabilir. İzleme ve denetlemede etkinlik ağırlıklı olarak araç üstü otomatik tren kontrol bilgisayarında olduğu düşünülerek, makine ve teçhizatla izleme ve denetleme ağırlık katsayısı olarak,  $w_{22B}=30$  alınmıştır.

$X_{22C}$  kontrol Merkezine dönük olarak belirlenen izleme ve denetleme performans skorudur. Kontrol merkezlerine tren dizisinin hangi ray bloğu üzerinde olduğu bilgisi gönderilir. Böylece, trenlerin seyri hakkında veya blokların meşguliyeti hakkında bilgiler kontrol merkezine intikal eder. Ayrıca, güzergâh üzerinde yer alan trafik sinyal bilgileri de kontrol merkezine iletilir. Sinyalizasyon, Kontrol Merkezlerinden de yönetilebilir. Makasların açık ve kapalı bilgileri de kontrol merkezine gelir. Makaslar kontrol merkezinden denetlenebilir. Aksaray-Havalimanı hattı Esenler'de bulunan merkez yerleşkesindeki kumanda merkezinden yönetilmektedir. Sinyalizasyon sistemi

yaklaşık 20 yıl önce teçhiz edilmiştir. Son güncellemeler ile 2007 yılında merkezi anlaşılan sistem bilgisayarları yenilenmiş ve sistemin arıza riskleri minimum seviyeye indirilmiştir. Diğer taraftan hat boyu ekipmanları ortalama 10 yılı aşkın süredir çalışmaktadır. IUAS uzmanları tarafından önümüzdeki 10 yıllık süre içerisinde ekonomik ömrünü tamamlayacağı varsayılan ekipmanlardan kaynaklı olarak arıza ihtimalleri artabileceği göz önünde bulundurularak 15 yıllık kritik yedek stokları temin edilmiştir. Sinyalizasyon sistemindeki herhangi bir arıza durumunda bütün trenlerin hızları 20 km/sa'e düşürülmekte ve telsiz sistemi ile hattın işletilmesine devam edilmektedir. Tüm araçların telsiz sistemlerindeki konuşmalar kayıt altına alınmaktadır.

Sonuç olarak, Kontrol Merkezlerinde lojik hata yapma olasılığı düşüktür. Dispeçerin, az da olsa, insani hata yaptığı bilinmektedir. Fakat bu durumda sinyalizasyon sistemi ile güvenlik ve emniyet sağlanmaktadır. İşletme esnasında elektronik kart arızaları ile karşılaşılması beklenebilir. Bu ekstra durumlar dışında, Kontrol Merkezine dönük olarak izleme ve denetleme performans skorunu "Başarılı" olacak şekilde seçebiliriz. Buna göre,  $X_{22C}=90$  alınmıştır. Bu unsura karşı gelen ağırlık katsayısı, etkinlik açısından makinistten daha etkin olmaktadır. Bu yüzden  $w_{22C}=40$  seçilmiştir.

$X_{22D}$  sefer plan çizelgesi ile izleme ve denetleme, güzergâh üzerinde yer alan yazılı levha veya direk üstü bilgilerle izleme ve denetleme, trafik işaretleriyle izleme ve denetleme performans skorunu gösterir. Bu skorun izleme ve denetlemelerdeki etkinliği, makinistten sonra gelmektedir. Hattın; sinyal bölgeleri harici, makas geçişleri ve ray kırıkları oluşan bölgelere sinyalizasyon sistemine ilave olarak hız sınırlama levhaları yerleştirilmiştir. Bu hız sınırlamaları makinist denetiminde işlev görmektedir. Bu nedenle ağırlık katsayısı  $w_{22D}=10$  seçilir. Bu durumda,  $X_{22D}=70$  alınmıştır. Tüm bu bilgileri (4.16) denkleminde yerine koyarak,  $P(X_{22})=0.88$  buluruz. Bu değer çok iyi düzey çalışma diliminde yer almaktadır. Detay hesaplar Tablo 4.10 da verilmiştir.

Modern sistemler, izlemede Makinist Sorumluluğunu sıfıra indirmektedir. Makinist, sisteme sadece olağanüstü durumlarda müdahale etmektedir. İzleme ve Denetimde insan ve makine arasındaki sorumluluğu %30 insanda, %70 makinede olacak şekilde dağıtmak, ülkemiz koşullarında makuldür. IUAS Aksaray-Havalimanı hattı sinyalizasyon sistemi insan faktörünü minimuma indirecek şekilde tasarlanmıştır.

Tablo 4.10: IUAS için P(X<sub>22</sub>) Hesabı

<b>P(X<sub>22</sub>): ARAÇ İZLEME VE DENETİM SİSTEMİ: P(X<sub>22</sub>) HESABI</b>					
	İnsanla İzleme (Makinistler)	Makine ve teçhizatla izleme	Kontrol Merkezi ile izleme	Diğer (Tarife, Tabela vs)	Maksimum Skor
	<b>X<sub>22A</sub></b>	<b>X<sub>22B</sub></b>	<b>X<sub>22C</sub></b>	<b>X<sub>22D</sub></b>	<b>X<sub>MAX</sub></b>
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	90	90	70	100
	P(X <sub>22A</sub> )	P(X <sub>22B</sub> )	P(X <sub>22C</sub> )	P(X <sub>22D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,90	0,90	0,7	
	W <sub>22A</sub>	W <sub>22B</sub>	W <sub>22C</sub>	W <sub>22D</sub>	ΣW <sub>ij</sub>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	20	30	40	10	100
	λ <sub>22A</sub>	λ <sub>22B</sub>	λ <sub>22C</sub>	λ <sub>22D</sub>	SUM(λ)
<b>Etkinlik Katsayıları λ</b>	0,2	0,3	0,4	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>22A</sub> *P(X <sub>22A</sub> )	λ <sub>22B</sub> *P(X <sub>22B</sub> )	λ <sub>22C</sub> *P(X <sub>22C</sub> )	λ <sub>22D</sub> *P(X <sub>22D</sub> )	<b>P(X<sub>22</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,18	0,27	0,36	0,07	<b>0,88</b>

Araç Yönetim Sistemi Olasılık hesabı X<sub>23</sub> değişkeni ile ölçülmüştür.

Araçların başarılı çalışma olasılığı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P(X_{23})=[\lambda_{23A}P(X_{23A})+\lambda_{23B}P(X_{23B})+\lambda_{23C}P(X_{23C})+\lambda_{23D}P(X_{23D})+\lambda_{23E}P(X_{23E})] \quad (4.18)$$

$$\lambda_{23A}+\lambda_{23B}+\lambda_{23C}+\lambda_{23D}+\lambda_{23E}=1 \quad (4.19)$$

Bu gösterimde,

{X<sub>23A</sub>} Hareketli aracın insanla (makiniistler) yönetim değişkenini,

{X<sub>23B</sub>} Makine ve teçhizatlarla yönetim değişkenini (ATC, ATP vs)

{X<sub>23C</sub>} Kontrol merkezinin araç yönetim değişkeni (Anlaşman bilgisayar, mimik ekran vs.)

{X<sub>23D</sub>} Haberleşme sistemi değişkeni (Saha ekipmanları, RF antenler, Haberleşme kabloları vs.)

{X<sub>23E</sub>} Sefer tarifeleri, direk üstü bilgilendirmelere ait değişken.

Buna göre  $\{X_{23}\}=\{X_{23A}\}+\{X_{23B}\}+\{X_{23C}\}+\{X_{23D}\}+\{X_{23E}\}$  olacaktır.  $\lambda_{23A}, \lambda_{23B}, \lambda_{23C}, \lambda_{23D}$  ve  $\lambda_{23E}$  tasarım parametreleri olup, yönetimin insan, makine ve teçhizat ile kontrol merkezi arasındaki etkinlik dağılımını gösterir. Araç tamamen insan yönetiminde ise  $\lambda_{23}=1$  dir. Yönetim tamamen makine ve teçhizat tarafından yapılıyorsa (yani %100 robot yönetimi varsa)  $\lambda_{23A}=0$  alınır.

Aksaray-Havalimanı hattı boyunca makinist sürüşleri araç üstü ATC bilgisayarı tarafından anlık olarak kontrol edilmektedir. Dolayısı ile makinistlerin sistemi tehdit edebilecek davranışlarda bulunmaları pek muhtemel değildir. Makinistlerin olası bir hatalı sürüşlerinde ATC treni durduracağından dolayı makinist sürüşlerinin etkinliği sefer sürelerinin planlanan zamanlarda bitirilmesi durumları haricinde güvenlik olarak bir problem teşkil etmemektedir. IUAS işletme planlama verilerine göre makinist kaynaklı iptalin hiç olmadığı veya tehirlerin çok az olduğu saptanmıştır. Makinistlerin sorumluluğunun seferlerin planlanan sürelerde bitirilmesi için önem arz ettiği anlamına gelmektedir. Bu durumda  $X_{23A}=90$  alınabilir. Buna karşı gelen ağırlık katsayısı da 100 üzerinden  $w_{23A}=20$  alınabilir.

$X_{23B}$  Makine ve Teçhizatla ilgili yönetim değişkenidir. ABB marka araçlarda, yönetime destek veren makine ve teçhizat, bir önceki bölümde sözü edilen makine ve teçhizattır. Frenler, hız kontrol sistemi, basınç ve cer göstergeleri gibi. Bu sistemlerin, periyodik bakım-onarımı yapıldığında, tasarlandığı gibi güvenilir çalıştıkları tespit edilmiştir. Araç kontrol bilgisayarının araç sürmedeki etkisi hız ve mesafe limitlerinin gözetimi ile sınırlıdır. Belirtilen limitler içerisindeki bütün manevralar makinistin kontrolündedir. İşletmenin sürdürülebilirliği bakımından makinist sorumluluğu araç üstü sistemlerle aynı ağırlıktadır. Bu nedenlerle,  $X_{23B}=90$  ve  $w_{23B}=20$  alınmıştır.

$X_{23C}$ , kontrol merkezi yönetim değişkenidir. İzleme ve denetimde açıklanan tüm hususlar burada da geçerlidir. Kontrol merkezinin yönetimde hata yapma riski ve yönetime katkısı düşüktür. Dispeçerlerin mimik ekran üzerindeki yapmış olduğu bütün rotalar anlaşılan sistemi ile kontrol edilmektedir. Yanlış yazılan veya birbirini tehdit eden rotalar açılmamakta ve dispeçer uyarılmaktadır. Sinyalizasyon sistemindeki arıza durumlarında makas tanzimleri sinyal talebinden bağımsız olarak yapılabilmektedir. Bu ekstra durumlarda makas tanzimleri dispeçer tarafından yapılmaktadır. Bu durum



sinyalizasyon sistemi devre dışı kaldığı zaman başvuru bir yöntem olduğu için sistemin çalışma performansı içerisinde değerlendirilmesi uygun olmayacaktır. Kontrol merkezi yönetim değişkenleri içerisinde insan faktörü minimum seviyede olduğu için sistem en üst düzey çalışma durumu olarak 100 değeri taban alındığında  $X_{23C}=90$ ,  $w_{23C}=20$  seçilmiştir.

$X_{23D}$ , haberleşme sistem altyapısının çalışma olasılık değişkenidir. Sinyalizasyon sistemi içerisinde bulunan bütün haberleşme altyapısı ve tren ile saha arasındaki haberleşme ekipmanları bu kapsamda değerlendirilmektedir. Haberleşme sisteminde genel bir problem olması durumunda sinyalizasyon sistemi hattı en başarılı pozisyonda çalıştıracağı konuma alarak sinyalleri tamamen kapatır. Bu durumda kontrol tamamen makiniste bırakılır fakat emniyet tedbirleri gereği maksimum hız limiti 20 km/sa ile sınırlandırılır. Diğer taraftan saha ile trenler arasındaki veri akışının sağlandığı RF antenlerdeki arıza durumunda bölgeden geçen trenler bir sonraki RF antenin bulunduğu noktaya kadar en emniyetli durum olan önce durup sonra 20 km/sa hızla devam edilmesi pozisyonunda hareketlerine devam ederler. IUAS verilerine göre sinyalizasyon sisteminde oluşan arızalardan sistemi etkileyen arızaların başında haberleşme arızaları gelmektedir. Son iki yıl içerisinde bu tür arızalar sebebi ile 52 seferde toplam 87 dakika tehir olmuştur. Bu durum işletme sefer planlamasında aksamalara sebebiyet verebilmektedir. Fakat yine de bu durumun sistemin emniyetli çalışması durumuna etkisi azdır. Bu nedenlerle sistemin başarılı çalışma performansı  $X_{23D}=75$ ,  $w_{23D}=35$  seçilmiştir.

$X_{23E}$  tarifeler, direk üstü yazılar ve diğer hususlara karşı gelen değişkendir. Yönetime katkısı kısıtlıdır. Kumanda merkezinden yönetimde sefer tarife planları sefer başlangıçlarında başvuru bir kaynaktır. Hat içerisinde hız limitleri için direk üstü bilgilerden doğrudan yararlanmak çok güvenilir bir yöntem değildir. Hat boyunca yerleştirilen RF antenler yardımı ile trenlere hız limitleri güncel olarak verilmektedir. Araç üstü ATC sistemi ile trenin konumuna göre o anki olması gereken hız profili takip edilir. Buna göre,  $X_{23E}=90$ ,  $w_{23E}=5$  alınmıştır.

Hareketli araçlardaki çalışma olasılığı  $P(X_{23})$  Tablo 4.11’de verilmiştir. Sonuçta,  $P(X_{23})=0,8125$  olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık, Bulanık Mantık sisteminde çok iyi düzey çalışma diliminin alt sınırında yer alır.

Tablo 4.11: IUAS için  $P(X_{23})$  Hesabı

<b><i>P(X<sub>23</sub>): ARAÇ YÖNETİM SİSTEMİ</i></b>						
	İnsanla Yönetim (Makinistler)	Makine ve Teçhizatla Yönetim	Kontrol Merkezi ile Yönetim	Haberleşme Sistemi	Diğer (Tarifeler vs. Basılı Doküman)	Maksimum Skor
	<b><i>X<sub>23A</sub></i></b>	<b><i>X<sub>23B</sub></i></b>	<b><i>X<sub>23C</sub></i></b>	<b><i>X<sub>23D</sub></i></b>	<b><i>X<sub>23E</sub></i></b>	<b><i>X<sub>MAX</sub></i></b>
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	90	90	90	75	90	100
	$P(X_{23A})$	$P(X_{23B})$	$P(X_{23C})$	$P(X_{23D})$	$P(X_{23E})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,90	0,90	0,70	0,90	
	$w_{23A}$	$w_{23B}$	$w_{23C}$	$w_{23D}$	$w_{23E}$	$\sum w_{ij}$
<b><i>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></i></b>	20	20	20	35	5	100
	$\lambda_{23A}$	$\lambda_{23B}$	$\lambda_{23C}$	$\lambda_{23D}$	$\lambda_{23E}$	SUM( $\lambda$ )
<b><i>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></i></b>	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{23A} * P(X_{23A})$	$\lambda_{23B} * P(X_{23B})$	$\lambda_{23C} * P(X_{23C})$	$\lambda_{23D} * P(X_{23D})$	$\lambda_{23E} * P(X_{23E})$	<b><i>P(X<sub>23</sub>)</i></b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,18	0,18	0,18	0,2625	0,0475	<b><i>0,85</i></b>

$P(X_{21})$ ,  $P(X_{22})$  ve  $P(X_{23})$  hesaplandığına göre,

$$P(X_2) = P(X_{23})[\beta_{21}P(X_{21}) + \beta_{22}P(X_{22})] \quad (4.20)$$

hesaplanabilir.

Detay hesaplar Tablo 4.12’de gösterilmiştir. Bu tabloda, etkinlik katsayıları

$\beta_{21} = \beta_{22} = \frac{1}{2}$  olarak uniform seçilmiştir.

Tablo 4.12: IUAS için  $P(X_2)$  Hesabı

<i>P(X2): Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı P(X2)</i>			
	Araçların Tek. Std. Uygunluğu	Araç İzleme ve Denetim	
	<b>w1</b>	<b>w2</b>	<b>sum(W)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları wij</b>	1	1	2
	<b><math>\beta_{21}</math></b>	<b><math>\beta_{22}</math></b>	Sum( $\beta$ )
	0,5	0,5	1
<b>Giriş Değişkenleri</b>	P(X21)	P(X22)	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,90	0,88	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\beta_{21} * P(X21)$	$\beta_{22} * P(X22)$	<b>PL(X2)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,45	0,44	<b>0,89</b>
	<b><math>P(X2) = P(X23) * PL(X2) =</math></b>		<b>0,7565</b>

Sonuçta, hareketli araç çalışma olasılığı  $P(X2)=0,7565$  bulunmuştur. IUAS'ın, ulusal ve uluslararası standartlara özenle uyması ile birlikte işletme "1. Derece Başarılı Çalışma Dilimi" olarak değerlendirdiğimiz çalışma dilimininde yer almaktadır.

#### 4.1.3 Sinyalizasyon Saha Donanımları P(X<sub>3</sub>)

Bu ana grubun alt kümelerini aşağıdaki şekliyle verebiliriz.

{X<sub>31</sub>} Sinyal Lambaları uygun çalışma şartları kümesi

{X<sub>32</sub>} Otomatik Kontrollü Makaslar uygun çalışma şartları kümesi

{X<sub>33</sub>} Ray Devreleri uygun çalışma şartları kümesi

{X<sub>34</sub>} Sinyalizasyon Saha Kabinetleri uygun çalışma şartları kümesi

Yukarıdaki kümelerden  $\{X_{31}\}$ ,  $\{X_{32}\}$ ,  $\{X_{33}\}$  ve  $\{X_{34}\}$ 'de dolaylı etkileyen kümeler olarak düşünebiliriz.

Bu durumda, Sinyalizasyon saha donanımlarının Çalışma Olasılığı  $P(X_3)$  aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P(X_3) = \beta_{31}P(X_{31}) + \beta_{32}P(X_{32}) + \beta_{33}P(X_{33}) + \beta_{34}P(X_{34}) \quad (4.21)$$

Bu denklemde,  $P(X_{31})$  sistemde yer alan sinyal lambalarının başarılı çalışma olasılığını,  $P(X_{32})$  otomatik makasların başarılı çalışma olasılığını,  $P(X_{33})$  ray devrelerinin başarılı çalışma olasılığını ve  $P(X_{34})$ 'de Sinyalizasyon saha kabinetlerinin başarılı çalışma olasılığını göstermektedir.

Sinyalizasyon donanımlarının sistemdeki Etkinlik Dağıtım Katsayılarının Uniform olarak  $\beta_{31} = \beta_{32} = \beta_{33} = \beta_{34} = \frac{1}{4}$  seçilebilir.

Sinyal Lambaları uygun çalışma olasılık kümesi  $P(X_{31})$  ile ölçülmüştür.

Sinyal lambaların başarılı çalışma olasılığı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P(X_{31}) = [\lambda_{31A}P(X_{31A}) + \lambda_{31B}P(X_{31B}) + \lambda_{31C}P(X_{31C}) + \lambda_{31D}P(X_{31D}) + \lambda_{31E}P(X_{31E}) + \lambda_{31F}P(X_{31F}) + \lambda_{31G}P(X_{31G})] \quad (4.22)$$

$$\lambda_{31A} + \lambda_{31B} + \lambda_{31C} + \lambda_{31D} + \lambda_{31E} + \lambda_{31F} + \lambda_{31G} = 1 \quad (4.23)$$

Bu gösterimde,

$\{X_{31A}\}$  Sinyal Lamba beslemeleri değişkeni

$\{X_{31B}\}$  Sinyal Lamba akım kontrol kartları değişkeni

$\{X_{31C}\}$  Sinyal Merkezi işlem birimleri değişkeni

$\{X_{31D}\}$  Balise bağlantı birimleri değişkeni

$\{X_{31E}\}$  Sinyal ampulleri

$\{X_{31F}\}$  Balisler

$\{X_{31G}\}$  Diğer (kablo, sigorta vs.)

Bütün değişkenlerin sisteme etkileri göz önüne alındığında Merkezi işlem birimi haricinde diğer değişkenlerin ağırlık katsayıları eşit orandadır.

Bu durumda;

$$w_{31C}=w_{31F}=20 \text{ olarak alındığında; } w_{31A}=w_{31B}=w_{31D}=w_{31E}=w_{31G} = \frac{60}{5} = 12,$$

$X_{31A}$ , Sinyal lambaları beslemeleri skor ölçümü için tanımlanan değişkendir. Sinyal Lambaları için hat boyuna döşenen besleme kablolarıdır. Kablolar dış ortamdan tamamen izole bir beton kanal içerisinden geçmektedir. Kabloların tamamı çelik zırlı, nem ve kemirgenlere karşı zehirli jelli olarak seçilmiştir. Dolayısı ile hat içerisinde çok başarılı bir alt yapı görünümü sergilemektedir. Bu durumda  $X_{31A}=90$  olarak değerlendirilebilir. Sinyal lambalarının yoğunluğu katsayısı  $w_{31A}=12$  olarak belirlenmiştir.

$X_{31B}$ , Sinyal Lamba akım kontrol kartları başarılı çalışma durumu için tanımlanmış değişkendir. Lamba arızalarının tespiti amacı ile her bir sinyalin giriş akımı ölçülmektedir. Ölçüm sonucu tespit edilen lamba arızası durumunda sinyalizasyon bölgeyi en emniyetli pozisyona almaktadır. IUAS'da konusunda uzman sinyalizasyon mühendisleri tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda lamba arızalarının nerede ise kusursuz oranda tespit edildiği ifade edilmektedir. Son 5 yıl içerisinde toplam 3 kart arızası oluştuğu dikkate alınır ise akım kontrol kartları oldukça başarılı seviyede çalışmaktadır. Bu nedenle  $X_{31B}=90$  olarak değerlendirilebilir. Yoğunluk katsayısı  $w_{31B}=12$  olarak alınmıştır.

$X_{31C}$ , Sinyal merkezi işlem birimleri için tanımlanan değişkendir. Merkezi işlem birimi bütün sinyal kartları ve ölçüm değerlerinin değerlendirilerek ankaşman bilgisayarına bilgilerin aktarılması ve ankaşman bilgisayarından gelen taleplerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Diğer kartlar ile aynı kararlılıkla çalışmaktadır.  $X_{31C}=90$ ,  $w_{31C}=20$  olarak alınmıştır.

$X_{31D}$ , Balise bağlantı birimleri başarılı çalışma olasılık değişkenidir. Sinyal durum bilgilerine göre RF antenlerden trene iletilmek üzere hat durum bilgileri aktarılmaktadır.  $X_{31D}=90$ ,  $w_{31D}=12$  olarak alınmıştır.

$X_{31E}$ , Sinyal ampulleri için çalışma olasılık değişkenidir. Sinyal ampullerinin dış ortamda çalıştığı ve 24 saat aktif olarak yakılıp söndürüldüğü dikkate alınarak yapılan değerlendirmede kullanım ömrü 4 yıl olarak tespit edilmiştir. Hat içerisinde bütün sinyalizasyon donanımları UPS üzerinden beslendiği için gerilim regülasyonu sağlanmıştır. Dolayısı ile ampullerin yüksek voltaj bozulması çok azdır. Bu durumda  $X_{31E}=85$ ,  $w_{31E}=12$  olarak alınabilir.

$X_{31F}$ , Balisler için tanımlanan değişkendir. Önceki konularda detaylı olarak incelendiği üzere raylar arasında konumlandırılmış araçlara bilgi aktaran antenlerdir. Dış ortamda çalışma durumlarına uygun üretilmelerine rağmen 1 yıl içerisinde ortalama 6 arıza oluşmaktadır. Bu arızalardan 2'inde balise değiştirilerek arıza giderilmektedir. Diğer arızalar yol bakım çalışmaları sonucu oluşan kablo kesikleri ve anten üzerine bırakılan metal malzemelerden kaynaklanabilmektedir. Bu istatistikler ışığında baliselerin işletmeye etkisi oldukça fazladır. Bu durumda  $X_{31F}=70$ ,  $w_{31F}=20$  olarak alınabilir.

$X_{31G}$ , Diğer (Kablo, sigorta vs.)  $X_{31G}=80$ ,  $w_{31G}=12$  olarak alınabilir.

Sinyal Lambaları çalışma olasılığı  $P(X_{31})$  Tablo 4.13'de verilmiştir. Sonuçta,  $P(X_{31})=0,818$  olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık, Bulanık Mantık sisteminde çok iyi düzey çalışma diliminin alt sınırındadır.

Tablo 4.13: IUAS için P(X<sub>31</sub>) Hesabı

<b><i>P(X<sub>31</sub>): Sinyal Lambaları kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı</i></b>								
	Besleme Kartları	Akım kontrol kartları	Merkezi işlem birimi	Balise bağlantı birimleri	Ampuller	Baliseler	Diğer	Maksimum Skor
	<b>X<sub>31A</sub></b>	<b>X<sub>31B</sub></b>	<b>X<sub>31C</sub></b>	<b>X<sub>31D</sub></b>	<b>X<sub>31E</sub></b>	<b>X<sub>31F</sub></b>	<b>X<sub>31G</sub></b>	<b>X<sub>MAX</sub></b>
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	90	90	90	70	85	70	80	100
	P(X <sub>31A</sub> )	P(X <sub>31B</sub> )	P(X <sub>31C</sub> )	P(X <sub>31D</sub> )	P(X <sub>31E</sub> )	P(X <sub>31F</sub> )	P(X <sub>31G</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,90	0,90	0,70	0,85	0,70	0,80	
	W <sub>31A</sub>	W <sub>31B</sub>	W <sub>31C</sub>	W <sub>31D</sub>	W <sub>31E</sub>	W <sub>31F</sub>	W <sub>31G</sub>	Σw <sub>ij</sub>
<b><i>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></i></b>	12	12	20	12	12	20	12	100
	λ <sub>31A</sub>	λ <sub>31B</sub>	λ <sub>31C</sub>	λ <sub>31D</sub>	λ <sub>31E</sub>	λ <sub>31F</sub>	λ <sub>31G</sub>	SUM(λ)
<b><i>Etkinlik Katsayıları λ</i></b>	0,12	0,12	0,2	0,12	0,12	0,2	0,12	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>31A</sub> * P(X <sub>31A</sub> )	λ <sub>31B</sub> * P(X <sub>31B</sub> )	λ <sub>31C</sub> * P(X <sub>31C</sub> )	λ <sub>31D</sub> * P(X <sub>31D</sub> )	λ <sub>31E</sub> * P(X <sub>31E</sub> )	λ <sub>31F</sub> * P(X <sub>31F</sub> )	λ <sub>31G</sub> * P(X <sub>31G</sub> )	<b>P(X<sub>31</sub>)</b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,108	0,108	0,18	0,084	0,102	0,14	0,096	<b>0,818</b>

Otomatik Kontrollü makasların uygun çalışma olasılık kümesi P(X<sub>32</sub>) ile ölçülmüştür.

Otomatik kontrollü makasları başarılı çalışma olasılığı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P(X_{32}) = [\lambda_{32A}P(X_{32A}) + \lambda_{32B}P(X_{32B}) + \lambda_{32C}P(X_{32C}) + \lambda_{32D}P(X_{32D}) + \lambda_{32E}P(X_{32E}) + \lambda_{32F}P(X_{32F}) + \lambda_{32G}P(X_{32G}) + \lambda_{32H}P(X_{32H}) + \lambda_{32I}P(X_{32I})] \quad (4.24)$$

$$\lambda_{32A} + \lambda_{32B} + \lambda_{32C} + \lambda_{32D} + \lambda_{32E} + \lambda_{32F} + \lambda_{32G} + \lambda_{32H} + \lambda_{32I} = 1 \quad (4.25)$$

Bu gösterimde,

{X<sub>32A</sub>} Makas Motoru değişkeni

{X<sub>32B</sub>} Redüktör ve dişliler değişkeni

{X<sub>32C</sub>} Makas Üç Faz kontrol kartları değişkeni

{X<sub>32D</sub>} Makas Merkezi işlem Birimleri değişkeni

{X<sub>32E</sub>} Makas Tahrik ve ölçü kolları değişkeni

{X<sub>32F</sub>} Makas yön tayin kontakları ve ölçüm kartları değişkeni

{X<sub>32G</sub>} Lokal kontrol direği değişkeni

{X<sub>32H</sub>} Manüel Makas tanzim kolu değişkeni

{X<sub>32I</sub>} Diğer (kablo, sigorta vs.)

X<sub>32A</sub>, Makas motorları için tanımlanan değişkendir. Önceki konularda detaylı olarak incelendiği gibi makasın yol tanzimine uygun pozisyonda hareketini sağlamak amacı ile tahrik kollarını süren 3 fazlı motordur. Periyodik bakım-onarım faaliyetlerine uyulduğu takdirde çok kararlı çalışmaktadır. Hattın işletmeye açılış yılı 1989 yılından bu yana 2 defa arızalanması bu çıkarımı doğrular niteliktedir. Sistemin başarılı çalışmasına katkısı orta düzeydedir. Bu durumda X<sub>32A</sub>=90, w<sub>32A</sub>=10 olarak alınabilir.

X<sub>32B</sub>, Redüktör ve dişli sisteminin başarılı çalışması için tanımlanan ölçüm parametresidir. Makas motorundan alınan momentin tahrik kollarına iletilmesi için makasa yerleştirilmiştir. Periyodik bakım-onarım faaliyetlerine uyulduğu takdirde çok kararlı çalışmaktadır. Dişlilerin temizliği, yağlanması ve balatalarının dinamometre ile ölçümlerinin yapılması durumunda herhangi bir problem çıkarmadığı IUAS uzmanları tarafından bildirilmektedir. Redüktör içerisindeki balataların ortalama ömür limiti 20000 harekettir. Dolayısı ile balataların ölçümleri çok önem arz etmektedir. Ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılmaması veya periyotların takip edilmemesi durumunda arıza durumları ile karşılaşılabilir. Bu durumda X<sub>32B</sub>=85, w<sub>32B</sub>=15 olarak alınabilir.

X<sub>32C</sub>, Makas motor üç faz kontrol kartı için tanımlanan değişkendir. Makasın dönmesi için motorun devir yönünün değiştirilmesi gerekmektedir. 3 fazlı motorun sargılarının faz bağlantılarını değiştirmek için mosfetli bir devre tertip edilmiştir. Genel yarıiletken



malzeme ömürleri ile ilişkili olarak kartın çalışmasının kararlı olduğu varsayılmıştır. Elektronik kartlar için enerji düzenliliği çok önemlidir. Dolayısı ile sistemi besleyen UPS'lerin bakımı önem arz etmektedir. UPS'lerin problemsiz çalıştığı varsayılarak  $X_{32C}=90$ ,  $w_{32C}=10$  olarak alınabilir.

$X_{32D}$ , Otomatik makas merkezi işlem birimleri için tanımlanan değişkendir. Merkezi işlem birimi bütün makas kartları ve ölçüm değerlerinin değerlendirilerek Anlaşman bilgisayarına bilgilerin aktarılması ve Anlaşman bilgisayarından gelen taleplerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Diğer kartlar ile aynı kararlılıkla çalışmaktadır. Dolayısı ile  $X_{32D}=90$ ,  $w_{32D}=10$  olarak alınmıştır.

$X_{32E}$ , Makas tahrik ve ölçü kollarının doğru çalışma olasılığı hesabı için belirlenen değişkendir. Makas motorunun dönmesi ile başlayıp Redüktör ile aktarılan moment sonucu tahrik kolları rayları ileri-geri iterek yolu sapma pozisyonuna göre hazırlar. Bu hareket sonucu makasta bulunan ölçü kolları bağlı bulunduğu kontakları hareket ettirmek sureti ile makasın oturup oturmadığı bilgisini oluşturur. Dolayısı ile makas kolları hem makası hareket ettirir hem de makasın tam olarak hareketini tamamlayıp tamamlamadığını tespit eder. Makasın doğru çalışabilmesi için et etkili donanım makas kollarıdır. Periyodik olarak (3 ayda bir) makas kollarının 3mm-5mm ölçümleri yapılmaktadır. Makas kollarının 2000 hareket sonucu ayarlarının bozulduğu ve tekrar ayar yapılması gerektiği IUAS'dan alınan istatistikî veriler ile ortaya çıkmaktadır. PBO yapıldığı takdirde sistem kararlılıkla çalışmaktadır. Dolayısı ile  $X_{32E}=90$ ,  $w_{32E}=20$  olarak alınmıştır.

$X_{32F}$ , Makas yön tayin kontakları ve ölçüm kartları başarılı çalışma olasılığı hesabı için belirlenen değişkendir. Sistemin başarılı çalışmasına etkisi bakımından makas tahrik ve ölçü kolları ile aynı yoğunluktadır. Önceki konularda ele alındığı gibi makas kollarının hareketi ile makasın yön ve durum bilgilerinin ölçüldüğü kontaklardır.  $X_{32F}=90$ ,  $w_{32F}=20$  olarak alınmıştır.

$X_{32G}$ , Lokal Kontrol direği başarılı çalışma olasılığı hesabı için belirlenen değişkendir. Makas kontrolü merkezden yapılamadığı veya hat içerisinde sefer dışında bir çalışma olması durumunda sinyalizasyondan bağımsız olarak makasın bulunduğu noktalarda

manüel kontrol sağlayan butonlar yardımı ile bölgedeki makinistler veya bakım elemanları tarafından makasın hareket ettirilmesi için kullanılmaktadır. Uygulama çok sık kullanılmamakta ve sisteme etki yoğunluğu diğer değişkenlere göre daha azdır. Bu durumda sistemin başarılı çalışması  $X_{32G}=75$ ,  $w_{32G}=5$  olarak alınmıştır.

$X_{32H}$ , Manüel makas tanzim kolu için tanımlanan değişkendir. Makasların merkezden veya sistemden hiçbir şekilde izlenemediği ve kontrol edilemediği durumlarda her araçta ve bakım saha kabinetlerinde bulunan makas kolları ile makasın el ile çevrilmesi ile tanzimi için kullanılmaktadır. Bu durumda da insan faktörü ortaya çıkmaktadır. Bu operasyonda lokal kontrol direğinden farklı olarak makas motoru değil tamamen insan gücü ile makas çevrilmektedir. Makas kolu kullanılması durumunda sinyaller yine en emniyetli pozisyona çevrilir ve bölgeye tren girişine sistem tarafından müsaade edilmez. Bu durumda sistemin başarılı çalışması insan faktöründen dolayı 3. Derece Başarılı Çalışma durumunda değerlendirilebilir.  $X_{32H}=65$ ,  $w_{32H}=5$  olarak alınmıştır.

$X_{32I}$ , Diğer (Kablo, sigorta vs.)  $X_{32I}=80$ ,  $w_{32I}=5$  olarak alınabilir.

Otomatik kontrollü makasların çalışma olasılığı  $P(X_{32})$  Tablo 4.14'de verilmiştir. Sonuçta,  $P(X_{32})=0,8675$  olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık, Bulanık Mantık sisteminde çok iyi düzey çalışma diliminde yer alır.

Tablo 4.14: IUAS için  $P(X_{32})$  Hesabı

<i>P(X<sub>32</sub>): Otomatik Kontrollü makas kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı</i>										
	Makas Motoru	Redüktör	Üç Faz kontrol kartı	Merkezi işlem birimi	Makas Kolları	Kontak Bilgileri	Lokal kontrol direği	Makas Kolu	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{32A}$	$X_{32B}$	$X_{32C}$	$X_{32D}$	$X_{32E}$	$X_{32F}$	$X_{32G}$	$X_{32H}$	$X_{32I}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	85	90	90	90	90	75	65	80	100
	$P(X_{32A})$	$P(X_{32B})$	$P(X_{32C})$	$P(X_{32D})$	$P(X_{32E})$	$P(X_{32F})$	$P(X_{32G})$	$P(X_{32H})$	$P(X_{32I})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,85	0,90	0,90	0,90	0,90	0,75	0,65	0,80	
	$W_{32A}$	$W_{32B}$	$W_{32C}$	$W_{32D}$	$W_{32E}$	$W_{32F}$	$W_{32G}$	$W_{32H}$	$W_{32I}$	$\Sigma w_{ij}$
<b>Ağırlık Katsayısı <math>w_{ij}</math></b>	10	15	10	10	20	20	5	5	5	100
	$\lambda_{32A}$	$\lambda_{32B}$	$\lambda_{32C}$	$\lambda_{32D}$	$\lambda_{32E}$	$\lambda_{32F}$	$\lambda_{32G}$	$\lambda_{32H}$	$\lambda_{32I}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayısı <math>\lambda</math></b>	0,1	0,15	0,1	0,1	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{32A}^* P(X_{32A})$	$\lambda_{32B}^* P(X_{32B})$	$\lambda_{32C}^* P(X_{32C})$	$\lambda_{32D}^* P(X_{32D})$	$\lambda_{32E}^* P(X_{32E})$	$\lambda_{32F}^* P(X_{32F})$	$\lambda_{32G}^* P(X_{32G})$	$\lambda_{32H}^* P(X_{32H})$	$\lambda_{32I}^* P(X_{32I})$	<b><math>P(X_{32})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,09	0,1275	0,09	0,09	0,18	0,18	0,0375	0,0325	0,04	<b>0,8675</b>

Sinyalizasyon sistemi için ray devrelerinin standartlara uygun çalışma şartları  $X_{33}$  ile tanımlanmıştır.

$X_{33}$  değişkenini dört alt gruba ayrılabilir.

$X_{33A}$  değişkeni ile ray besleme trafoları performansı ölçülmüştür. Trenlerin hat üzerinde yer ve pozisyon bilgisi sinyalizasyon sistemi içerisinde bulunduğu gibi ray devreleri üzerinden alınmaktadır. Ray devrelerini oluşturan en önemli unsur ray besleme trafolarıdır. IUAS arıza kayıtlarına bakıldığında ray besleme trafolarının hiç arızalanmadığı fakat çevresel etkilerden dolayı gerilim düşümünün fazla olduğu durumlarda voltajının yükseltilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Bu sistem de “çok güvenilir” bir yapı arz etmektedir. Periyodik Bakım-Onarım (PBO) yapılması halinde, performans skoru  $X_{33A}$  100 üzerinden 90 olarak düşünülebilir.

$X_{33B}$  değişkeni ile ray besleme geri dönüş ölçüm trafo ve röleleri performansı ölçülmüştür. Raya verilen gerilimin dönüşünün ölçüldüğü trafo ve röledir.  $X_{33A}$  değişkeni ile aynı yoğunluktadır. PBO yapılması halinde,  $X_{33B}$  90 gibi bir performans skoruna ulaşmaktadır.

$X_{33C}$  İzole cebireler için tanımlanan performans değişkenidir. İzole cebireler hat içerisinde ray devrelerinin oluşumu için fiziki olarak rayların kesilerek birbirinden elektriksel olarak yalıtılması amacı ile kullanılmaktadır. İzole cebre bölgelerindeki balastlardaki boşluklardan dolayı izole cebireler oldukça zorlanmaktadır. Hem çevresel faktörler, ısı değişimleri ve trenin geçişi ile oluşan baskı izole cebirelerde sürekli deformasyona sebep olmaktadır. 20 yıllık hat içerisinde izole cebirelerin değişimi belirli aralıklarla tekrarlanmaktadır. Raylar her gün yol nöbetçisi tarafından kontrol edilmektedir. IUAS yol bakım ekibi tarafından raporlanan 110 adet izole cebrenin değiştirildiği ve 2 yıllık plan dahilinde kalan 250 adet izole cebrenin değiştirileceği raporlanmıştır. Sistem “2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi” konumundadır. Performans skoru 70 alınabilir.

$X_{21D}$  Diğer (sigorta, Parafudr, Kablo bağlantıları) başarılı çalışma performans seviyesi 75 olarak alınmıştır.

Performans skorlarının ağırlıkları  $w_{ij}$  ‘leri, maksimum 100 skoru üzerinden, aşağıdaki gibi dağıtılabilir.

- Besleme ve geri dönüş trafoları için  $w_{33A}=w_{33B}=20$
- İzole cebre için  $w_{33C}=50$  alınmıştır.
- $w_{33D}=10$  alınması uygun görülmüştür.

Buna göre,

$$P(X_{33})=[\lambda_{33A}P(X_{33A})+\lambda_{33B}P(X_{33B})+\lambda_{33C}P(X_{33C})+\lambda_{33D}P(X_{33D})] \quad (4.26)$$

$$\lambda_{33A}+\lambda_{33B}+\lambda_{33C}+\lambda_{33D}=1 \quad (4.27)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Tablo 4.15: IUAS için P(X33) hesabı

P(X <sub>33</sub> ): Ray Devreleri					
	Besleme Trafoları	Dönüş Trafoları ve Röleler	İzole Cebireler	Diğer	Maksimum Skor
	X <sub>33A</sub>	X <sub>33B</sub>	X <sub>33C</sub>	X <sub>33D</sub>	X <sub>MAX</sub>
Giriş Değişkenleri	90	90	70	75	100
	P(X <sub>33A</sub> )	P(X <sub>33B</sub> )	P(X <sub>33C</sub> )	P(X <sub>33D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,9	0,7	0,75	
	w <sub>33A</sub>	w <sub>33B</sub>	w <sub>33C</sub>	w <sub>33D</sub>	□ w <sub>j</sub>
Ağırlık Katsayıları w <sub>ij</sub>	20	20	50	10	100
	λ <sub>33A</sub>	λ <sub>33B</sub>	λ <sub>33C</sub>	λ <sub>33D</sub>	SUM(λ)
Etkinlik Katsayıları λ	0,2	0,2	0,5	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>33A</sub> *P(X <sub>33A</sub> )	λ <sub>33B</sub> *P(X <sub>33B</sub> )	λ <sub>33C</sub> *P(X <sub>33C</sub> )	λ <sub>33D</sub> *P(X <sub>33D</sub> )	P(X <sub>33</sub> )
Çıkış Değerleri	0,18	0,18	0,35	0,075	0,785

Sonuç olarak, P(X<sub>33</sub>)= 0,785 olarak hesaplanmıştır. Bu da “1. Derece Başarılı Çalışma” diliminin üst sınırında bulunmaktadır. Yukarıdaki tabloda kullanılan tüm performans değerleri ve ağırlıklar, konusunda uzman 10 IUAS bakım mühendisinin görüşü de alınarak belirlenmiştir.

Sinyalizasyon saha kabinetlerinin uygun çalışma olasılık kümesi P(X<sub>34</sub>) ile ölçülmüştür.

Sinyalizasyon saha kabinetlerinin başarılı çalışma olasılığı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P(X_{34})=[\lambda_{34A}P(X_{34A})+\lambda_{34B}P(X_{34B})+\lambda_{34C}P(X_{34C})] \quad (4.28)$$

$$\lambda_{34A}+ \lambda_{34B}+ \lambda_{34C} =1 \quad (4.29)$$

Bu gösterimde,

{X<sub>34A</sub>} Kabinet güç kaynakları ve kesintisiz güç kaynakları değişkeni

{X<sub>34B</sub>} Kabinet kontrolör ve haberleşme kartları değişkeni

{X<sub>34C</sub>} Diğer (Haberleşme kabloları, topraklama, sigorta ve diyot bağlantıları vs.)

X<sub>34A</sub> Kabinet güç kaynakları ve kesintisiz güç kaynakları değişkenidir. Bütün sinyalizasyon ekipmanları saha kabinetleri içerisinde toplanmıştır. Sistemde bulunan kartlar, trafolar, röleler vs. bütün donanımların beslemesi kabinet güç kaynağından sağlanmaktadır. Saha kabinetleri ise UPS' ler üzerinden beslenmektedir. UPS veya güç kaynağındaki herhangi bir problemde kabinete bağlı olan (bir kabinete maksimum 8 sinyalizasyon objesi bağlanabilir) bütün donanımlarına çalışması durabilecektir. IUAS uzmanlarınca yapılan değerlendirmede UPS bakımları periyodik olarak düzenli bir şekilde takip edildiği ve yedek parça teminini ile ilgili olarak herhangi bir problemin yaşanmadığı belirtilmiştir. IUAS işletme birimince raporlanan UPS kaynaklı arızalarda son 1 yıl içerisinde İşletmede toplam 22 dakika tehir olmuştur. Bu durumda  $X_{34A} = 80$ ,  $w_{34A}=40$  olarak alınabilir.

X<sub>34B</sub> Kabinet kontrolör ve haberleşme kartları için tanımlanan performans değişkenidir. Önceki konularda da vurgulandığı gibi bütün sahadaki sinyalizasyon donanımları saha kabinetlerine bağlıdır. Anlaşman bilgisayar ile olan bütün veri akışı kabinet kontrolörü (concentrator) üzerinden yapılmaktadır. Haberleşme iki taraflı döngülerle yedekli yapıda kurulmuştur. Tek taraflı haberleşme kesintilerinde sistem hiçbir şekilde etkilenmemektedir. Dolayısı ile sistem kararlı ve güvenilir bir yapıdadır. Kart arızaları durumunda stok mevcutları oldukça yeterlidir. Bu durumda  $X_{34A} = 90$ ,  $w_{34A}=40$  olarak alınabilir.

X<sub>34C</sub> Haberleşme kabloları, topraklama, sigorta ve diyot bağlantıları gibi sistemin alt yapısını oluşturan parçalar için tanımlanan performans değişkenidir. Topraklama, sigorta ve diyotların gerekli bağlantıları yapıldığı ve sistemin korunması sağlandığı IUAS tarafından raporlanmıştır. Burada karşılaşılan en büyük sorun haberleşme kablolarında oluşan problemlerdir. En büyük tehdit kablo hırsızlığıdır. Her ne kadar hat

tamamen tel örgülerle çevrili olmasına rağmen kablo hırsızlığının önüne geçilememektedir. Haberleşme kabloları hırsızların direk hedefinde olmamasına rağmen kabloları zarar verilmektedir. Bu durum sistem performansını etkileyen bir yapı oluşturmasına rağmen kabloların yedekli olması, kablo kesiklerinin anında tespit edilebilmesi gibi nedenlerle sistemin çalışması etkilenmemektedir. Bu durumda  $X_{34A} = 90$ ,  $w_{34A}=20$  olarak alınabilir.

Saha Kabinetlerinin çalışma olasılığı  $P(X_{34})$  Tablo 4.16’da verilmiştir. Sonuçta,  $P(X_{34})=0,86$  olarak hesaplanmıştır. Bu olasılık, Bulanık Mantık sisteminde çok iyi düzey çalışma diliminde yer alır.

Tablo 4.16: IUAS için  $P(X_{33})$  hesabı

<b><math>P(X_{34})</math>: Sinyalizasyon Saha Kabinetleri</b>				
	Kabinet güç üniteleri ve UPS	Kabinet Kontrolör ve Haberleşme kartları	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{34A}$	$X_{34B}$	$X_{34C}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	80	90	90	100
	$P(X_{34A})$	$P(X_{34B})$	$P(X_{34C})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,8	0,9	0,9	
	$w_{34A}$	$w_{34B}$	$w_{34C}$	$\Sigma w_{ij}$
<b>Ağırlık Katsayıları <math>w_{ij}</math></b>	40	40	20	100
	$\lambda_{34A}$	$\lambda_{34B}$	$\lambda_{34C}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,4	0,4	0,2	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{34A} * P(X_{34A})$	$\lambda_{34B} * P(X_{34B})$	$\lambda_{34C} * P(X_{34C})$	<b><math>P(X_{34})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,32	0,36	0,18	<b>0,86</b>

$P(X_{31})$ ,  $P(X_{32})$ ,  $P(X_{33})$  ve  $P(X_{34})$  hesaplandığına göre, (4.21) denkleminde hesaplanabilir.

$$P(X_3) = \beta_{31}P(X_{31}) + \beta_{32}P(X_{32}) + \beta_{33}P(X_{33}) + \beta_{34}P(X_{34}) \quad (4.21)$$

Detay hesaplar Tablo 4.17’de gösterilmiştir. Bu tabloda, etkinlik katsayıları  $\beta_{31} = \beta_{32} = \beta_{33} = 0,20$  olarak uniform seçilirken saha kabinetleri  $\beta_{34} = 0,40$  olarak seçilmelidir.

Tablo 4.17: IUAS için  $P(X_3)$  Hesabı

<b><i>P(X<sub>3</sub>) Sinyalizasyon Saha Donanımları</i></b>					
	Sinyal Lambaları	Otomatik Kontrollü Makaslar	Ray Devreleri	Sinyalizasyon Saha Kabinetleri	
	<b>w1</b>	<b>w2</b>	<b>w3</b>	<b>w4</b>	<b>sum(w)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	1	1	1	1	2
	$\beta_{31}$	$\beta_{32}$	$\beta_{33}$		Sum( $\beta$ )
	0,20	0,20	0,20	0,40	1
<b>Giriş Değişkenleri</b>	$P(X_{31})$	$P(X_{32})$	$P(X_{33})$	$P(X_{34})$	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,818	0,8675	0,785	0,86	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\beta_{31} * P(X_{31})$	$\beta_{32} * P(X_{32})$	$\beta_{33} * P(X_{33})$	$\beta_{34} * P(X_{34})$	<b><math>P(X_3)</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,1636	0,1735	0,157	<b>0,344</b>	<b>0,8381</b>

Sonuçta, Sinyalizasyon saha donanımları  $P(X_3) = 0,8381$  olarak bulunmuştur. IUAS’ın, PBO’ya özenle uymasına rağmen işletme “2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi” olarak değerlendirdiğimiz çalışma diliminde çalışmaktadır.



#### 4.1.4 Araç Hareket Ortamı Kümesine Dönük Çalışma Olasılığının Hesabı $P(X_4)$

Birçok hesaplama tekniğinde olduğu gibi, araç hareket ortamının çalışma başarısı olasılığı doğrudan ve dolaylı probabiliteler fonksiyonlarının çarpımı ile belirlenebilir.

Dolaylı Probabilite Fonksiyonu  $P_L(X_4)$

$$P_L(X_4) = \sum_{j=1}^{m_1} \beta_{4j} P(X_{4j}) \quad (4.31)$$

olarak verilebilir.

Doğrudan probabiliteler fonksiyonu  $P_D(X_4)$  ise aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P_D(X_4) = \prod_{j=m_1+1}^{m_2} P(X_{4j}) \quad (4.32)$$

Bu gösterimde  $m = m_1 + m_2$  hareket ortamını tanımlayan, toplam değişken sayısıdır.

$\beta_{4j}$  reel katsayıları, hareket ortamı tasarım veya ortam parametresi olup,

$$0 \leq \beta_{4j} \leq 1 \quad \sum_{j=1}^{m_1} \beta_{4j} = 1 \text{ şartlarını sağlar.}$$

Sonuçta, Hareket Ortamı Başarılı Çalışma Olasılığı

$$P(X_4) = P_D(X_4) \cdot P_L(X_4) \quad (4.33)$$

olarak verilebilir.

*Demiryolu taşımacılığında,*

$X_{41}$  Traversler (Dolaylı)

$X_{42}$  Balastlar (Dolaylı)

$X_{43}$  Hava Durumu (Dolaylı)

$X_{44}$  Raylar (Doğrudan)

$X_{45}$  Alt zemin yapısı (Doğrudan)

$X_{46}$  Teknik Binalar ve Teçhizatlar (Dolaylı)

$X_{47}$  Enerji sistemleri (Dolaylı)

dolaylı ve doğrudan hareket ortamı değişkenlerini simgelemektedir.

*Buna göre,  $m_1=5$ ,  $m_2=2$  ve  $m=7$  olmaktadır.*

Aksaray-Havalimanı işletmesi için,  $P(X_4)$  hesabı Tablo 4.18 de verilmiştir. Bu tabloya göre, traverslerin çok iyi düzey çalışma diliminde olduğu görülmektedir. Aksaray-Havalimanı hattı boyunca beton traverslerin %95'inde herhangi bir problem bulunmamaktadır. Diğer taraftan Ahşap traverslerin %80'i istenilen seviyededir. Dolayısı ile performans skoru  $X_{41} = 90$  alınabilir. 20 km'lik hat boyunca yaklaşık 3 km'lik kısım betona sabitlidir. Geri kalan hattın 14 km'ye yakın kısmında balastlarda herhangi bir problem bulunmadığı. Kalan kısımdaki balastların 100 balasttan en az 75'inin büyüklüğü 3cm-6cm arasında bulunmuştur. 2011 yılı son çeyreğinden bu bölgelerde balast yenileme çalışması başlatılacaktır. Hedeflenen 2 yıl süre zarfında hat içerisindeki bütün balastların elenmesi ve yenilenmesidir. Dolayısı ile sistem yenileme çalışmaları devam ettiği için 20 yıllık bir hatta  $X_{42} = 75$  değeri oldukça kabul edilebilir standartlar içindedir. Hava tahmin raporları son yıllarda oldukça güvenilir bir durumdadır. Bu nedenle, hava koşullarının ön görülebilir-çok iyi düzey olduğu kabul edilebilir. Hava durumu raporlarında göre kataner hattı ve yoldaki oluşabilecek durumlar önceden bilinmekte ve gerekli tedbirler alınmaktadır. Örneğin kışın aşırı soğuk ve don uyarısı yapıldığı durumlarda kataner hattı donmaması için hat içerisinde seferlerden sonra bir araç dolaştırılmaktadır. Dolayısı ile performans değerini  $X_{43} = 90$  olarak almamız yanlış olmayacaktır. Değişik bölgelerde, değişik zamanlarda 18 metre uzunluğunda, rastgele seçilen 100 ray üzerinde yapılan incelemelerde, en az 85 adedinin verilen standartlara uyduğu tespit edilmiştir. IUAS yol bakım şefliğinin yaptığı değerlendirmelere göre raylarda herhangi bir problemin olmadığı raporlanmıştır. Hat boyunca yaklaşık 1 yıldır bütün ray birleşim noktalarındaki alın kaynakları yenilenmektedir. İyi bir yaklaşımla Ray sisteminin performansının %85 ( $X_{44} = 85$ ) ve alt zemin yapısının problemsiz ( $X_{45} = 99$ ) olduğu kabul edilmiştir. Teknik bina ve Teçhizatların yeterli olduğu varsayılarak  $X_{46} = 90$  alınmıştır. Enerji sistemleri, kataner ve trafoların bakım-onarım faaliyetlerin düzenli ve eksiksiz yapıldığı raporlamalar ve bakım formları tam olduğu varsayılarak  $X_{47} = 90$  alınmıştır. Sonuç olarak, yukarıda kullanılan performans skorları ve seçilen ağırlık katsayılarıyla yapılan hesaplarda  $P(X_4) = 0,72579$  bulunmuştur. Bu da alt yapının "iyi düzey" çalışma diliminde olduğunu göstermektedir. Alt yapı ve raylarda yapılacak düzenlemeler ve geliştirmelerle sistem alt yapısının çalışma dilimi bir üst seviye olan "çok iyi düzey" çalışma dilimine kolaylıkla çıkarılabilir.

Tablo 4.18: IUAS için P(X4) Hesabı

<b>P(X4) ARAÇ HAREKET ORTAMI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESABI</b>								
	Traversler (Dolaylı)	Balast (Dolaylı)	Hava Durumu (Dolaylı)	Teknik Binalar ve Teçhizatlar	Enerji Sistemleri	Ray Sistemi (Doğrudan)	Alt zemin yapısı (Doğrudan)	
	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>46</sub>	X <sub>47</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>45</sub>	
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	75	90	90	90	85	99	
	<b>W<sub>1</sub></b>	<b>W<sub>2</sub></b>	<b>W<sub>3</sub></b>	<b>W<sub>6</sub></b>	<b>W<sub>7</sub></b>	<b>W<sub>4</sub></b>	<b>W<sub>5</sub></b>	<b>sum(W)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	25	25	15	15	20			100
	<b>β<sub>41</sub></b>	<b>β<sub>42</sub></b>	<b>β<sub>43</sub></b>	<b>β<sub>46</sub></b>	<b>β<sub>47</sub></b>			Sum(β)
	0,25	0,25	0,15	0,15	0,2			1
	P(X <sub>41</sub> )	P(X <sub>42</sub> )	P(X <sub>43</sub> )	P(X <sub>46</sub> )	P(X <sub>47</sub> )	P(X <sub>44</sub> )	P(X <sub>45</sub> )	
Düz olasılık	0,9	0,75	0,9	0,9	0,9	0,85	0,99	
Ağırlıklı Olasılık	β <sub>41</sub> *P(X <sub>41</sub> )	β <sub>42</sub> *P(X <sub>42</sub> )	β <sub>43</sub> *P(X <sub>43</sub> )	β <sub>46</sub> *P(X <sub>46</sub> )	β <sub>47</sub> *P(X <sub>47</sub> )			<b>PL(X4)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,225	0,1875	0,135	0,135	0,18			<b>0,8625</b>
	<b>P(X4)=P(X44)*P(X45)*PL(X4)</b>					<b>0,72579</b>		

#### 4.1.5 Metro Sinyalizasyon Sistemi İçin Sistem Bazında “Başarılı Çalışma Olasılığı” Hesabı

Tablolarda yapılan hesaplarda P(X<sub>1</sub>), P(X<sub>2</sub>), P(X<sub>3</sub>) ve P(X<sub>4</sub>) bulunur. Lineer Model kullanılması halinde, Tablo 4.19’da genel olarak Aksaray-Havalimanı güzergâhı üzerindeki sinyalizasyon sistemi için, sistem bazında, başarılı çalışma olarak P(X) hesaplanmıştır. Bu hesaplarda, sistem lineer olarak modellenmiştir. Buna göre, sistemin Başarılı Çalışma Olasılığı PO veya P(X) aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$P(X) = \alpha_1 P(x_1) + \alpha_2 P(x_2) + \alpha_3 P(x_3) + \alpha_4 P(x_4) \quad (4.34)$$

Bu denklemde;  $\alpha$

- $\alpha_1$ , Metro hattı işletmesinin yapısal organizasyonu ve hattın yönetim etkinlik katsayısı
- $\alpha_2$ , Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar etkinlik katsayısı
- $\alpha_3$ , Sinyalizasyon saha donanımları etkinlik katsayısı
- $\alpha_4$ , Araç hareket ortamı etkinlik katsayısı

Tablo 4.19: IUAS için Sistem Bazında, Başarılı Çalışma Olasılığı Hesabı

GENEL OLASILIK HESABI					
LİNEER MODEL					
	Yapısal Organizasyon	Araç sevk - yönetim	Sinyalizasyon Saha Donanımları	Araç Hareket Ortamı	
P(X)	P(X <sub>1</sub> )	P(X <sub>2</sub> )	P(X <sub>3</sub> )	P(X <sub>4</sub> )	
	<b>0,78471</b>	<b>0,7565</b>	<b>0,8381</b>	<b>0,72579</b>	
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	
<b>Ağırlık Katsayıları</b>	20	30	30	20	100
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	
Etkinlik Katsayıları	0,2	0,3	0,3	0,2	1
<b>Ağırlıklı Olasılık</b>	<b>0,15691</b>	<b>0,22695</b>	<b>0,25143</b>	<b>0,14516</b>	<b>0,78</b>

Bu tabloda, etkinliğin sinyalizasyon saha donanımları ve araçlarda olduğu varsayılmıştır. Bu da gerçekçi bir seçimdir. Buna göre, ağırlık katsayıları olarak,  $w_1=20$ ,  $w_2=30$ ,  $w_3=30$  ve  $w_4=20$  alınmıştır. Sonuçta, Sistem bazında başarılı işletme olasılığı  $P(X)=0,78$  bulunmuştur.

Buna göre, Aksaray-Havalimanı metro hattı sinyalizasyon sisteminin, “Başarılı Çalışma Olasılığı”nın, olağan koşullar içinde, “1. Derece Başarılı” veya “çok iyi düzey” çalışma diliminde olduğunu görüyoruz. P(X)’in değişkenlerinin biraz daha değer kaybetmesi, treni daha alt seviyelerdeki çalışma dilimlerine çekecektir. Bölüm 3.8’de “Çalışma

Dilimleri” başlığı altında verildiği gibi, istatistiklere göre, “çok iyi düzey” çalışma diliminden “riskli” çalışma dilimine düşme olasılığı  $10^{-9}$  dir. Bu da 20 yılda bir deray veya maddi hasarlı kaza anlamına gelmektedir.

IUAS sisteminde yer alan bazı alt sistemlerin performans skorları 1. Derece Başarılı çalışma diliminde yer almasına rağmen, bu skorları sistemle birlikte değerlendirdiğimizde, genel çalışma performansı 2. derece başarılı çalışma dilimine düşmektedir. Örneğin,  $P(X_4)=P(X_{44}) * P(X_{45}) * PL(X_4)$  denklemleri ile hesaplanmıştır. Bu denklemlerde  $P(X_{44})=0,85$  olarak hesaplanmıştır. Bu da “1. Derece Başarılı” çalışma dilimine karşı gelmekteydi. Benzer şekilde,  $PL(X_4)= 0,8625$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer de “1. Derece Başarılı” çalışma dilimi alt sınırına yakın bir noktaya denk gelmekteydi. Ancak, bu iki değerın çarpımı  $P(X_4)= 0,72579$  çekmiş ve işletme performansını “2. Derece Başarılı” dilime düşürmüştür.

Araç hareket ortamı çalışma performansı sistem parametreleriyle oynanarak, genel olarak , “iyi düzey” çalışma diliminden, “çok iyi Düzey” çalışma dilimine kaydırılabilir. Örneğin, ray ve alt yapı sistemlerinde yapılacak revizyonlar ile çalışma performansı geliştirilebilir. Aşağıdaki tabloda böylesi geliştirilmiş bir durum verilmiştir. Bu tabloda, ray alın kaynakları ve ek noktalarındaki iyileştirmeler ile  $P(X_{44})=0.90$ ’ e çekilmiştir. Bu da çok başarılı dilimde bir çalışma olasılığıdır. Benzer şekilde, balastlar için eleme ve buraj faaliyetlerinin düzenlenmesi veya bakım sıklığının arttırılması ile  $P(X_{42})$ ’de 0.90’e çekilmiştir. Bu durum tablo 4.20’de gösterilmiştir.

Tablo 4.20: Geliştirilmiş Araç Hareket Ortamı

<b>P(X<sub>4</sub>) ARAÇ HAREKET ORTAMI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESABI</b>								
	Traversler (Dolaylı)	Balast (Dolaylı)	Hava Durumu (Dolaylı)	Teknik Binalar ve Teçhizatlar	Enerji Sistemleri	Ray Sistemi (Doğrudan)	Alt zemin yapısı (Doğrudan)	
	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>46</sub>	X <sub>47</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>45</sub>	
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	90	90	90	90	90	99	
	<b>W<sub>1</sub></b>	<b>W<sub>2</sub></b>	<b>W<sub>3</sub></b>	<b>W<sub>6</sub></b>	<b>W<sub>7</sub></b>	<b>W<sub>4</sub></b>	<b>W<sub>5</sub></b>	<b>sum(W)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	25	25	15	15	20			100
	<b>β<sub>41</sub></b>	<b>β<sub>42</sub></b>	<b>β<sub>43</sub></b>	<b>β<sub>46</sub></b>	<b>β<sub>47</sub></b>			Sum(β)
	0,25	0,25	0,15	0,15	0,2			1
	P(X <sub>41</sub> )	P(X <sub>42</sub> )	P(X <sub>43</sub> )	P(X <sub>46</sub> )	P(X <sub>47</sub> )	P(X <sub>45</sub> )	P(X <sub>46</sub> )	
Düz olasılık	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,99	
Ağırlıklı Olasılık	β <sub>41</sub> *P(X <sub>41</sub> )	β <sub>42</sub> *P(X <sub>42</sub> )	β <sub>43</sub> *P(X <sub>43</sub> )	β <sub>46</sub> *P(X <sub>46</sub> )	β <sub>47</sub> *P(X <sub>47</sub> )			<b>PL(X<sub>4</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,225	0,225	0,1275	0,135	0,18			<b>0,8925</b>
	<b>P(X<sub>4</sub>)=P(X<sub>44</sub>)*P(X<sub>45</sub>)*PL(X<sub>4</sub>)</b>					<b>0,7952</b>		

Sonuç olarak P(X<sub>4</sub>) araç hareket ortamı çalışma performansı 0,7952 değerine çekilmiştir.

Tablo 4.21: Geliştirilmiş Sistem Performansı

<b>GENEL OLASILIK HESABI</b>					
<b>LİNEER MODEL</b>					
	Yapısal Organizasyon	Araç sevk yönetim	Sinyalizasyon Sahası Donanımları	Araç Hareket Ortamı	
P(X)	P(X <sub>1</sub> )	P(X <sub>2</sub> )	P(X <sub>3</sub> )	P(X <sub>4</sub> )	
	<b>0,78471</b>	<b>0,7565</b>	<b>0,8381</b>	<b>0,7952</b>	
	<b>W<sub>1</sub></b>	<b>W<sub>2</sub></b>	<b>W<sub>3</sub></b>	<b>W<sub>4</sub></b>	
<b>Ağırlık Katsayıları</b>	20	30	30	20	100
	α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub>	α <sub>3</sub>	α <sub>4</sub>	
Etkinlik Katsayıları	0,2	0,3	0,3	0,2	1
<b>Ağırlıklı Olasılık</b>	<b>0,15691</b>	<b>0,22695</b>	<b>0,25143</b>	<b>0,15904</b>	<b>0,794</b>

Bu değişikliklerin etkisi Sinyalizasyon sisteminin başarılı çalışma olasılığını  $P(X)=0,794$ 'e yükseltmiştir. Başka bir deyişle sistemin başarılı çalışma performansı artmıştır (Bakınız Tablo 4.21).

Diğer Parametreler ile oynayarak sistemin başarılı çalışma olasılığını kademeli olarak daha iyilenebileceği aşikârdır.

Diğer taraftan birkaç değişkendeki kararsız çalışmadan dolayı performans değerinin düşmesi sonucu sistem "Riskli Çalışma" dilimine de düşebilir.

## **4.2 METRO SİNYALİZASYON SİSTEMİ DEğİŞKENLERİNİN ÇALIŞMA PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Sistem bazında başarılı işletme olasılığını yapılan hesaplamalar sonucunda  $P(X)=0,77579$  olarak bulmuştuk. Öncelikle bu bölümde, sistem değişkenleri üzerinde düzenleme veya iyileştirmeler yaparak sistemin performans düzeyini daha yukarı seviyelere çıkaracağız. Daha sonra sistem değişkenlerinde oluşabilecek performans düşmelerinde sistemin genel çalışma başarısının kritik seviyelere düşme olasılıklarını inceleyeceğiz.

### **4.2.1 Metro Sinyalizasyon Sisteminin Çalışma Performansının Yükseltilmesi**

Sistem değişkenlerinin iyileştirmeler ile başarılı çalışma performanslarını yükselterek sistemin genel başarılı çalışma performansının iyileştirilmesi sağlanacaktır.

#### *4.2.1.1 Metro Hattı İşletmesi Yapısal Organizasyonu Ve Hattın Yönetim Kümesinin İyileştirilmesi*

Metro hattı işletmesinin yapısal organizasyonu içerisinde kurumsal yapı ve idari organizasyonun değişme olasılığı oldukça zayıftır. Bölüm 4.1.1'de detaylı olarak ele alındığı gibi sistemi etkileyen değişkenler sırası ile aşağıdaki gibi verilmiştir.

- 1) İdari Organizasyon ( $X_{11}$ )
- 2) Teknik Organizasyon ( $X_{12}$ )
- 3) İşletme Standartları ve Kalite Kontrol/Denetim( $X_{13}$ )

- 4) Yönetim Destek Araçları (Bilişim Teknolojileri vs gibi) ( $X_{14}$ )
- 5) Kaynak Kullanımı Kabiliyeti ( $X_{15}$ )
- 6) ARGE ve Üretim Kabiliyeti ( $X_{16}$ )
- 7) Seyir-Sefer Sertifikasyon Kabiliyeti ( $X_{17}$ )

#### 4.2.1.2 Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar Kümesinin İyileştirilmesi

Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar kümesi değişkenleri Bölüm 4.1.2’de detaylı olarak ele alındığı üzere sırası ile aşağıdaki gibidir;

- 1) Sistemdeki araçların tasarımıyla belirlenen teknik standartlara uygunluğu
- 2) Araç İzleme ve Denetim Sistemi (İnsanlar ve Elektronik Sistemler)
- 3) Araç Yönetim Sistemi (İnsanlar ve Makine/Elektronik Sistemler)

Araç İzleme ve Denetim Sistemi (İnsanlar ve Elektronik Sistemler) kümesinin başarılı çalışma performansını etkileyen değişkenlerinden  $X_{22D}$  hat boyu bilgilendirme tabelalarının yerleştirilmesi ile ilgili olarak belirlenmiş bir değişkendir. Hat boyu yoldaki bozulmaların veya anlık konulan hız sınırlamalarının direk üstü tabelalara destek olarak araç içi makinist bilgilendirme bilgisayarı üzerinden sesli ikaz ve uyarı mesajları ile makiniste anında aktarılması ile sistemin daha kararlı çalışması sağlanabilir. Bu sistem için hat boyuna kablosuz bilgisayar ağı alt yapısı kurulmalıdır. Bu durumda  $X_{22D}=90$  değerine ulaşacaktır. Bu durumda Tablo 4.28’de detaylı olarak yapılan hesaplamalarda  $P(X_{22})=0,9$  değerine ulaştığı görülmüştür.



Tablo 4.22: Geliştirilmiş P(X<sub>22</sub>) Hesabı

<b>P(X<sub>22</sub>): ARAÇ İZLEME VE DENETİM SİSTEMİ: P(X<sub>22</sub>) HESABI</b>					
	İnsanla İzleme (Makinistler)	Makine ve teçhizatla izleme	Kontrol Merkezi ile izleme	Diğer (Tarife, Tabela vs)	Maksimum Skor
	<b>X<sub>22A</sub></b>	<b>X<sub>22B</sub></b>	<b>X<sub>22C</sub></b>	<b>X<sub>22D</sub></b>	<b>X<sub>MAX</sub></b>
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	90	90	90	100
	P(X <sub>22A</sub> )	P(X <sub>22B</sub> )	P(X <sub>22C</sub> )	P(X <sub>22D</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,90	0,90	0,9	
	w <sub>22A</sub>	w <sub>22B</sub>	w <sub>22C</sub>	w <sub>22D</sub>	Σw <sub>ij</sub>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	20	30	40	10	100
	λ <sub>22A</sub>	λ <sub>22B</sub>	λ <sub>22C</sub>	λ <sub>22D</sub>	SUM(λ)
<b>Etkinlik Katsayıları λ</b>	0,2	0,3	0,4	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>22A</sub> *P(X <sub>22A</sub> )	λ <sub>22B</sub> *P(X <sub>22B</sub> )	λ <sub>22C</sub> *P(X <sub>22C</sub> )	λ <sub>22D</sub> *P(X <sub>22D</sub> )	<b>P(X<sub>22</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,18	0,27	0,36	0,09	<b>0,9</b>

Araç Yönetim Sistemi kümesinin başarılı çalışma performansını etkileyen değişkenlerinden Kontrol Merkezi ile Yönetim X<sub>23C</sub> ve Haberleşme Sistemi X<sub>23D</sub> olarak belirlenmiştir.

X<sub>23C</sub> değişkeni kontrol merkezinden yapılan yönetimi temsil etmektedir. Kumanda merkezinde bulunan sinyalizasyon donanımlarının yanında operatörlerin bütün komut ve talimatlarını da temsil etmektedir. Dolayısı ile normal işletme prosedürleri ve acil durum senaryoları oluşturulması ve operatörlerin bu talimatlara eksiksiz uyduğu göz önüne alınırsa başarılı çalışma performans değeri X<sub>23C</sub> için 95 değerine ulaşacaktır.

X<sub>23D</sub> değişkeni tren ile sinyalizasyon hat boyu ekipmanları arasındaki veri akışını sağlamaktadır. Bakım-Onarım faaliyetlerinin artırılması ve yedek malzeme stoklarının yeterli seviyede olması ve bu yedek malzemelerin hat içerisinde konuşlandırılması durumunda hatboyunda oluşabilecek arızaların işletmeye etkileri minimum seviyeye düşecektir. Bu durumda başarılı çalışma performansı X<sub>23D</sub>=90 değerine ulaşacaktır. Bu durumda Tablo 4.29'da detaylı olarak yapılan hesaplamalarda P(X<sub>23</sub>)=0,9125 değerine ulaştığı görülmüştür.

Tablo 4.23: Geliştirilmiş  $P(X_{23})$  Hesabı

<b><i>P(X<sub>23</sub>): ARAÇ YÖNETİM SİSTEMİ</i></b>						
	İnsanla Yönetim (Makinistler)	Makine ve Teçhizatla Yönetim	Kontrol Merkezi ile Yönetim	Haberleşme Sistemi	Diğer (Tarifeler vs. Basılı Doküman)	Maksimu m Skor
	$X_{23A}$	$X_{23B}$	$X_{23C}$	$X_{23D}$	$X_{23E}$	$X_{MAX}$
<b><i>Giriş Değişkenleri</i></b>	90	90	95	90	90	100
	$P(X_{23A})$	$P(X_{23B})$	$P(X_{23C})$	$P(X_{23D})$	$P(X_{23E})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,90	0,95	0,90	0,90	
	$W_{23A}$	$W_{23B}$	$W_{23C}$	$W_{23D}$	$W_{23E}$	$\Sigma w_{ij}$
<b><i>Ağırlık Katsayıları <math>w_{ij}</math></i></b>	20	20	20	35	5	100
	$\lambda_{23A}$	$\lambda_{23B}$	$\lambda_{23C}$	$\lambda_{23D}$	$\lambda_{23E}$	SUM( $\lambda$ )
<b><i>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></i></b>	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{23A} * P(X_{23A})$	$\lambda_{23B} * P(X_{23B})$	$\lambda_{23C} * P(X_{23C})$	$\lambda_{23D} * P(X_{23D})$	$\lambda_{23E} * P(X_{23E})$	<b><math>P(X_{23})</math></b>
<b><i>Çıkış Değerleri</i></b>	0,18	0,18	0,19	0,315	0,0475	<b>0,9125</b>

Değişkenlerdeki iyileştirmelerden sonra Tablo 4.30'da  $P(X_2) = 0,82125$  olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.24: Geliştirilmiş P(X<sub>2</sub>) Hesabı

<i>P(X<sub>2</sub>): Araç Sevki-Yönetim Sistemleri Ve Araç Üstü Donanımlar Kümesine Dönük Çalışma Olasılığı Hesabı P(X<sub>2</sub>)</i>			
	Araçların Tek. Std. Uygunluğu	Araç İzleme ve Denetim	
	$w_1$	$w_2$	<b>sum(W)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	1	1	2
	$\beta_{21}$	$\beta_{22}$	Sum( $\beta$ )
	0,5	0,5	1
<b>Giriş Değişkenleri</b>	P(X <sub>21</sub> )	P(X <sub>22</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,90	0,9	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\beta_{21} * P(X_{21})$	$\beta_{22} * P(X_{22})$	<b>PL(X<sub>2</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,45	0,45	<b>0,90</b>
	<b><math>P(X_2) = P(X_{23}) * PL(X_2)</math></b>		<b>0,82125</b>

#### 4.2.1.3 Sinyalizasyon Saha Donanımları Kümesinin İyileştirilmesi

Sinyalizasyon saha donanımları kümesi değişkenleri Bölüm 4.1.3’de detaylı olarak ele alındığı üzere sırası ile aşağıdaki gibidir;

- Sinyal Lambaları
- Otomatik Kontrollü makaslar
- Ray devreleri
- Sinyalizasyon saha kabinetleri

Sinyal Lambaları kümesinin başarılı çalışma performansını etkileyen değişkenlerinden Balise bağlantı birimleri X<sub>31D</sub> ve Baliseler X<sub>31F</sub> olarak belirlenmişti. Kablo ekleri, klemens bağlantıları ve kabloların bakım onarım faaliyetleri, zayıflama ölçümleri periyodik olarak takip edildiği takdirde bağlantı birimlerindeki arızalardan kaynaklı işletme kayıpları minimum seviyeye indirilmiş olacaktır. Dolayısı ile başarılı çalışma olasılığı X<sub>31D</sub>=90 değerine ulaşacaktır. Aynı şekilde Baliseler için önleyici bakım onarım faaliyetlerinde bulunulması ve yedek malzeme stoklarının yeterli sayıda olması durumunda sistemin başarılı çalışma olasılığı artacaktır. X<sub>31F</sub>=90 olarak belirlenmiştir. Bu durumda Tablo 4.31’de P(X<sub>31</sub>)=0,882 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.25: Geliştirilmiş  $P(X_{31})$  Hesabı

<b><math>P(X_{31})</math>: Sinyal Lambaları kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı</b>								
	Besleme Kartları	Akım kontrol kartları	Merkezi işlem birimi	Balise bağlantı birimleri	Ampuller	Baliseler	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{31A}$	$X_{31B}$	$X_{31C}$	$X_{31D}$	$X_{31E}$	$X_{31F}$	$X_{31G}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	90	90	90	90	85	90	80	100
	$P(X_{31A})$	$P(X_{31B})$	$P(X_{31C})$	$P(X_{31D})$	$P(X_{31E})$	$P(X_{31F})$	$P(X_{31G})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,90	0,90	0,90	0,90	0,85	0,90	0,80	
	$w_{31A}$	$w_{31B}$	$w_{31C}$	$w_{31D}$	$w_{31E}$	$w_{31F}$	$w_{31G}$	$\sum w_{ij}$
<b>Ağırlık Katsayıları <math>w_{ij}</math></b>	12	12	20	12	12	20	12	100
	$\lambda_{31A}$	$\lambda_{31B}$	$\lambda_{31C}$	$\lambda_{31D}$	$\lambda_{31E}$	$\lambda_{31F}$	$\lambda_{31G}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,12	0,12	0,2	0,12	0,12	0,2	0,12	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{31A}^* P(X_{31A})$	$\lambda_{31B}^* P(X_{31B})$	$\lambda_{31C}^* P(X_{31C})$	$\lambda_{31D}^* P(X_{31D})$	$\lambda_{31E}^* P(X_{31E})$	$\lambda_{31F}^* P(X_{31F})$	$\lambda_{31G}^* P(X_{31G})$	<b><math>P(X_{31})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,108	0,108	0,18	0,108	0,102	0,18	0,096	<b>0,882</b>

Ray devreleri kümesinin başarılı çalışma performansını etkileyen değişkenlerinden İzole cebireler  $X_{33C}$  değişkeni ile tanımlanmıştır. Aksaray-Havalimanı hattı boyunca yaklaşık 360 adet izole cebire bulunmaktadır. Hat boyu izole cebire değişim çalışmaları 2010 yılı ikinci yarısı itibari ile başlamış ve 110'a yakın izole cebire değişimi tamamlanmış durumdadır. Kalan izole cebirelerin değişmesi gereken 155 adet izole cebire bir yıla yakın bir süre içerisinde tamamlanacağı düşünülerek hattın 2012 yılından itibaren sorunsuz çalışacağı varsayılmıştır. Dolayısı ile  $X_{33C}=90$  değerine ulaşabilecektir. Tablo 4.32'de  $P(X_{33})=0,9$  olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.26: Geliştirilmiş  $P(X_{33})$  hesabı

<b><math>P(X_{33})</math>: Ray Devreleri</b>					
	Besleme Trafoları	Dönüş Trafoları ve Röleler	İzole Cebireler	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{33A}$	$X_{33B}$	$X_{33C}$	$X_{33D}$	$X_{MAX}$
Giriş Değişkenleri	90	90	90	90	100
	$P(X_{33A})$	$P(X_{33B})$	$P(X_{33C})$	$P(X_{33D})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$w_{33A}$	$w_{33B}$	$w_{33C}$	$w_{33D}$	$\square w_{ij}$
Ağırlık Katsayıları $w_{ij}$	20	20	50	10	100
	$\lambda_{33A}$	$\lambda_{33B}$	$\lambda_{33C}$	$\lambda_{33D}$	SUM( $\lambda$ )
Etkinlik Katsayıları $\lambda$	0,2	0,2	0,5	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{33A} * P(X_{33A})$	$\lambda_{33B} * P(X_{33B})$	$\lambda_{33C} * P(X_{33C})$	$\lambda_{33D} * P(X_{33D})$	$P(X_{33})$
Çıkış Değerleri	0,18	0,18	0,45	0,09	0,9

Sinyalizasyon saha kabinetleri kümesinin başarılı çalışma performansını etkileyen değişkenlerinden Kabinet güç üniteleri ve kesintisiz güç kaynakları  $X_{34A}$  değişkeni ile tanımlanmıştı. Hat boyunda toplam 10 adet UPS bulunmaktadır. İki tanesi 2004 yılında değiştirilmiş. 4 tanesi 2000 yılından sonra devreye alınmış. Kalan 4 tane UPS hattın ilk açıldığı yıllarda devreye alınmış ve halen çalışmaktadır. Çok eski olan bu UPS' ler arızalara oldukça açık ve yedek parça tedariği oldukça zordur. Bu UPS'lerin değiştirilmesi durumunda hatta bulunan UPS'lerin arıza durumları çok kısa sürmektedir. Akü bakımları da düzenli takip edildiğinde UPS kaynaklı işletme kayıpları minimuma indirilmiş olacaktır. Dolayısı ile  $X_{34A}=95$  değerine ulaşabilecektir. Tablo 4.33'de  $P(X_{34})=0,92$  olarak hesaplanmıştır

Tablo 4.27: Geliştirilmiş P(X33) hesabı

<i>P(X<sub>34</sub>): Sinyalizasyon Saha Kabinetleri</i>				
	Kabinet güç üniteleri ve UPS	Kabinet Kontrolör ve Haberleşme kartları	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{34A}$	$X_{34B}$	$X_{34C}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	60	90	90	100
	$P(X_{34A})$	$P(X_{34B})$	$P(X_{34C})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,6	0,9	0,9	
	$w_{34A}$	$w_{34B}$	$w_{34C}$	$\sum w_{ij}$
<b>Ağırlık Katsayıları wij</b>	40	40	20	100
	$\lambda_{34A}$	$\lambda_{34B}$	$\lambda_{34C}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,4	0,4	0,2	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{34A} * P(X_{34A})$	$\lambda_{34B} * P(X_{34B})$	$\lambda_{34C} * P(X_{34C})$	<b><math>P(X_{34})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,24	0,36	0,18	<b>0,78</b>

Değişkenlerdeki iyileştirmelerden sonra Tablo 4.34'de  $P(X_3) = 0,87638$  olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.28: Geliştirilmiş P(X<sub>3</sub>) Hesabı

<i>P(X<sub>3</sub>) Sinyalizasyon Saha Donanımları</i>					
	Sinyal Lambaları	Otomatik Kontrollü Makaslar	Ray Devreleri	Sinyalizasyon Saha Kabinetleri	
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$sum(w)$
<b>Ağırlık Katsayıları wij</b>	1	1	1	1	2
	$\beta_{31}$	$\beta_{32}$	$\beta_{33}$		Sum( $\beta$ )
	0,20	0,20	0,20	0,40	1
<b>Giriş Değişkenleri</b>	$P(X_{31})$	$P(X_{32})$	$P(X_{33})$	$P(X_{34})$	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,818	0,8675	0,9	0,92	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\beta_{31} * P(X_{31})$	$\beta_{32} * P(X_{32})$	$\beta_{33} * P(X_{33})$	$\beta_{34} * P(X_{34})$	<b><math>P(X_3)</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,1636	0,1735	0,18	<b>0,368</b>	<b>0,8851</b>

#### 4.2.1.4 Araç Hareket Ortamı Kümesinin İyileştirilmesi

Araç Hareket Ortamı kümesi değişkenleri Bölüm 4.1.4’de detaylı olarak ele alındığı üzere sırası ile aşağıdaki gibidir;

- a) Traversler
- b) Balastlar
- c) Hava Durumu
- d) Raylar
- e) Alt zemin yapısı
- f) Teknik Binalar ve Teçhizatlar
- g) Enerji sistemleri

Bu değişkenlerden Traversler, Balastlar ve Raylarda yapılan iyileştirmeler ile sistemin çalışma performansı “Çok iyi düzey” çalışma dilimine çıkarılabilir. Ray ve alt yapı sistemlerinde yapılacak revizyonlar ile çalışma performansı geliştirilebilir. Aşağıdaki tabloda böylesi geliştirilmiş bir durum verilmiştir. Bu tabloda, ray alın kaynakları ve ek noktalarındaki iyileştirmeler ile  $P(X_{44})=0.90$ ’ e çekilmiştir. Bu da 1. dilimde bir çalışma olasılığıdır. Benzer şekilde, balastlar için eleme ve buraj faaliyetlerinin düzenlenmesi veya bakım sıklığının arttırılması ile  $P(X_{42})$ ’de 0.90’e çekilmiştir. Makas bölgelerindeki ahşap traverslerin yenilenmesi ile  $P(X_{41})$  değeri 95 seviyesine çekilebilir. Bu durum detaylı hesaplamalar ile tablo 4.35’de gösterilmiştir. Sonuç olarak  $P(X_4)$  araç hareket ortamı çalışma performansı 0,806 değerine çekilmiştir

Tablo 4.29: Geliştirilmiş Araç Hareket Ortamı

<b>P(X4) ARAÇ HAREKET ORTAMI ÇALIŞMA OLASILIĞI HESABI</b>								
	Traversler (Dolaylı)	Balast (Dolaylı)	Hava Durumu (Dolaylı)	Teknik Binalar ve Teçhizatlar	Enerji Sistemleri	Ray Sistemi (Doğrudan)	Alt zemin yapısı (Doğrudan)	
	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>46</sub>	X <sub>47</sub>	X <sub>44</sub>	X <sub>45</sub>	
<b>Giriş Değişkenleri</b>	95	90	90	90	90	90	99	
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>7</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	sum(W)
<b>Ağırlık Katsayıları w<sub>ij</sub></b>	25	25	15	15	20			100
	$\beta_{41}$	$\beta_{42}$	$\beta_{43}$	$\beta_{46}$	$\beta_{47}$			Sum( $\beta$ )
	0,25	0,25	0,15	0,15	0,2			1
	P(X <sub>41</sub> )	P(X <sub>42</sub> )	P(X <sub>43</sub> )	P(X <sub>46</sub> )	P(X <sub>47</sub> )	P(X <sub>45</sub> )	P(X <sub>46</sub> )	
Düz olasılık	0,95	0,9	0,90	0,9	0,9	0,90	0,99	
Ağırlıklı Olasılık	$\beta_{41} * P(X_{41})$	$\beta_{42} * P(X_{42})$	$\beta_{43} * P(X_{43})$	$\beta_{46} * P(X_{46})$	$\beta_{47} * P(X_{47})$			<b>PL(X4)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,2375	0,225	0,135	0,135	0,18			<b>0,905</b>
	<b>P(X4)=P(X45)*P(X46)*PL(X4)</b>					<b>0,813</b>		

#### 4.2.1.5 Metro Sinyalizasyon Sistemi İçin Sistem Bazında Geliştirilmiş “Başarılı Çalışma Olasılığı” Hesabı

Sinyalizasyon sistemi başarılı çalışma performansını etkileyen değişkenlerde yapılan değişiklikler neticesinde Tablo 4.36’da  $P(X) = 0,8313$  olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak sistem başarılı çalışma performansı 0,78 değerinden 0,8313 değerine yükselmiştir. Bu durumda sistemin çalışma performansı % 6,57 oranında iyileştirilmiş olmaktadır (Bakınız Tablo 4.36).



Tablo 4.30: Geliştirilmiş Sistem Başarılı Çalışma Olasılığı Hesabı

GENEL OLASILIK HESABI					
LİNEER MODEL					
	Yapısal Organizasyon	Araç sevk - yönetim	Sinyalizasyon Saha Donanımları	Araç Hareket Ortamı	
P(X)	P(X <sub>1</sub> )	P(X <sub>2</sub> )	P(X <sub>3</sub> )	P(X <sub>4</sub> )	
	<b>0,78471</b>	<b>0,82125</b>	<b>0,8851</b>	<b>0,813</b>	
	<b>W<sub>1</sub></b>	<b>W<sub>2</sub></b>	<b>w<sub>3</sub></b>	<b>W<sub>4</sub></b>	
<b>Ağırlık Katsayıları</b>	20	30	30	20	100
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	
Etkinlik Katsayıları	0,2	0,3	0,3	0,2	1
<b>Ağırlıklı Olasılık</b>	0,1569	0,2463	0,2655	0,1626	<b>0,8313</b>

#### 4.2.2 Metro Sinyalizasyon Sisteminin Değişkenlere Bağlı Çalışma Performans Kayıp Analizi

Sistem Açısından bir değerlendirme yaparsak, sistemde yer alan değişkenleri statik ve dinamik olarak iki ana grupta toplayabiliriz. Statik değişkenler, zamana bağlı değildir. Ancak dışardan bir müdahale ile performans skorları değişir. Dinamik değişkenlerin performans skorları her zaman değişebilir. Örneğin makinistlerin çalışma performansları her an değişebilir. Kesintisiz güç kaynaklarının performansı her an değişebilir. Hava koşulları her an değişebilir. IUAS Genel müdürlük yapısı dışardan bir müdahale olmazsa değişmez. Kontrol Merkezleri teknolojisi, periyodik bakımı ve onarımı yapılan trenlerin ve lokomotiflerin güç performansları bir seferde değişmez.

Traversler, Balast ve Rayların durumu fevkalade bir durum olmazsa bir günde değişmez. Ancak, bu değişkenler üzerinde zamana yayılmış, yıpranmadan doğan değişimler beklenebilir. Periyodik bakım onarım çalışmalarıyla, çalışma koşulları olması gereken konuma çekilebilir.

Bu durumda makinistler ve kesintisiz güç kaynaklarını ifade eden veya etkileyen bütün değişkenlerde performans düşümü olduğu varsayılırsa sistemin genel çalışma performansı hesapları aşağıdaki gibi olacaktır.

Makinistlerin performansı araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar değişkenini etkileyecektir.  $X_{22A}$  ve  $X_{23A}$  değişkenlerinde oluşabilecek performans düşmesi  $X_2$  değişkeninin değerini düşürecektir.

Tablo 4.31: IUAS için  $P(X_{22})$  Hesabı

<b><math>P(X_{22})</math>: ARAÇ İZLEME VE DENETİM SİSTEMİ: <math>P(X_{22})</math> HESABI</b>					
	İnsanla İzleme (Makinistler)	Makine ve teçhizatla izleme	Kontrol Merkezi ile izleme	Diğer (Tarife, Tabela vs)	Maksimum Skor
	$X_{22A}$	$X_{22B}$	$X_{22C}$	$X_{22D}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	60	90	90	70	100
	$P(X_{22A})$	$P(X_{22B})$	$P(X_{22C})$	$P(X_{22D})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,60	0,90	0,90	0,7	
	$W_{22A}$	$W_{22B}$	$W_{22C}$	$W_{22D}$	$\Sigma w_{ij}$
Ağırlık Katsayıları $w_{ij}$	20	30	40	10	100
	$\lambda_{22A}$	$\lambda_{22B}$	$\lambda_{22C}$	$\lambda_{22D}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,2	0,3	0,4	0,1	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{22A} * P(X_{22A})$	$\lambda_{22B} * P(X_{22B})$	$\lambda_{22C} * P(X_{22C})$	$\lambda_{22D} * P(X_{22D})$	<b><math>P(X_{22})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,12	0,27	0,36	0,07	<b>0,82</b>

Tablo 4.32: IUAS için P(X<sub>23</sub>) Hesabı

<b>P(X<sub>23</sub>): ARAÇ YÖNETİM SİSTEMİ</b>						
	İnsanla Yönetim (Makinistler)	Makine ve Teçhizatla Yönetim	Kontrol Merkezi ile Yönetim	Haberleşme Sistemi	Diğer (Tarifeler vs. Basılı Doküman)	Maksimum Skor
	<b>X<sub>23A</sub></b>	<b>X<sub>23B</sub></b>	<b>X<sub>23C</sub></b>	<b>X<sub>23D</sub></b>	<b>X<sub>23E</sub></b>	<b>X<sub>MAX</sub></b>
<b>Giriş Değişkenleri</b>	60	90	90	75	90	100
	P(X <sub>23A</sub> )	P(X <sub>23B</sub> )	P(X <sub>23C</sub> )	P(X <sub>23D</sub> )	P(X <sub>23E</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,60	0,90	0,90	0,70	0,90	
	W <sub>23A</sub>	W <sub>23B</sub>	W <sub>23C</sub>	W <sub>23D</sub>	W <sub>23E</sub>	Σwij
<b>Ağırlık Katsayıları wij</b>	20	20	20	35	5	100
	λ <sub>23A</sub>	λ <sub>23B</sub>	λ <sub>23C</sub>	λ <sub>23D</sub>	λ <sub>23E</sub>	SUM(λ)
<b>Etkinlik Katsayıları λ</b>	0,2	0,2	0,2	0,35	0,05	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	λ <sub>23A</sub> *P(X <sub>23A</sub> )	λ <sub>23B</sub> *P(X <sub>23B</sub> )	λ <sub>23C</sub> *P(X <sub>23C</sub> )	λ <sub>23D</sub> *P(X <sub>23D</sub> )	λ <sub>23E</sub> *P(X <sub>23E</sub> )	<b>P(X<sub>23</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,12	0,18	0,18	0,2625	0,0475	<b>0,79</b>

Tablo 4.33: IUAS için P(X<sub>2</sub>) Hesabı

<b>P(X<sub>2</sub>): Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar kümesine dönük çalışma olasılığı hesabı P(X<sub>2</sub>)</b>			
	Araçların Tek. Std. Uygunluğu	Araç İzleme ve Denetim	
	<b>w1</b>	<b>w2</b>	<b>sum(w)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları wij</b>	1	1	2
	β <sub>21</sub>	β <sub>22</sub>	Sum(β)
<b>Giriş Değişkenleri</b>	0,5	0,5	1
	P(X <sub>21</sub> )	P(X <sub>22</sub> )	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,90	0,82	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	β <sub>21</sub> *P(X <sub>21</sub> )	β <sub>22</sub> *P(X <sub>22</sub> )	<b>PL(X<sub>2</sub>)</b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,45	0,41	<b>0,86</b>
	<b>P(X<sub>2</sub>)=P(X<sub>23</sub>)*PL(X<sub>2</sub>)</b>		<b>0,679</b>

Diğer taraftan kesintisiz güç kaynaklarının çalışma performansı Sinyalizasyon saha donanımları ( $X_3$ ) alt değişkenlerinden sinyalizasyon saha kabineti değişkeninin ( $X_{34}$ ) çalışma performansını düşürecektir.

Tablo 4.34: IUAS için  $P(X_{34})$  Hesabı

<b><math>P(X_{34})</math>: Sinyalizasyon Saha Kabinetleri</b>				
	Kabinet güç üniteleri ve UPS	Kabinet Kontrolör ve Haberleşme kartları	Diğer	Maksimum Skor
	Kabinet güç üniteleri ve UPS	Kabinet Kontrolör ve Haberleşme kartları	Diğer	Maksimum Skor
	$X_{34A}$	$X_{34B}$	$X_{34C}$	$X_{MAX}$
<b>Giriş Değişkenleri</b>	50	90	90	100
	$P(X_{34A})$	$P(X_{34B})$	$P(X_{34C})$	
Verimlilik veya Olasılık Hesabı	0,5	0,9	0,9	
	$w_{34A}$	$w_{34B}$	$w_{34C}$	$\sum w_{ij}$
Ağırlık Katsayıları $w_{ij}$	40	40	20	100
	$\lambda_{34A}$	$\lambda_{34C}$	$\lambda_{34C}$	SUM( $\lambda$ )
<b>Etkinlik Katsayıları <math>\lambda</math></b>	0,4	0,4	0,2	1
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\lambda_{34A} * P(X_{34A})$	$\lambda_{34B} * P(X_{34B})$	$\lambda_{34C} * P(X_{34C})$	<b><math>P(X_{34})</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,20	0,36	0,18	<b>0,74</b>

Tablo 4.35: IUAS için  $P(X_3)$  Hesabı

<b><math>P(X_3)</math> Sinyalizasyon Saha Donanımları</b>					
	Sinyal Lambaları	Otomatik Kontrollü Makaslar	Ray Devreleri	Sinyalizasyon Saha Kabinetleri	
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	<b>sum(w)</b>
<b>Ağırlık Katsayıları <math>w_{ij}</math></b>	1	1	1	1	2
	$\beta_{31}$	$\beta_{32}$	$\beta_{33}$		Sum( $\beta$ )
	0,20	0,20	0,20	0,40	1
<b>Giriş Değişkenleri</b>	$P(X_{31})$	$P(X_{32})$	$P(X_{33})$	$P(X_{34})$	
Verimlilik veya Olasılık Değerleri	0,818	0,8675	0,785	0,74	
Ağırlıklı Verimlilik veya Olasılık	$\beta_{31} * P(X_{31})$	$\beta_{32} * P(X_{32})$	$\beta_{33} * P(X_{33})$	$\beta_{34} * P(X_{34})$	<b><math>P(X_3)</math></b>
<b>Çıkış Değerleri</b>	0,1636	0,1735	0,157	<b>0,296</b>	<b>0,79</b>

Bu durumda sistemin genel olarak başarılı çalışma olasılığı hesapları Tablo 4.36’da detaylı olarak yapılmış ve  $P(X)= 0,742$  olarak bulunmuştur. Dolayısı ile Sistemin çalışma performansı % 4,87 oranında kayıba uğramıştır.

Tablo 4.36: IUAS için Sistem Bazında, Başarılı Çalışma Olasılığı Hesabı

GENEL OLASILIK HESABI					
LİNEER MODEL					
	Yapısal Organizasyon	Araç sevk - yönetim	Sinyalizasyon Saha Donanımları	Araç Hareket Ortamı	
P(X)	P(X <sub>1</sub> )	P(X <sub>2</sub> )	P(X <sub>3</sub> )	P(X <sub>4</sub> )	
	<b>0,78471</b>	<b>0,679</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72579</b>	
	$W_1$	$W_2$	$w_3$	$W_4$	
<b>Ağırlık Katsayıları</b>	20	30	30	20	100
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	
Etkinlik Katsayıları	0,2	0,3	0,3	0,2	1
<b>Ağırlıklı Olasılık</b>	<b>0,15691</b>	<b>0,2037</b>	<b>0,237</b>	<b>0,14516</b>	<b>0,742</b>

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Raylı sistem teknolojilerinde temel amaç kazaları önlemek olduğu kadar planlanan sefer tarifelerinin doğru zamanda yapılabilmesidir. Teknolojilerin doğru kullanılması ile işletme kapasitesi maksimum seviyelere ulaşabilmektedir. Bu kapsamda sistem analizinin yapılarak işletme performansının iyileştirilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmada, önce, çalışma fonksiyonları anlatılmış ve sistem verimliliği kavramı sunulmuştur. Daha sonra, sisteme ilişkin Başarılı Çalışma Olasılığı tanımı verilmiştir. Çalışma olasılığının aldığı değerlere göre sistemler sınıflandırılmıştır.

Buna göre, İstanbul Ulaşım AŞ Aksaray-Havalimanı hattı Sinyalizasyon sistemi için yapılan başarılı çalışma olasılık hesaplamalarında  $P(X) = 0,78$  olarak bulunmuştur. Dolayısı ile işletmenin seferlere başlaması ile birlikte “başarılı çalışma olasılığı”nın, olağan koşullar içinde, “1. Derece Başarılı Çalışma Dilimi” veya “Çok iyi Düzey” çalışma diliminin alt sınırında olduğu görülmektedir. (Bakınız Tablo 5.1)

IUAS işletme planlama birimindeki veri kayıtlarına göre yıllık olarak planlanan 129.432 seferden arıza veya diğer durumlar sebebi ile yıllık 395 sefer iptali ve 290 seferde toplam 947 dakika tehir meydana gelmektedir. Sinyalizasyon sistemi kaynaklı sefer iptal sayısı 25 iken tehirlili sefer sayısı 86 olarak IUAS kayıtlarında yer almaktadır.

Tablo 5.1: IUAS İşletme Planlama Sefer Gerçekleşme Verileri

2010						
Aksaray-Havalimanı	Araç Arıza	Sinyalizasyon	Hat Bakım çalışmaları	Makinist Sorunları	Diğer	Toplam
Sefer İptalleri	66	10	7	5	91	179
Kısmi Sefer İptalleri	166	15	2	0	33	216
Sefer Tehirleri	157	86	16	3	28	290
Tehir Süreleri (dk)	364	344	113	6	120	947

Önceki bölümlerde de detaylı incelendiği üzere sistem değişkenlerinde meydana gelebilecek performans düşümlerinde sistemin tamamının başarılı çalışma performans değeri düşmektedir. Bu performans kaybı işletmeye sefer iptalleri veya sefer tehirleri olarak yansımaktadır.

Çalışma kapsamında sistemin analizinin yapılabilmesi için işletmeyi etkileyecek bütün değişkenler tanımlanmış ve bu değişkenlerin sisteme etkileri irdelenmiştir. Sistem içerisinde aksayabilecek veya bakımlarının aksatılması ile sistemin işleyişini olumsuz etkileyecek sistem değişkenlerine özellikle dikkat çekilmiş ve olası arızalar çözüm önerileri ile birlikte sıralanmıştır. Sistem bazında yapılan iyileştirmeler ile seferlerin başarılı çalışma performansının yükseltilebileceği görülmüştür.

Bu durumda sistemin “Başarılı Çalışma” performans değerinin yükseltilebilmesi için sistemde yapılabilecek iyileştirmeler sırası ile aşağıdaki ana başlıklar halinde sıralanmıştır.

- Araç sevk-yönetim sistemleri ve araç üstü donanımlar
  - **Araç İzleme ve Denetim Sistemi**-Hat boyu bilgilendirme tabelalarının yerleştirilmesi
  - **Araç Yönetim**-Kontrol Merkezi ile Yönetim ve Haberleşme Sistemi
- Sinyalizasyon Saha Donanımları
  - **Sinyal Lambaları**-Balise bağlantı birimleri ve Baliseler
  - **Ray devreleri**-İzole cebireler
  - **Sinyalizasyon saha kabinetleri**-Kabinet güç üniteleri ve kesintisiz güç kaynakları
- Araç Hareket Ortamı
  - **Traversler**
  - **Balastlar**
  - **Raylar**

Önceki bölümlerde detayları ile ele alındığı gibi kısa ve orta vadede alınabilecek tedbirler ile idari ve teknik bir takım düzenlemeler yapılarak sistem başarılı çalışma

olasılığı  $P(X)= 0,8313$  değerine yükseltilerek sistemin çok daha kararlı ve başarılı seviyelerde çalışabileceği görülmüştür. Bu demek oluyorki işletmeyi etkileyecek sistemlerin iyileştirilmesi sefer iptal ve tehir sayılarının düşmesini sağlayacaktır. Dolayısı ile işletmenin başarılı çalışma performansı yükselmiş olacaktır.

Diğer taraftan çalışmanın son bölümünde incelendiği gibi değişkenlerdeki performans düşmelerinde işletmedeki seferler olumsuz etkilenecektir. Örneğin trenin hız değerini alamaması, makinistin sefere geç başlaması, haberleşme arızaları durumunda seferler kısıtlı olarak düşük hızlarda seyredeceğinden işletme kayıpları oluşmaya başlayacaktır. IUAS işletme planlamalarında 3 dakikalık gecikme oluşması durumunda bekleyen sefer iptal edilerek bir sonraki seferden devam edilmektedir. Bu durumda sistemin genel başarılı çalışma performansı düşmektedir.

Tablo 5.2: Bulanık Mantık yaklaşımı ile belirlenen Başarılı Çalışma Dilimleri

ÇALIŞMA KOŞULLARININ TASNİFİ		
Çalışma Koşulu Tanımı	Başarılı Çalışma Olasılığı Dilimi	Açıklamalar
1.Derece Başarılı Çalışma Dilimi (Çok İyi Düzey)	$0.75 < PO < 1.0$	Yolcular tarafından da kabul edilebilir gecikmeli tren seferleri olan bir işletmenin çalışma koşullarını tanımlar
2. Derece Başarılı Çalışma Dilimi (İyi Düzey)	$0.60 < PO < 0.74$	Belirgin ve şikâyetlere sebep olabilecek gecikmeler ve sefer iptallerini tanımlar
3. Derece Başarılı Çalışma Dilimi (Orta Düzey)	$0.50 < P < 0.59$	Aşırı süreli gecikmeler, az hasarlı kazalar olabilir.
Riskli Çalışma Dilimi (Riskli Düzey)	$0.40 < PO < 0.49$	Uzun süreli arızalar, kesintili çalışma, sefer iptalleri. Orta derecede maddi hasarlı kazalar.
Kazalı Çalışma Dilimi (Olağanüstü koşullar)	$0.0 < PO < 0.39$	Büyük maddi hasarlı, can kaybı ve yaralanmayla sonuçlanan kazalar.

Sonuç olarak, Aksaray-Havalimanı metro hattının sinyalizasyon sistemi özetlenmiş ve genel arıza durumları irdelenmiştir. İşletmeyi etkileyebilecek bütün değişkenler değerlendirilerek sistemin genel çalışma performansı ölçülmüş sistemin daha iyilenmesi hedeflenmiştir.



## KAYNAKLAR

1. Bolcu Abdullah, Emniyet Genel Müdür Yardımcısı Trafik Hizmetleri Başkanı, 24 Aralık 2004, Türkiye’de Trafik Sorunu ,Zaman Gazetesi
2. Söyler H., Açıkbaş S., 2006,Raylı Toplu Taşımda Sinyalizasyon Sistemleri, Kentiçi Raylı Sistemler Bülteni
3. Bombardier Transport.onboard equipment technical description, 1998
4. MEGEP, 2008, Raylı Sistem Teknolojisi – Sinyaller, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara
5. Gregor Theeg, Sergej Vlasenko, 2009, Railway Signalling&İnterlocking, Eurail Press, Hamburg
6. Özdemir S., Ocak 2000, Demiryollarında sinyalizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
7. Can Cüneyt, 2001, Demiryollarında Sinyalizasyon ve Elektronik Kilitleme, GYTE Mühendislik ve FBE Yüksek Lisans Tezi,Gebze
8. Enes Idrisbegoviç, 2007, Bombardier Transport. Ebilock 950 system description,Stocholm
9. Gündoğdu F., Açıkbaş S., 2007, Raylı Sistemlerde Emniyet Standartları ve Makas Otomasyon Sistemine Uygulaması, Kentiçi Raylı Sistemler Bülteni
10. 4 Haziran 2007, Railway Signal and Traffic Control Systems Standarts, The Railway Association of Canada,
11. Gündoğdu F., Söyler H., 2008, Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Tasarım Kriterleri Ve “Fail-Safe” Kavramı, Kentiçi Raylı Sistemler Bülteni
12. Yarman, B. Sıddık, Basaran M., Unal N., Sonmez K., July 2006 , “Multidimensional System Approach To Asses The Outcome Of The Human Intractated Events”, Kyoto, Japan,
13. Yarman B.S, Seckin I., Erel A. Sahin M., Basaran M, December 2004, ”Pamukova Train Accident”, Report presented to Ministry of Transportation, Turkey, Ankara,
14. URUN A. Y., GÜLBAHAR V., 2001, Demiryolu Sinyalizasyonu ve Yeni Teknikler, TCDD

## ÖZGEÇMİŞ



- Ad Soyad** : Nevzat BAYRAK
- Doğum Yeri ve Tarihi** : Samsun,20.08.1981
- Eğitim Bilgileri**
- Lisans** : Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, 2004
- Yüksek Lisans** : İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2008-...)
- İş Deneyimleri** : Ülkem Elektronik -İstanbul (2005-2007)  
İstanbul Ulaşım AŞ - Sinyalizasyon Mühendisi (2007-..)