

Raylı Sistemlerde Araç-Araç Haberleşmesi ile Çarpışma Uyarı Sistemi Geliştirilmesi

İsmail Biçer

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Raylı Sistemler Anabilim Dalı

Haziran 2015

Development of a Railway Collision Warning System Using Vehicle-to-Vehicle  
Communication

İsmail Biçer

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Railway Systems

Haziran 2015

Raylı Sistemlerde Araç-Araç Haberleşmesi ile Çarpışma Uyarı Sistemi Geliştirilmesi

İsmail Biçer

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Raylı Sistemler Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Kontrol ve Sinyalizasyon Mühendisliği Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Rifat Edizkan

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından, 0508.STZ.2013-2 kod numaralı SANTEZ projesi altında desteklenmiştir.

Haziran 2015

## ONAY

Raylı Sistemler Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi İsmail Biçer'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Raylı Sistemlerde Araç-Araç Haberleşmesi ile Çarpışma Uyarı Sistemi Geliştirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Rifat Edizkan

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Doç. Dr. Rifat Edizkan

**Üye** : Prof. Dr. Hasan Hüseyin Erkaya

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Yazıcı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Muammer Akçay

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Kemal Özkan

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Rifat Edizkan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Raylı Sistemlerde Araç-Araç Haberleşmesi ile Çarpışma Uyarı Sistemi Geliştirilmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 10.06.2015

İsmail Biçer

İmza

## ÖZET

Raylı sistemlerde çarpışma uyarısı veren sistemlere ihtiyaç bulunmaktadır. Yapılan tez çalışmasında, demiryolu araçlarında çarpışma tehlikesini sezen ve bu konuda sürücüyü destekleyerek sürüş güvenliğini artıran bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemde GPS, odometre ve ivmeölçer ve girdileri kullanmış, grafik gösterge birimi ve hoparlörler çıktı olarak kullanılmıştır. Diğer araçlarla ve hareket etmeyen birimlerle haberleşmek için bir Araç-Araç Haberleşme yöntemi geliştirilmiştir. Fiziksel katman için bir paket veri biçimi oluşturulmuştur. Verinin güvenliğinin sağlanması ve veri kaybının saptanması-telafi edilmesi için gerekli yöntemler geliştirilmiştir. Aracın kendi durumunu takip etmekte kullanacağı fren mesafesi hesabı belirlenmiş ve sistemin çıktı vereceği uyarılara ait tehlike seviyesinin belirlenmesinde kullanılacak karar verme mekanizması inşa edilmiştir. Sistem çevredeki araçların ve hareket etmeyen birimlerin konum bilgileriyle hesaplanan tehdit seviyelerine göre farklı çıkışlar üretmektedir. Sistemin farklı senaryolarla testleri benzetim ortamında yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda, tasarlanan Çarpışma Uyarı Sisteminin öngörülen tepkileri istenildiği şekilde verdiği görülmüştür.

### **Anahtar Sözcükler**

Raylı Sistemler, Çarpışma Uyarısı, Çarpışma Önleme, Araç-Araç Haberleşmesi.

## SUMMARY

There is a need for collision warning systems in railway systems. In this thesis work, a system that senses a collision threat and assists the driver on this matter to increase driving safety in railway vehicles is designed. This system utilizes GPS, odometer and accelerometer as inputs and a graphics display unit and speaker as outputs. A Vehicle-to-Vehicle communication method is selected to communicate with other vehicles and non-moving units. A packet format is constructed for physical layer. Necessary methods for ensuring data security and sensing data loss are also developed.. The brake distance calculation method for the vehicle to track its own state is determined and the decision-making algorithm is used to produce system's outputs. The system produces different outputs according to the threat levels that are calculated from the position information of the vehicles and non-moving units. The system is tested with different scenarios under a simulated environment. As a result of the simulations, the designed collision avoidance system has been observed to provide expected reactions in the way it was designed.

### **Key Words**

Railway Systems, Collision Warning, Collision Avoidance, Vehicle-to-Vehicle Communications.

## TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın planlanması ve yűrűtűlmesinde yardımlarını esirgemeyen danıőmanım Doç. Dr. Rifat Edizkan'a, çalıőmanın desteklenmesi konusunda elinden geleni yapan Yrd. Doç. Dr. Ahmet Yazıcı'ya ve her daim kılavuzum olan Prof. Dr. Hasan Hűseyin Erkaya'ya teőekkűrlerimi sunarım.

Bu alıőma Bilim, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından, 0508.STZ.2013-2 kod numaralı SANTEZ projesi altında desteklenmiştir.



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Hava Araçlarında AAH Haberleşmesi .....	3
2.2. İşaretleyici-Tabanlı Çarpışma Önleme Sistemi (BCAS) .....	3
2.3. Trafik Çarpışma Önleme Cihazı (TCAD).....	4
2.3.1. Trafik Çarpışma Önleme Sistemi (TCAS).....	4
2.3.2. S modu (Mode S) .....	5
2.4. Deniz Araçlarında AAH Haberleşmesi .....	5
2.4.1. Otomatik tanımlama sistemi (AIS) .....	6
2.5. Kara Araçlarında AAH Haberleşmesi.....	7
2.5.1. Otomobillerde AAH haberleşme donanımı .....	7
2.6. Raylı Sistemler AAH Standartları.....	10
2.6.1. Avrupa trafik kontrol sistemi (ETCS).....	11
2.6.2. Demiryolu çarpışma önleme sistemi (RCAS).....	11
2.6.3. Tren çarpışma önleme sistemi (TCAS).....	13
2.6.4. İletişim-tabanlı tren denetimi (CBTC).....	14
2.6.5. Gelişmiş tren yönetimi ve kontrol sistemi (ATACS) .....	15
<b>3. ÇARPIŞMA UYARI SİSTEMİ</b> .....	<b>16</b>
3.1. Araç Kontrol Birimi .....	16
3.1.1. Giriş ve Çıkış Birimleri.....	17
3.1.2. GPS .....	18
3.1.3. Odometre .....	18
3.1.4. İvme ölçer .....	19

**İÇİNDEKİLER (devam)**

3.1.5. Kullanıcı (Araç) grafik arayüzü .....	20
3.1.6. Uyarılar ve frenler .....	20
3.2. AAH Veri Formatı .....	20
3.2.1. Fren mesafesi .....	25
3.2.2. Fren mesafesi hesabı .....	26
3.2.3. Frenlenmiş ağırlık yüzdesi ile tam frenlemede yavaşlama arasındaki ilişki.....	28
3.2.4. TCDD’de kullanılan fren hesabı .....	32
3.3. AAH Veri Paketi .....	34
3.4. Çarpışma Önleme İçin Tehdit Algılama .....	37
3.5. Birden Fazla Nesneyle Karşılaşılması Durumu .....	42
3.6. AAH Veri Kaybının Telafi Edilmesi .....	44
<b>4. SİSTEM BENZETİMİ .....</b>	<b>46</b>
4.1. Benzetim Arayüzü.....	47
4.2. Benzetim Girdileri ve Çıktıları.....	49
4.3. Çarpışma Uyarı Sistemi Test Senaryoları .....	52
4.4. Benzetim Sonuçları .....	53
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>61</b>
<b>6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>62</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. DSRC kanal bölümlemesi .....	9
3.1. Araç Kontrol Birimi girdileri ve çıktıları .....	17
3.2. Kabine bağlı bir odometre çıkışı .....	19
3.3. Çeşitli ivme ölçer alıcıları .....	19
3.4. Temel hareket verisi bileşenleri .....	21
3.5. Genel frenleme modeli .....	26
3.6. Temel frenleme modeli .....	26
3.7. Farklı fren mekanizmalarının hız üzerine etkileri .....	27
3.8. UIC / ERRI tablolarına göre hesaplanmış tam frenleme yavaşlama ivmeleri.....	29
3.9. Başlangıç hızı – frenlenmiş ağırlık yüzdesi çiftleri.....	30
3.10. Farklı frenlenmiş ağırlık yüzdeleri ve gecikme süreleri için yavaşlama oranlarının grafikleri .....	31
3.11. AAH verisi hazırlama için akış diyagramı .....	36
3.12. Çarpışma uyarı- birden fazla nesne ile baş etme yöntemine ait akış diyagramı .....	43
3.13. AAH verisi kaybı ile baş etme yöntemine ait akış diyagramı .....	45
4.1. Tam-benzetim için genel sistem mimarisi .....	47
4.2. Benzetim arayüzü.....	48
4.3. Senaryolardaki istasyonların referans mesafeleri ve aralarındaki eğimlere göre yükselti değişimleri .....	51
4.4. 1 numaralı tam-benzetim senaryosunun ilerleme aşamaları .....	54
4.5. BGA’da 1 numaralı senaryonun aşamaları .....	55
4.6. 5 numaralı senaryonun gösterimi .....	58
4.7. 7 numaralı senaryonun gösterimi .....	58
4.8. 8 numaralı senaryonun gösterimi .....	59
4.9. 11 numaralı senaryonun gösterimi .....	59
4.10. 19 numaralı senaryonun gösterimi .....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. AIS veri paketi içeriği .....	6
2.2. Havaya iletilen WAVE çerçevesi biçemi .....	8
2.3. AB DSRC kanal aralıkları .....	10
2.4. RCAS telegramları .....	12
2.5. TCAS veri paketi .....	13
2.6. CBTC hatboyundan trene ve trenden hatboyuna ileti biçemi .....	15
3.1. AAH verisi içeriği .....	22
3.2. 700 metre fren mesafesi için TCDD fren yüzdesi başvuru tablosu .....	33
4.1. Senaryo 1'deki Araç 1'e ait başlangıç AAH verisi .....	50

## 1. GİRİŞ

Ulaşımındaki güvenliği arttırmak, can ve mal kayıplarını azaltmak için çarpışmanın önceden tahmin edilmesi ve buna göre uyarı üretilmesi önemlidir (Zhang vd., 2006). Çarpışma uyarısında aracın mutlak konumu ve hareket vektörü bulunur ve daha sonra çevredeki diğer araç ve nesnelerin durumları hareket yörüngesi ile karşılaştırılarak olası çarpışma tespit edilir (Alonso-mora vd., 2015). Çarpışma Uyarı Sistemi herhangi bir tehdit algılandığında görsel ve işitsel uyarılarda bulunur. Sistem gerektiğinde sürücünün yerine gerekli kontrolleri yapabilir (Barfield vd., 2014). Bu kontroller fren uygulayarak aracın yavaşlatılması ve/veya aracın hareket yörüngesinin daha güvenli bir yöne doğrultmayı içerebilir.

İlk çarpışma uyarı sistemleri 1956'da iki hava aracının havada çarpışmasından sonra, hava araçlarında kullanılmak üzere tasarlanmış ve uygulanmaya konmuştur (Aerospace Journal, 1956). Hava çarpışma uyarı sistemleri seyir ortamının üç boyutlu olmasından dolayı, birbirinin menziline olan iki aracın aynı yükseklikte olmasını engellemeye yönelik bildirimlerde bulunur. Bu sistemin gelişimi ile birlikte çarpışma uyarı standartları da oluşmaya başlamıştır (Breu vd., 2008). Bu gelişime paralel olarak deniz araçları için de çarpışma uyarı düzenekleri tasarlanıp geliştirilmiştir. Genel olarak deniz araçlarında çarpışma uyarısı, birbirinin menziline olan araçların rotalarının kesişmesi ihtimali üzerinden bir tehdit algılaması yapar (Papadimitratos, 2009).

Çarpışma uyarı sistemlerinin günümüzde karayolu araçlarında da kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır (Railway Manifesto, 2007). Demiryollarında çeşitli raylı sistem çarpışma önleme sistemleri kullanılmaktadır. Demiryolları için yeni sistemler geliştirme üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Çarpışma uyarı sistemlerinin büyük çoğunluğunda, araçlar birbirleriyle doğrudan haberleşme halindedirler. Bu haberleşme genel olarak Araç-Araç Haberleşmesi (AAH) olarak isimlendirilir. Kara, hava ve deniz ulaşımında çarpışma uyarı için farklı bilgilere

ihtiyaç duyulması ve farklı iletim kanalından dolayı bu ortamlarda kullanılan AAH sistemi kendine özgü donanım-yazılım yapılarına sahiptirler.

Ülkemiz demiryollarında herhangi bir sinyalizasyon veya anlaşılan düzeneği içermeyen hatların bulunması, trafiğin artışı ve karayoluyla kesişmelerin artması sonucu mevcut sinyalizasyonun yetersiz kaldığı durumlar ortaya çıkmaya başlamıştır (Açıkbaş ve Söyler, 1996). Bu durumları tespit edebilecek kabiliyette ve sinyalizasyon olmayan bölgelerde bu görevi üstlenebilecek kapasitede bir sistemin tasarlanması, kazaların sonucu olan can ve mal kayıplarının engellenmesi için gereklidir.

Bu çalışmanın amacı raylı sistem araçlarında uygulanabilecek, menzildeki araç, istasyon, bakım ekibi gibi raylı sistem öğelerinin varlığını tespit ederek çarpışma tehlikesini değerlendiren ve bu değerlendirme sonucuna göre ilgili uyarılarda bulunabilen bir Çarpışma Uyarı Sistemi tasarımıdır. Önerilen Çarpışma Uyarı Sistemi her araç üzerinde bulunmakta ve herhangi bir merkezi birim içermemektedir. Bu sistemde sistemin bulunduğu aracın değil aynı zamanda diğer araçlarında konumlarının, hızlarının ve hareket yönlerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle sistemde AAH kullanılır ve araçlar kendilerine ait bilgiyi iletim kanalında yayınlar. Çarpışma Uyarı Sistemi aracın kendine ait bilgileri ile iletim ortamından gelen bilgileri kullanarak olası çarpışma durumlarını sürekli kontrol eder ve sürücüyü gerekli uyarılarda bulunur. Çarpışma Uyarı Sistemi araç kontrol birimi ve girdi/çıkış birimlerinden oluşmaktadır. Bu sistemin güvenilirliğini test etmek için olası bütün senaryoların tek tek oluşturulması gerekir. Böyle bir çalışma uzun bir süreç gerektirir ve çok maliyetlidir. Bu nedenle tez çalışmasında önerilen sistemin testleri için benzetim ortamı kullanılmıştır. Geliştirilen simülasyon ile olası senaryolara karşı sistemin tepkisi test edilmiştir.

Bölüm 2’de hava, deniz ve karayolu ulaşımında ve raylı sistemlerde, çarpışma uyarı konusunda yaygın olarak kullanılmış veya halen kullanımda olan sistemlerden örnekler verilmiştir.. Bölüm 3’de Çarpışma Uyarı Sisteminin mimarisi anlatıldıktan sonra AAH için kullanılan veriler ve veri formatı açıklanmıştır. Bölüm 4’de benzetim ortamı ve yapılan testler anlatılmıştır. Bölüm 5’te önerilen Çarpışma Uyarı Sistemi değerlendirilmiş ve ileride yapılacak çalışmalar verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

AAH tabanlı çarpışma uyarı sistemleri önce hava ulaşımı ve sonra deniz ulaşımı araçlarında kullanılmıştır (Strang, 2011). 2009 yılından beri karayolu ulaşımında ve 1996'dan beri demiryollarında da AAH tabanlı çarpışma önleme sistemleri kullanılmaktadır (C2C Konsorsiyumu, 2007). Bu bölümde günümüze kadar hava, deniz ve kara ulaşımında kullanılan çarpışma uyarı sistemleri verilmektedir.

### 2.1. Hava Araçlarında AAH Haberleşmesi

Hava ulaşımı, çarpışma uyarı konusunda AAH'a başvuru olan ilk ulaşım türüdür (Strang, 2010). Hava ulaşımında taşıtın hareket kabiliyeti üç boyutlu olduğundan, aracın yörüngesini tahmin etmek karmaşık olduğu kadar, çarpışmanın önlenmesi için alınabilecek önlemler de o kadar kolaydır. Zira çarpışmaya sebep olabilecek bir yörüngede herhangi bir yönde yapılacak bir değişim çarpışma ihtimalini ortadan kaldıracaktır.

İlk çarpışma uyarı örnekleri hava araçlarında görüldüğünden çarpışma uyarı kavramının temelleri bu ulaşım türünde ortaya konulmuş ve çarpışma önleme sistemlerinin çalışma prensipleri hava ulaşımında çarpışma uyarı gereksinimleriyle belirlenmiştir.

### 2.2. BCAS

Çarpışma uyarı konusundaki çalışmaların, araçlara uygulanabilen ilk meyvelerinden biri İşaretçi Tabanlı Çarpışma Uyarı Sistemi – BCAS'tır (Beacon-Based Collision Avoidance System). BCAS yer tabanlı radar sistemlerinden farklı olarak, frekans aralığındaki tüm paketleri bir başlangıç dizisi ile test eder. Aynı frekansta olduğu halde kendi sistemine ait olmayan veri paketlerini bu sayede süzerek sadece kendi sorumluluk alanındaki araçları sorgulamış olur. Bu filtreleme, sisteme dışarıdan gelen mantıksal girişimi azaltır (Welch ve Orlando, 1980). Bu sistemde bir adet alıcı ve bir adet de verici bulunur. Vericiler sürekli olarak "sorgulama" isteği yayarak menzillerinde bir hava aracı olup olmadığını denetlerler. Sorgulamayla karşılaşan hava araçları da kendi bilgilerini yayarak

menzillerindeki hava araçlarını çakışan yörüngelerden korumaya çalışırlar. Bu sistemi iki uçağın aynı yükseklikte bulunmaması prensibine göre çalışmaktadır.

İlerleyen yıllarda BCAS gibi mevcut radar altyapısının üzerine kurulmak yerine, kendi başına çalışabilecek ve daha yoğun trafik ortamlarını destekleyebilecek, daha güvenli sistemlerin kullanılması gerekliliği doğmuştur. Bunun sonucu olarak, günümüzde de kullanımda olan TCAS (Traffic Collision and Avoidance System, 1978) ve TCAD (Traffic Collision Avoidance Device, 1989) ortaya çıkmıştır.

### 2.3. TCAD

TCAD (Traffic Collision Avoidance Device) herhangi bir sorgu iletisi yaymadığı halde, sürekli olarak çevreden gelen cevap iletilerini kendi sorgulamışçasına dinleyerek çevrede bulunduğu araçların yerlerini tespit etmeye çalışır. Bu bakımdan pasif bir Çarpışma Uyarı Sistemi olduğu söylenebilir (Ryan ve Ryan, 1992). TCAD toplu taşıma veya ticari – askeri araçlardan ziyade, daha düşük yatırım maliyetine ihtiyaç duyan kişisel hava araçları için üretilmiş bir üçüncü parti üründür. Sistem, öncülü BCAS gibi, “aynı anda hiçbir araçla aynı yükseklikte bulunmama” prensibiyle çalışıp bu koşulu sağlamaya yönelik görsel uyarılar vermektedir. Ancak burada iki yönlü bir AAH haberleşmesi söz konusu değildir.

#### 2.3.1. TCAS

TCAS, hava araçları için tasarlanmış bir Çarpışma Uyarı Sistemidir. 1981 yılında BCAS’ın yerine geçecek daha güvenli, hava tabanlı bir düzenek arayışının sonucunda, uzun süren bir geliştirme ve deneme safhasının ardından 1993’te ABD’de 19 kişiden fazla yolcu taşıyan tüm hava araçlarında bulundurulması zorunlu hale gelmiştir. 2005 yılında Avrupa Birliği’nde de aynı sınıfa giren hava araçlarında TCAS bulundurulması zorunlu kılınmıştır (Jeziarski, 2005).

Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 5700 kg veya 19 yolcudan düşük kapasiteli hava araçlarında TCAS I, yüksek kapasiteli araçlarda ise TCAS II kullanılması zorunlu kılınmıştır. TCAS I sadece trafik bilgisi verirken (Traffic Advisory), TCAS II tehlikeli durumların ortaya çıkmasını engelleyici çözümler de önerir (Eurocontrol, 2009). Engelleyici



çözüm olarak TCAS II dikey hareket seçeneklerini değerlendirirken, TCAS III yatay hareketleri de göz önünde bulundurur.

TCAS ile donatılmış bir hava aracı sürekli olarak çevredeki ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu) haberleşme normlarını kullanan vericileri sorgular ve geri aldığı cevap iletilerini değerlendirerek çevresindeki trafik hakkında bilgi sahibi olur.

### **2.3.2. MODE S**

Avrupa genelinde uygulanan, dünya genelinde uygulanması önerilen TCAS II sistemi Mode S haberleşmesine ihtiyaç duyar. Mode S, gönderdiği ve aldığı veri akışlarını adresleyerek karışıklığa ve gereksiz haberleşmeye engel olduğu gibi; RF kirliliğinden de daha az etkilenir. Uydu konumlaması ve araçtan alan bilgileri daha sık güncelleyen, gelen veriyi de daha hızlı işleyen bir sistem olduğu için TCAS II sisteminde kullanılması uygun görülmüştür (Breu vd., 2008).

Mode S haberleşmesi şu şekilde çalışır: Her Mode S iletisi 56 veya 112 bitlik bir iletidir; bu iki farklı uzunluktaki ileti de 24 bitlik bir adres ve parite alanı içerir. Transponder bir sorgulama iletisi ile karşılaştığında, gelen iletiyi çözmeye başlar. Eğer ileti hatasız taşınmışsa, transponder iletinin içindeki Mode-S adresini alır. (Orlando ve Drouilhet, 1986).

Sürekli olarak çevredeki araçları tarayan TCAS bir Mode-S yanıtı aldığı anda adresini aldığı araçla haberleşmeye başlar. Bu veriyi değerlendirerek, çarpışma ihtimali gördüğünde gerekli manevra önerilerinde bulunur. Haberleşme sadece adresi alınan araçla yapıldığından diğer araçlar bu iletişimi dikkate almaz.

## **2.4. Deniz Araçlarında AAH Haberleşmesi**

Deniz Yüzeyinde seyreden deniz taşıtları, üç boyutlu bir ortamda seyreden hava araçlarından farklı olarak iki boyutlu bir düzlemde hareket etmektedirler. Bu nedenle bu iki sistem arasında farklılıklar oluşmaktadır. Bu bölümde bu farklılıklar incelenecektir.

### 2.4.1. Otomatik tanımlama sistemi (AIS)

Otomatik Tanımlama Sistemi (Automatic Identification System – AIS), 2000 yılında Uluslararası Deniz Örgütü (International Maritime Organization – IMO) tarafından 300 gross tonu aşan tüm uluslararası gemilerin ve 500 gross tonu aşan tüm kargo gemilerinde bulunması zorunlu hale getirilmiş bir Çarpışma Uyarı Sistemidir (SOLAS, 2002). 2004 yılı sonrasında ise çoğu deniz sularında kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. AIS, belirli bir menzil dâhilindeki deniz araçlarının birbirleriyle ve kara istasyonlarıyla haberleşerek çarpışma ihtimallerini öngörebilmelerini sağlar. Bağlı buldukları sınıfa göre 2-10 saniye veya sabit 30 saniye aralıklarla veri gönderen AIS, standartlaşmış bir VHF vericisini GPS (veya LORAN-C) alıcısı ve diğer navigasyon sensörleriyle (jiropusula) veya dönme oranı göstergesi gibi) ile yakın bölgedeki araçları takip edebilmelerini mümkün kılmıştır.

AIS vericisi konum, hız ve navigasyon durumu bilgilerini sürekli olarak belirli zaman aralıklarıyla gönderir. Bu bilgileri geminin navigasyon alıcılarından temin eder. Geminin ismi ve VHF arama işareti AIS cihazına önceden yüklenmiş olur. Bu bilgileri alan diğer gemiler de diğer gemilerden gelen bilgilerle beraber birleştirir, ardından çıkış için ayarlanmış ekrana verirler. Hava koşullarına bağlı olmakla birlikte, ortalama AIS menzili 37 km'dir. VHF bandının getirisi, radarın sadece gürültü göstereceği hava koşullarında daha net bilgi verebilmesi ve kıyı yakınlarında halen güvenilir bilgi verebilmesidir. İletişim menzilinin kara ile karşılaştığında kısalması ve kara etkisiyle konumlandırma sinyalinin bozulmaması için, kıyı bölgelerde istasyonlar kurulabilir. Toplamda 256 bit tutan veri paketi biçimi Çizelge 2.1'de verilmiştir, bu veri soldan sağa doğru iletilir.

Çizelge 2.1. AIS veri paketi içeriği (SOLAS, 2002)

PARÇA	Başlangıç Tamponu	Giriş Dizisi	Geliştirme	Başlangıç Bayrağı	Veri Paketi	Çerçeve Dizisi	Sağlama	Bitiş Bayrağı	Sonlandırma
UZUNLUK	23 bit	24 bit		8 bit	168 bit'e kadar	CRC 16		8 bit	Tamponu

AIS verisi şifrelenmemiş ve halka açık bir veridir; çoğu firmanın kendine ait AIS cihazları mevcuttur. AIS verisi sivil erişime açıktır; bir bilgisayar yahut taşınabilir bir cihaz ile AIS cihazı bulunduran her geminin bilgilerine ulaşılabilir. Çok farklı AIS cihazları bulunduğu halde iletişim altyapısı aynı tutulmuştur (SAAB, 2002).

## **2.5. Kara Araçlarında AAH Haberleşmesi**

Kara araçları ve bilhassa otomobiller aslında en fazla çarpışma durumuyla karşılaşan araçlardır (Safety & Group, 2013). Ancak yoğun ve sürekli değişen trafik yapısı, dinamik bir denetleme düzeneğinin kurulmasının zorluğu ve çok sayıda farklı otomobil üreticisi olması gibi nedenler henüz oturmuş bir otomobil Çarpışma Uyarı Sistemi olmamasına sebep olmuştur. Bu sorunları birden çok otomobil üreticisi bir araya gelerek çözmeye çalışmaktadır (Papadimitratos, 2009). Bu konuda ABD, Avrupa Birliği ve Uzak Doğu bölgelerinde bulunan üreticiler belirli standartlar oluşturmaktadır. Bölgelere ait çözümlerde farklı yazılım ve donanımlar kullanılmaktadır (Lee ve Peng, 2005). Ancak havai haberleşme altyapısı ve çalışma mantığı genel olarak birbirine yakınlık göstermektedir. (Bai vd., 2013).

### **2.5.1. Otomobillerde AAH haberleşme donanımı**

Otomobillerde hareket ivmesi her iki yönde hız değişebildiği için, hem hızlı veri ileten hem de mümkün olduğunca erken iletişime başlayabilen bir sistem gerekir. Genel yaklaşım son zamanlarda gelişme gösteren DSRC (Dedicated Short-Range Communication) ve 5.8-5.9 GHz bantlarını kullanan VANET'ler (Vehicular Ad-hoc Network) üzerinden haberleşmek şeklindedir.

VANET, merkezi olmayan bir ağ yapısıdır (Pesel ve Maslouh, 2012). Herhangi bir merkezi denetleme birimine ihtiyaç duymadan, birbirine bağlı olan düğümlerin doğrudan haberleşmesini temel alır. Birden fazla düğümün arasında olan bir düğüm, çevresindeki diğer düğümlerin de kendisi üzerinden birbirleriyle haberleşmesine izin verir. Bu ağ yaklaşımı otomobillerdeki AAH iletişimi için çok uygun bir altyapı olarak kabul görmüştür.

DSRC ise öngörülen iletişim altyapısını güvenli bir şekilde taşıyabilecek iletişim protokolü olarak seçilmiştir. Zira DSRC hem çift yönlü veri akışı sağlayan, hem kısa-orta

mesafelerde (300-1000 metre) çok hızlı bir veri akışını düşük gecikme ile sağlayan bir sistemdir.

İletişim bandı olarak ise 1999 yılında ABD Federal İletişim Komisyonu'nun (FCC) sadece akıllı ulaşım sistemleri iletişimi için ayırdığı 5.9 GHz bandında, 75 MHz'lik aralık yeterli görülmüştür. Avrupa komisyonu ise 5.8 MHz bandında, 30 MHz'lik bir aralık belirlemiştir. İletişim bantları birbirine yakın olsalar da, sistemler genel olarak birbirleriyle uyumlu değildirler. Bu farklılığın giderilmesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Bai vd. , 2013).

Kara ulaşımında A.B.D., Avrupa Birliği ülkelerinde ve Uzak Doğu ülkelerinde farklı standartlar kullanılmaktadır.

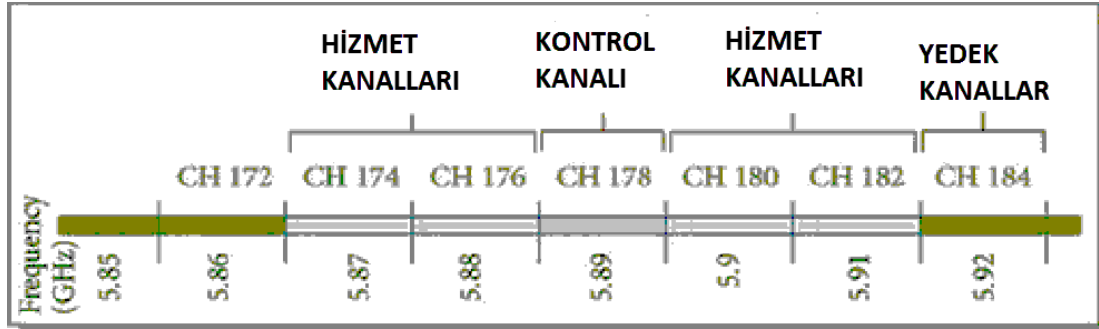
ABD'de otomobil çarpışma önleme sistemleri çoğunlukla AAH odaklıdır; güvenli sürüşü sağlamayı hedeflemektedir (Szmatura, 2012). Bütün frekans bandı uygulama kullanımı için müsaittir ve 7 adet 10 MHz'lik bantlara bölünmüştür. İletişim ise yol altyapısını kullanmamış, sadece çevrede ulaşılabilen araçlara ayrılmıştır.

Bu sistemde WAVE (Wireless Access for Vehicular Environments, IEEE 802.11p) standardı kullanılmaktadır. IEEE 802.11p standardı 250 km/s hıza kadar hareket eden araçlarda kullanılmak için tasarlanmıştır; 1000 metre menzilde en az 3Mbps hızıyla veri iletimi yapabilir. İletilen WAVE çerçevesinin biçemi Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Havaya iletilen WAVE çerçevesi biçemi (ARIB STD, 2001).

PARÇA	Giriş	Sinyal	Hizmet	Protokol Hizmeti Veri Birimi	Kuyruk	Tamamlama bitleri
<b>UZUNLUK</b>	32 $\mu$ s	8 $\mu$ s	16 bit	Değişken	6 bit	Değişken

WAVE iletişim mimarisi genel olarak IEEE 802.11'in bir genişletmesidir. Ağa katılan araçların ve ağ içindeki mevcut araçların zaman slotlarını paylaşımı için TDMA (Time Division Multiple Access) eklenmiştir. DSRC kanal bölümlenmesi Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. DSRC kanal bölümlenmesi (Morgan, 2010).

İletişimde araçların sınıfına ve durumuna göre farklı iletiler kullanılır; değişken boyutlardaki veriler zaman slotlarına uyumluluk için tamamlama bitleriyle şekillendirilerek gönderilirler. Farklı katmanlar için farklı iletişim standartları uygulanır (Kenney, 2011).

İletişim standardı SAE J2735 olup, halen geliştirilmektedir.

Avrupa Birliği AAH standardizasyonu, hareketliliği hedefleyen ve V2I (Araçtan-Altyapıya / Vehicle-to-Infrastructure) üzerine odaklanan bir çalışmadır (Szmatala, 2012). Ana hedefleri güvenliği, mobilitayı, trafik yönetilebilirliği ve akışkanlığını, çevresel yönetilebilirliği ve ekonomik yönetilebilirliği artırmaktır.

AB standardında iletişim menzili, araçtan araca iletme algoritmaları kullanılarak artırılmıştır. Yani araçlar yalnızca menzillerindeki araçlarla değil, onların bağlı oldukları araçlarla da haberleşirler. Aynı görevi yol kenarındaki yol birimleri de (RSU) üstlenirler. Araçlar yine düğüm gibi davranır ve kendi adresleri ve coğrafi konumlarıyla tanımlanırlar. Düğüm tipleri a) kaynak, b) iletim, c) hedef, d) iletim / hedef şeklindedir. İletişim hızı ise

ihtiyaca göre değişkenlik gösterir. Tasarlanmış olan AB DSRC kanal bölümlenmesi Çizelge 2.3'te görölmektedir.

İletişim standardı ETSI TS 102 637 olup, halen geliştirilmektedir.

Çizelge 2.3. AB DSRC kanal aralıkları (Morgan, 2010).

<b>FREKANS (MHz)</b>	5.855-5.875	5.875-5.885	5.885-5.895	5.895-5.905	5.905-5.915	5.915-5.925
<b>GÖREVİ</b>	Güvenlikle İlgisiz Araç-YolBoyu ve Otomobil-Otomobil Uygulamaları	Yol Güvenliği -Trafik Verimlilięi	Aę Denetimi-Kritik Güvenlik Uygulamaları	Kritik Güvenlik Uygulamaları	Yol Güvenliği -Trafik Verimlilięi	Yol Güvenliği -Trafik Verimlilięi

Yayın frekansı 5.8 GHz olan Japon sisteminde, IEEE 802.11p kablosuz iletişim protokolü kullanılır. DSRC protokolü ARIB STD-T75 standardında tanımlanmaktadır (ARIB STD, 2001). Japon standardı hem AAH, hem de V2I üzerine yoğunlaşarak hareketliliği ve güvenliği aynı anda artırmayı hedeflemektedir. İletişim menzili ileriye-geriye 400 metre ve yanlara 25 metredir.

Yapılan son çalışmalarla AB/ABD/UD ortak iletişim biçimi yüzde doksan oranında ortak hale gelmiştir; aradaki farklılıklar ancak bölgesel bazda kalmıştır.

## 2.6. Raylı Sistemler AAH Standartları

Raylı sistemlerde AAH standartları Avrupa Birliği bünyesinde geliştirilen ETCS Seviye 2 ile Alman Haberleşme Dairesi'nin desteklediği RCAS, Asya'da TCAS ile açıklanabilir.

Avrupa bölgesinde raylı sistemler üzerine geliştirilmekte olan çoğu AAH sistemi ETCS sisteminin devreye girmesi ile gereksiz kalmıştır. Blok sistemine dayalı ETCS Seviye

1 çoğu çakışmayı ortadan kaldıran güvenli bir yapı inşa etmiş de olsa, hızlı veya yoğun hatlarda ve tekil olmayan araçların seyrinde blok yaklaşımı yetersizdir.

### **2.6.1. ETCS**

ETCS tasarımı geliştikçe farklı ihtiyaçlar ve bütçeler için daha ileri teknoloji barındıran, daha dinamik denetim sağlayan üst seviyeleri ortaya çıkmıştır (UIC, 2008). ETCS seviye 1 bloklara ayrılmış bir hat içinde, aynı anda bir blokta birden fazla araç olmasına izin vermemektedir. ETCS seviye 2’de hareket iznine anlaşılan bilgilerini ve ray devrelerinin meşguliyet durumlarını izleyen Radyo Blok Merkezi (RBC) karar vererek daha dinamik bir yapı oluşturur. ETCS seviye 3 ise hat üzerindeki sabit ray devreleri yerine daha hızlı ve isabetli konum belirlemesi yapan yöntemler kullanır; hat üzerindeki sabit bloklar yerine trenler arasında gerçek zamanlı bir güvenli mesafe hesabına izin verir. Her durumda ETCS doğrudan AAH haberleşmesi yerine V2I haberleşmesi ile trafiği düzenler.

RBC, trenlerle haberleşmek için GSM bandını kullanır; veri iletimi için 876-880MHz bandını, veri alımı için 921-925 MHz bandını kullanır.

### **2.6.2. RCAS**

RCAS ETCS uygulanmamış bölgelerde güvenli trafiği sağlamak ve ETCS’nin uygulanmış olduğu hatlarda güvenliği artırmak için tasarlanmış bir sistemdir (Strang vd., 2006). Bu sistem hem tekil, hem de çoğul seyir halinde olan araçlar için ek bir güvenlik katmanı olarak tasarlanmıştır; 160 km/s hıza kadar etkin bir şekilde çalışabilmektedir. Araçtan-araca etkin menzili 5000 metre olan sistem, ağ yapılanması için AD-Hoc kavramını kullanır. İletilen verinin parçalarını içeren tablolar Çizelge 2.4’te görülmektedir.

Çizelge 2.4. RCAS telegramları (a) Tren bilgisi, (b) Rota bilgisi, (c) Konum bilgisi. (Strang, 2011)

<b>PARÇA</b>	İLETİ SÜRÜMÜ	İLETİ TÜRÜ	ARAÇ TANIMI	HIZ	FREN MESAFESİ	ÖN UZUNLUK	ARKA UZUNLUK	İLETİ SIKLIĞI	YEDEK
<b>UZUNLUK</b>	4 bit	4 bit	30 bit	9 bit	12 bit	10 bit	10 bit	6 bit	7 bit

(a)

<b>PARÇA</b>	HAT TANIMI	MESAFE	YÖN	PLANLANMIŞ ROTA
<b>UZUNLUK</b>	25 bit	20 bit	1 bit	12 bit

(b)

<b>PARÇA</b>	ENLEM	BOYLAM	YÖNELME
<b>UZUNLUK</b>	24 bit	24 bit	10 bit

(c)

RCAS konum bilgisi temini için GALILEO uydularını kullanır. Uydu konumlaması hata payının tehlikeli olduğu birden çok şeritli hatlarda hattın belirlenmesi ve konumlama bilgisine ulaşılamayan noktalarda (tünel, yarma gibi) konum doğrulaması için hat üzerinde balizler kullanılır.

İletişim bandı olarak 460-480 MHz'in kullanılması düşünülmektedir (Lijklema, 2010). Benzer ağlarda ortaya çıkan "gizli terminal sorunu"na çözüm olması için, MAC katmanında COMB (Cell-based Orientation-aware MANET Broadcast) isimli bir protokol tasarlanmıştır. Bu protokol her bir düğümün kendisi etrafındaki düğümleri altıgen biçiminde bir kanal ayırımına tabi tutmasını temel alır. En az üç düğüm olduğunda gizli terminal sorunu kesin olarak ortadan kalkar (Garc, 2008).



### 2.6.3. TCAS

TCAS Hindistan Ulaştırma Bakanlığı tarafından desteklenen, öncülü ACD (Anti-Collision Device) olan ve ACD'nin eksiklerinin ortadan kaldırılmasıyla yürürlüğe girmekte olan bir sistemdir (Egbert, 2004). 1500-3000 metre menzili olan sistem çarpışma ihtimali gördüğünde fren uygulama yetkisine sahiptir. Trenler üzerindeki alıcılardan birer adet de hemzemin geçitlere konarak, bu geçitlerin de yaklaşan demiryolu araçları hakkında karayolu trafiğini uyarması sağlanmıştır.

Bu sistemde her demiryolu aracının başında ve sonunda birer adet transponder bulunur. Bu transponder duruma göre her 5/15/30 saniyede bir araç bilgisi ve hat bilgisiyle, hareket bilgilerini gönderir ve sorgular. Ana denetleme birimi (Master Control Unit - MCU) ise gelen bilgileri aracın kendi bilgileriyle karşılaştırarak olası bir çarpışma ihtimalini değerlendirir. Hat tanımaya yönelik statik işaretleyiciler (Static Beacons – SB) belli aralıklarla veya stratejik noktalara konulmuştur. Tren istasyonlarına yerleştirilmiş İstasyon Paket Terminalleri (Station Packet Terminals – SPT) bölgesinden geçen trenlerin kaydını tutar.

850-950 MHz bandında çalışan TCAS, gönderim için 915 MHz, alım için 925MHz kullanır. Gönderilen 7 bayt uzunluğundaki paket 2FSK modülasyonuna (deviasyon  $\pm 30\text{KHz}$ ) tabi tutularak sinyal halinde yayılır. Çizelge 2.5'te tamamı görülen 2 byte'lık adres kısmının 8 biti Araç ID'si, 4 biti Hat ID'si, 4 biti hareket bilgisi içindir. Bilgi kısmının 4 biti Hat ID'si, 4 biti Durum Bilgisidir. Veri paketinin ve AAH sisteminin çalışma sistemi düşünüldüğünde, bu sistemin yalnızca tekil araçların çarpışmasına engel olmak üzere tasarlandığı açıktır; topluluk halinde seyir eden araçlar için bir çarpışma önlemesi sunmayacaktır.

Çizelge 2.5. TCAS veri paketi (Egbert, 2004).

Giriş	Adres	Bilgi	Çerçeve Doğrulama Süreci (FCS)	Sonlandırma biti
1 byte	2 byte	1 byte	2 byte	1 byte

#### 2.6.4. İletişim-tabanlı tren denetimi

İletişim Tabanlı Tren Denetimi (CBTC: Communications-Based Train Control) IEEE 1474.1-2004 standardı ile belirlenmiştir. Bir CBTC sistemi IEEE tarafından "yüksek çözünürlüklü tren yeri saptaması kullanan, ray devrelerinden bağımsız, sürekli, yüksek kapasiteli, çift yönlü tren-hat haberleşmesi kullanan, Otomatik Tren Koruma (ATP)ve istenirse ATO (Otomatik Tren İşletme) ve ATS (Otomatik Tren Yönetme) işlevlerini uygulayabilen tren üstü ve hatboyu işlemcileri barındıran, sürekli bir otomatik tren kontrol sistemidir." diye tanımlanır. CBTC'nin ERTMS (European Railway Traffic Management System) Seviye 3'de kullanılması planlanmaktadır.

CBTC'nin amacı aynı hat üzerinde yol alan trenler arasındaki güvenli mesafeyi kısaltarak kapasiteyi arttırmaktır. CBTC'nin çalışması için Araçüstü ATP Sistemi, Araçüstü ATO Sistemi, Hatboyu ATP Sistemi, Hatboyu ATO Sistemi, ATS Sistemi ve kendine ait bir İletişim Sistemi ihtiyaçları bulunur. Bu yüzden kurulum maliyeti yüksek bir sistemdir; kurulumunun düşünüldüğü yerlerde ETCS seviye 2 ve üstü teçhizatının uygulanmış olması beklenir.

CBTC'de konum belirleme GPS veya sabit yer işaretleyicileri ile yapılıp, yardımcı yöntemlerle desteklenir (Pascoe ve Eichorn, 2009). Desteklenen durumlarda anklaşman ile haberleşerek yol durumu hakkında bilgi alan CBTC sistemi hafızasında yüklü olan hat haritasına göre kararlar verir ve gerektiğinde bunları diğer sistemlere ileterek eylemlere dönüşmesini sağlar. Bu bakımdan araçlar birbirleriyle doğrudan haberleşmez; onun yerine sürekli olarak anklaşmanla haberleşerek kendi bilgilerini iletip diğer araçların bilgilerini alırlar.

IEEE 802.11a/g/p protokollerini kullanan CBTC (Kuun, 2004), kanal erişimi için CDMA ve Modülasyon için BFSK kullanır. İletişim iki yönlüdür.

Çizelge 2.6. CBTC (a) Hatboyundan Trene ve (b) Trenden Hatboyuna İleti biçemi (Kuun, 2004).

VERİ	N	N <sub>c</sub>	X <sub>c</sub>	N <sub>f</sub>	L	V <sub>ob</sub>	ES
MENZİL	0+127	1;2	0+15	1+32	0+1200m	0+90km/s	0;1

(a)

VERİ	N	N <sub>e</sub>	X <sub>i</sub>	X <sub>j</sub>	L <sub>t</sub>	V <sub>t</sub>	M	BR
MENZİL	0+127	0;1	0+1023	0+500m	1+4	0+90km/s	1+3	0;1

(b)

### 2.6.5. ATACS

ATACS, Japonya'nın kendi demiryolu için geliştirmiş olduğu demiryolu denetim ve Çarpışma Uyarı Sistemidir. Gelişmiş Tren Yönetim ve Haberleşme Sistemi (Advanced Train Administration and Communication System) anlamına gelen ATACS, ETCS Level 3'ün CBTC uygulanmış haline büyük benzerlik gösterir (Aoyagi, 2001). Frekans bandı olarak 400 MHz üzerinde 6.25 kHz'lik bir aralık seçilmiştir (ATACS, 2001).  $\pi/4$  kaymalı QPSK modülasyonu kullanan sinyal 9.6kbps hızında iletilir.

ATACS sisteminde trenler konumlarını ray devresi olmadan tespit eder ve saha denetçisine iletirler. Hareket sınırlamaları saha denetçisi tarafından belirlenip trene iletilir. Bu bakımdan, bu sistemde de doğrudan bir AAH haberleşmesi yoktur.

### 3. ÇARPIŞMA UYARI SİSTEMİ

Çarpışma uyarı sistemi; sistemi her durumda bir aracının herhangi bir nesneyle çarpışmasını engelleyebilecek, esnek ve geliştirilebilir bir yapıya sahip olmalıdır. Bunun için sistem:

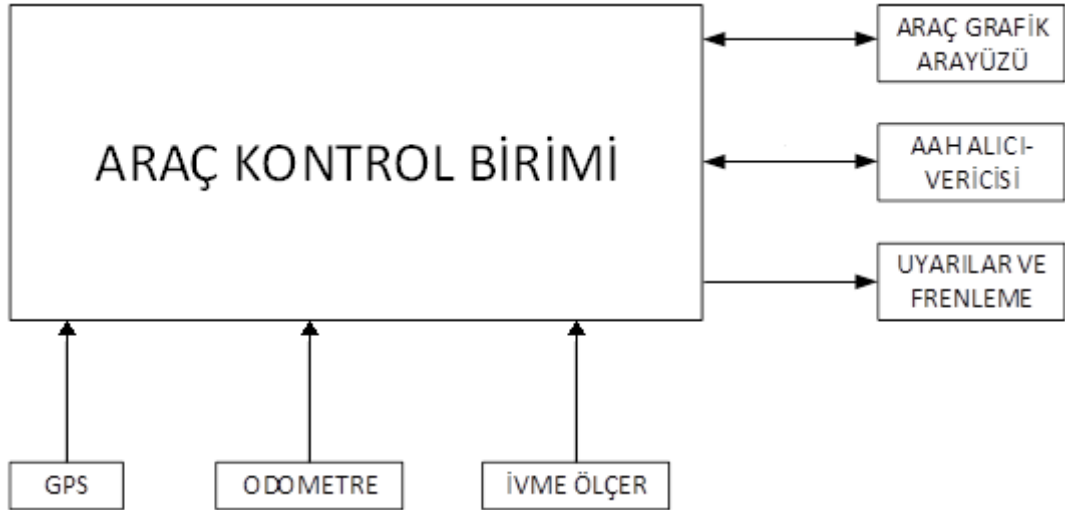
- Her durumda tehdit algılamalı ve çarpışmayı engellemek için uyarı ve kontrol yapabilmeli,
- Yazılımsal ve donanımsal hata denetimi yapabilmeli,
- Bulduğu hataların sistem işleyişini olumsuz etkilemesini engelleyebilmeli,
- Donanım ve yazılım olarak değişken durumlara uyum sağlayabilmeli,
- Geliştirilebilir bir yazılım yapısına sahip olmalıdır.

Sistem tepkisini oluşturan mekanizmada kararsız durumların ortaya çıkmasının engellenmesi ve işleyişin tek bir merkezden yönetilmesi için tüm girdilerin toplandığı ve tüm çıktıların sağlanıp denetlendiği bir birim oluşturulmalıdır. Tez çalışmasında önerilen Çarpışma Uyarı Sistemi GPS, odometre, ivmeölçer ve AAH girdilerini alan, kendi AAH verisini, görsel-sesli uyarıları ve fren uygulamasını çıktı veren bir Araç Kontrol Birimi'nden oluşmaktadır.

#### 3.1. Araç Kontrol Birimi

Araç Kontrol Birimi (AKB), aracın bilgileri ile AAH verisi ile alınan diğer araçların verilerini değerlendirerek çarpışma tehdit algılaması yapar. Şekil 3.1'de gösterilen Araç Kontrol Birimi diğer altbirimlerle haberleşmek için farklı arayüzler kullanır. Bu arayüzler arasında CAN, Ethernet ve DI/O bulunmaktadır.

AAH verisinin iki yönlü taşınması için kullanılacak Alıcı-Verici Birimi 2412-2472 MHz bandında çalışacaktır.



Şekil 3.1. Araç Kontrol Birimi girdileri ve çıktıları.

Çarpışma Uyarı Sisteminde yapılan işlere ait akış şu şekildedir:

- 1) AAH verisinin alınması,
- 2) Paketin tanımlanması,
- 3) Nesnenin tanımlanması,
- 4) Tehdit seviyesinin belirlenmesi,
- 5) Eylemin uygulanması.

### 3.1.1. Giriş ve Çıkış Birimleri

AKB'nin karar verme mekanizmasının doğru çalışabilmesi için, bağlı bulunduğu aracın durumunu doğru okuyabilmesi ve ilgili eylemleri verimli bir şekilde uygulayabilmesi gerekmektedir. AKB kendi durumunu öğrenmek için hareket vektörünü oluşturan GPS, odometre, ivme ölçer verilerini girdi olarak kullanır. Herhangi bir eyleme gerek olup olmadığına karar vermek için çevreden gelen AAH verisini ve aracın ön tanımlı değerlerini kullanır.

Karar verilen eyleme göre sürücünün bilgilendirilmesi veya uyarılması, durum gerektirdiğinde de fren uygulanabilmesi için gerekli çıkışların önceden sağlanmış olması gerekir.

### 3.1.2. GPS

Araç konumunun tespiti konusunda ilk başvurulacak düzenek Uydu Konumlama Sistemi'dir (Global Positioning System). Sistem yerküre etrafındaki GPS uydularını kullanarak interpolasyon yordamıyla yer tespiti yapar; elde ettiği konum bilgisini önceden seçilmiş bir ileti biçimiyle çıktılar. AKB'ye konum bilgisi sağlamak için kullanılan GPS'in de bu şekilde çalışacak olması öngörülmüştür. Konum bilgisi interpolasyon yordamıyla elde edildiği için en az birkaç metre hata payı olması beklenmektedir; bu yüzden aralarında birkaç metre mesafe bulunan demiryolu hatlarında hat tespiti konusunda yetersiz kalmaktadır.

GPS verisi geriye dönük olarak takip edildiğinde aracın hareket yönünün de tespitini sağlamaktadır.

### 3.1.3. Odometre

Odometre girdisi aracın hareket hızının tespit edilmesini sağlar. Tipine göre çeşitli şekillerde yürüyen aksama bağlanan odometre alıcısı çoğunlukla atım serisi şeklinde bir ölçüm yaparak bağlı bulunduğu hareketli parçanın hızını belirler. Hareket hızı bilgisi kabine sayısal veri olarak, veya önceden belirlenmiş bir aralıkla karşılaştırılacak analog akım şiddeti olarak temin edilir. AKB elde edilen bilgiyi okuyabilecek şekilde yapılandırılacaktır.

Hareket yönü ise bir önceki konuda da belirtildiği üzere, GPS verisinin geriye dönük takibi ile tespit edilir.



Şekil 3.2. Kabine bağlı bir odometre çıkışı (Anonim, 2014)

### 3.1.4. İvme ölçer

İvme ölçer aracın hareket ettiği düzlem üzerinde karşılaştığı eğimin bilgisini temin eder. Eğim raylı sistem araçlarında fren mesafesini önemli oranda etkilemektedir; bu yüzden ivme ölçer girdisinin sağladığı eğim bilgisi aracın fren mesafesinin hesaplanmasında kullanılır.



Şekil 3.3. Çeşitli ivme ölçer alıcıları (Anonim, 2014).

### 3.1.5. Kullanıcı (Araç) grafik arayüzü

Bu arayüz tamamlanmış fiziksel ürünün nasıl bir görsel arayüze sahip olacağına, araç sürücüsünün nasıl bir ekran izleyeceğinin öngörüsünü sağlar. AKB'nin kendi durumu ve varsa karşılaşılan nesnelerin durumları ile ilgili verdiği önemli bilgiler bu ekranda özetlenirken, değerlendirme sonucu AKB'nin belirlediği tehdit seviyeleri de bu ekranda bilgilendirme ve uyarılara dönüştürülür.

### 3.1.6. Uyarılar ve frenler

AKB'nin tespit ettiği çarpışma tehdidi durumuna göre verilecek görsel ve işitsel uyarıların donanım çıkışları bu elemana aittir. Tehdit durumuna göre menzilde tehlike arz etmeyen bir nesne bulunduğunu bildiren görsel bildirim, tehlike arz edebilecek durumu bildiren yavaş sesli uyarı, ciddi tehlikeyi bildiren yüksek sesli uyarı şeklinde bildirimler AKB tarafından belirlendiği şekliyle çıktılır.

Sürücünün yerine eylem uygulanmasını zorunlu kılacak bir tehditle karşılaştığına karar veren AKB, buradan araç frenlerini etkinleştirir. Fiziksel ürünün uygulanacağı farklı araçların farklı fren donanımlarına sahip olma ihtimali, farklı donanımlara uyum sağlayabilecek esnek bir tasarım gerektirmektedir.

## 3.2. AAH Veri Formatı

AAH verisiyle karşılaşan bir aracın bu bilgiyi değerlendirebilmesi için, aracın öncelikle kendi verisini doğru bir şekilde hazırlaması gerekir. Araç Kontrol Birimi'nin kendi bulunduğu aracı takip ederek verisini hazırlamak ve çevreden gelen veriyi işleyerek gerekli çıktıları vermek şeklinde iki görevi bulunmaktadır. Araç önce kendi donanımından gelen veriyi alarak AAH paketini oluşturmaya yönelir.

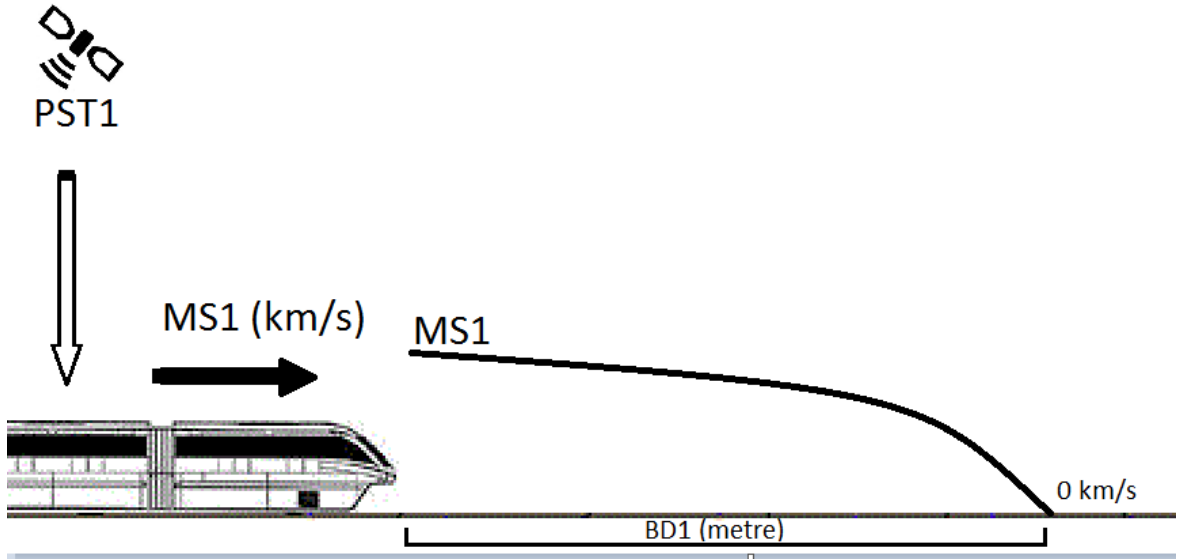
Araç Kontrol Birimi çevre donanımından aldığı verileri kullanarak formatlı AAH verisi oluşturur. Çevre donanımından alınan veriler farklı özelliklere sahiptirler:



- 1) Önceden belirlenmiş statik veriler,
- 2) Her AAH paketinde farklı bir değer alınabilen dinamik veriler,
  - a. Hareket verisi içeren dinamik veriler
  - b. Hareket verisi içermeyen dinamik veriler.

Araç Kontrol Birimi'nin hazırladığı AAH verisi, karşılaştığı araçlara aracın durumuyla ilgili bütün gerekli bilgileri tek pakette verebilmelidir. Bu bölümde veriyi oluşturan parçalarla ilgili bilgiler verilecektir. AAH paket formatı, bu veriyi oluşturan parçaların içeriğiyle birlikte verilmektedir. AAH verisini oluşturan veri parçalarının bir kısmı sabit verilerdir; bir kısmı ise veri paketi her yenilendiğinde yeniden okunmalıdır.

Temel hareket verisinin bileşenleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekilde PST1 aracın konum girdisini, MS1 aracın hareket hızı verisini, BD1 aracın hesaplanmış fren mesafesini göstermektedir.



Şekil 3.4. Temel hareket verisi bileşenleri.

Çizelge 3.1’de paket halinde içeriği görülen AAH verisinin her parçasının ayrı bir işlevi bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. AAH verisi içeriği.

İleti Türü	İleti Sürümü	İleti Zamanı	Araç Tanımı	Hat Tanımı	Konum	Hareket Hızı	Hareket Yönü	Araç Uzunluğu	Anten Konumu	Fren Mesafesi	CRC Denetimi
Message type	Message Version	Message Time	Vehicle ID	Track ID	Position	Movement Speed	Movement Direction	Vehicle Length	Antenna Position	Braking Distance	CRC Check
1	1	7	2	2	8	1	1	2	1	2	1
TYPE	VER	T	VID	TID	PST	MS	MD	VL	AP	BD	CRC

İleti Türü (MessageType,TYPE): Alınan paketlerin Çarpışma Uyarı Sistemi’ne ait AAH verisi olup olmadığını anlamak ve karşılaşılan araç tipini belirlemek için kullanılır. AAH verisi olmadığı halde iletişim bandına yakın frekanslardan giren verinin bu veri parçasıyla süzülmesi, gereksiz verinin sisteme girmesini engeller. Araç tipleri de karşılaşıldığında uygulanacak yaklaşım bakımından dört ana başlıkta incelenebilirler; Acil Durum, Arıza Durumu, Sabit Cisim ve Hareketli Cisim.

Acil Durum menzilde önemli bir tehlike olduğu bilgisidir; acil durum bilgisi verilen bir yerde ray kırığı, enerji hattı bozulması veya kaza gibi hareketin can veya mal kaybına yola açacağı bir ortam oluşmuş olması muhtemeldir. Bu bilgiyle karşılaşan bütün araçların bu noktaya varmadan durmaları yahut tedbirli geçiş hızına (25 km/saat) kadar yavaşlamaları gerekir.

Arıza Durumu menzilde donanım sorunu yaşayan bir araç olduğu şeklinde algılanır. Arıza Durumuna geçmiş bir aracın konum verisi, hız verisi veya çarpışma tehdidinin değerlendirilmesini sağlayacak başka bir verisi, bu veriyi hazırlayan araç tarafından sağlıklı şekilde sağlanamıyor demektir. Bu durumdaki bir aracın konumu veya hareket vektörü kesin olarak bilinmediği için, araç menzilde olduğu süre boyunca dikkatli olunmalıdır; bunun için

seyir hızının araç görüş alanına girdiğinde güvenli duruşu sağlayacak bir seviyeye indirilmesi tavsiye edilmelidir.

Sabit cisim menzilde hareketi doğrudan engellemeyecek bir nesne olduğunu bildirir; bu tarz bir cisim bir istasyon, bir hemzemin geçit veya bir bakım ekibi olabilir. İstasyonlar veya hemzemin geçitlerde seyir güvenliğinin artırılması için hız düşümü önerilmelidir. Bakım ekipleri de TCDD mevzuatı gereği çalışma yapılan bölgede her daim bir gözcü bulundurmak zorunda olduklarından, yaklaşan bir treni zamanında tespit ederek hattın güvenli bir şekilde ayrılacaklardır; yine de hatta kullanılan teçhizatın hattın uzaklaştırılması için yine hız düşümü önerilmelidir. Bu tipteki cisimler, Hat Tanımı bilgisinden bağımsızdır.

Hareketli cisim veya tren yayını, hatta hareketli veya sabit bir hareketli cisim, muhtemelen bir tren bulunduğu anlamında algılanır. Böyle bir cisimle karşılaşıldığında, Hat Tanımı ve hareket bilgileri de işlenerek çarpışma tehdidi değerlendirilmelidir.

İleti Sürümü (MessageVersion, VER): Kullanılan veri paketinin sürümünü belirtir. Buradaki veri sürümü bir sürüm numarası yerine veri paketinin bayt cinsinden uzunluğu şeklindedir. Yeni bir ileti sürümü oluşturulmak istendiğinde, eski veri paketinin son parçasına kadar bir çıkarma yapılmayıp yeni bir veri parçası eklemek şeklinde bir geliştirme yapılmalıdır. Bu sayede, bir araç kendinden yeni bir ileti türüyle karşılaştığında, sadece kendi tanıdığı veri parçalarını okuyacaktır. Eski veri kısmına dokunulmadığı sürece herhangi bir sıraya atanmış verinin başka bir verinin yerine okunması ihtimali de ortadan kaldırılmış olur.

İleti Zamanı (MessageTime, T): İletinin hazırlanıp gönderildiği tarih bilgisidir. Bu bilgi yıl, ay, gün, saat, dakika ve saniye şeklindedir. Her veri paketinin saniyede bir defa gönderilmesi öngörüldüğü için, bu veri parçası bir önce alınmış olan veri paketinin aynı parçasıyla karşılaştırarak veri kaybı olup olmadığı değerlendirilir.

Araç Tanımı (VehicleID, VID): AAH verisini hazırlayan aracın tanım numarasıdır. Menzilde birden fazla araç olduğunda ayrımı buradan yapılacaktır. Araçlar haricinde istasyon binaları ve bakım ekipleri de bu veri parçasında kendi numarasını bulundurabilirler.

Hat Tanımı (TrackID, TID): Aracın bulunduğu hattın bilgisidir. Özellikle hareketli araçlar yaklaşan bir cismin tehdit oluşturma durumunu bu bilgiyle takip edeceklerdir. Barınmaya giren araçlar bu verinin ilk bitini “1” yaparak buldukları hattı değiştirdiklerini bildirirler.

Konum (Position, PST): Aracın GPS üzerinden tespit edilen konum bilgisidir. Araçların aralarındaki mesafeyi hesaplamalarında kullanılır.

Hareket Hızı (MovementSpeed, MS): Aracın km/saat cinsinden hızıdır. Odometre üzerinden alınır.

Hareket Yönü (MovementDirection, MD): Hareketin pusula üzerindeki yönünü bildirir. Kuzey, Güney, Doğu, Batı yönlerindedir. GPS verisine göre belirlenen bu veri yaklaşma tipi seçiminde kullanılır.

Araç Uzunluğu (VehicleLength, VL): Aracın metre cinsinden uzunluğudur. Göreceli fren mesafesi hesabında kullanılır.

Anten Konumu (AntennaPosition, AP): Konum belirleyicinin aracın burnuna uzaklığının bilgisidir. Göreceli fren mesafesi hesabında kullanılır.

Fren Mesafesi (BrakingDistance, BD): Metre cinsinden aracın kendi hesapladığı duruş mesafesidir. Bu mesafeye aracın fren gecikmesi ve mevcut eğimi de dahildir.

CRC Denetimi (CRCCheck, CRC): Aracın kendi verisiyle birlikte, veri sağlığının alıcı tarafında denetlenebilmesi için eklenen son veri paketidir.

AAH verisinin hazırlanması için aracın ihtiyaç duyduğu, AAH içeriğinde bulunmayan başka veriler de mevcuttur. Bu veriler fren mesafesinin hesaplanmasında kullanılan Eğim bilgisi ve Fren yüzdesi'dir. Eğim bilgisi İvme Ölçer tarafından sağlanan a-bilgisidir, Fren yüzdesi de GUI kullanıcısı tarafından hareket öncesi girişi yapılan  $\phi$  fren yüzdesi değeridir.

### 3.2.1. Fren mesafesi

AAH sistemlerinde eylem konusunda en çok dikkat edilmesi gereken nokta fren eğrisinin hızlı ve doğru hesaplanmasıdır. Doğru hesaplanmış bir fren eğrisi güvenli sürüş alanını isabetli bir şekilde tahmin eder; dinamik olarak oluşturulabilen bir fren eğrisi ise ani değişimlere ayak uydurabilen esnek bir sistem sağlayacaktır. Diğer yandan, fren eğrisi hesabındaki hatalar yahut haddinden geniş toleranslar tehlike arz edeceği gibi, hızlı tepki vermeyen bir fren eğrisi esnekliği sistemin fiziksel şartlarda istenilen verimde işlemini engelleyecektir.

Araçları tek tip olmayan bir demiryolu sistemine uygulanması düşünülecek fren eğrisi hesabında şu değişkenler hesaba katılmalıdır:

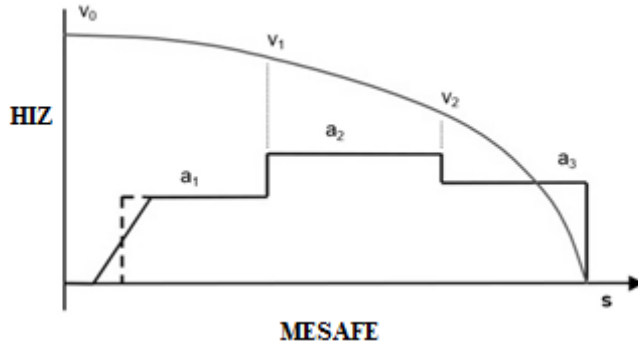
- Trenin toplam momentumu
- Hattın fiziksel özellikleri
- Trenin uygulayabileceği fren kuvveti
- Taşınan yükün dayanımı

Fren eğrisini hesaplayacak sistem hesabı doğru yapıp gecikmeleri hesaba katabilmeli, aracın taşıdığı yükün zarar görmesini engelleyici kararlar verebilmeli, devreye gireceği zamanı doğru seçebilmeli ve gereksiz durumlarda devreye girmekten –ve haddinden fazla fren gücü uygulamaktan- kaçınmalıdır. Kavramımız AAH olduğundan, fren eğrisi hesaplanan aracın bir başka araçla karşılaşma durumunda olduğu varsayılırsa; bir engelle karşılaşan demiryolu aracının fren eğrisinin hesaplanması için gereken bilgiler genel olarak şu şekildedir:

1. Tren uzunluğu (fren gecikmesini etkileyecektir)
2. Tren ağırlığı
3. Frenleme verimi (Sadece tamamen durmak için frenlemede geçerlidir)
4. Frenleme şekli (Gecikme ve performansı etkiler)
5. Hedefe olan mesafe
6. Hedefin kendi hızı

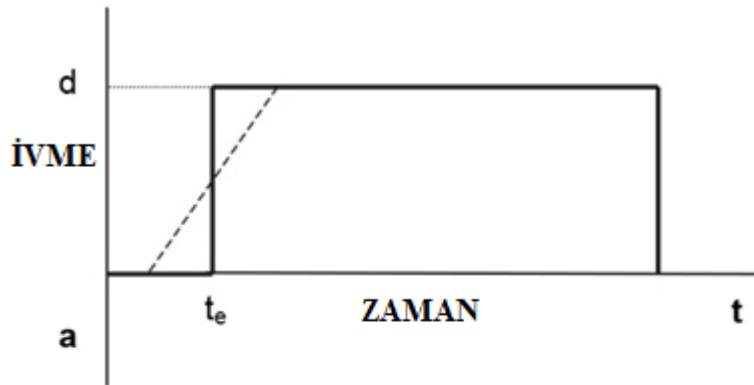
### 3.2.2. Fren mesafesi hesabı

Genel frenleme modelinde frenleme gecikmesi, Şekil 3.5’de görüldüğü üzere, doğrusal veya adımlı bir fren uygulama sistemi ve farklı hız periyotları için atanmış farklı frenleme güçleri bulunacaktır (Trenitalia, 2001):



Şekil 3.5. Genel frenleme modeli (Trenitalia, 2001).

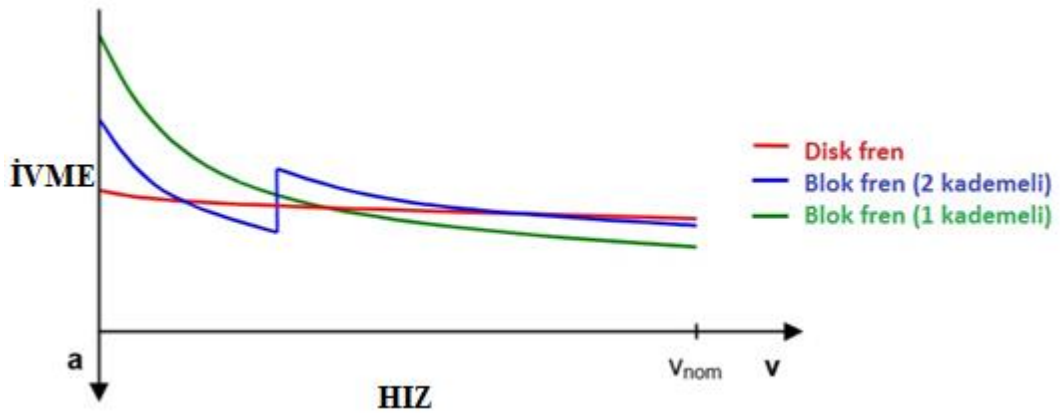
Bu genel modelin kısmi bir gösterimi olarak, tek adımlı ve tek yavaşlama seviyeli bir temel durumunu düşünelim:



Şekil 3.6. Temel frenleme modeli (Trenitalia, 2001).

Şekil 3.6’da gösterilen bu modelde  $t_e$  frenleme eşlenik süresi,  $d$  ise tam verime ulaşmış frenlemenin ters ivmesidir. Doğrusal veya eğrisel bir geçiş yerine adımsal bir hesap yöntemine başvurmak elde edilen sonuçta büyük bir fark oluşturmadığı gibi, hesaplamayı önemli ölçüde kolaylaştırdığı için tercih edilmektedir. Diğer yandan, bu model düz zemin durumunu ele almaktadır. Tamamlanmış modelin yavaşlamadan kaynaklanan gradyen’i de hesaba katması gerekmektedir.

Bir sonraki hesaba katılması gereken değişken, kullanılan farklı tiplerdeki frenleme sistemleridir. Aynı araçta bu fren tiplerinden birinin veya birkaçının bir arada kullanılması, aracın fren davranışını Şekil 3.7’deki gibi değiştirecektir.



Şekil 3.7. Farklı fren mekanizmalarının hız üzerine etkileri (Trenitalia, 2001).

Frenleme süresi  $t_e$ , mutlak gecikme ve yavaşlama hazırlanma süresinin yarısının eklenmesiyle elde edilir. Gecikme süresi frenin etkinleştirilmesiyle pnömatik frenlemenin devreye girmesi arasındaki süredir. Yavaşlama hazırlanma süresi de fren veriminin azami seviyeye ulaşmak için beklenmesi gereken süredir.

$L$  metre cinsinden trenin uzunluğu kabul edilirse, acil frenleme durumunda frenleme süresi iki farklı durum için aşağıda verilmektedir.

$$\text{Yolcu konumu: } t_e = 3,5 + 0,15 \left( \frac{L}{100} \right)^2 \quad (3.1)$$

$$\text{Yük konumu: } t_e = 13,5 + 0,04 \left( \frac{L}{100} \right)^2 \quad (3.2)$$

### 3.2.3. Frenlenmiş ağırlık yüzdesi ile tam frenlemede yavaşlama arasındaki ilişki

Frenlenmiş ağırlık yüzdesi, bir tren için frenlerin ne kadar verimli çalıştığının ölçütüdür. Bu kavram üzerine inşa edilmiş durma formülü şu şekilde ifade edilir:

$$S = \frac{C}{\lambda + D} \quad (3.3)$$

Burada  $S$  durma mesafesi,  $\lambda$  frenlenmiş ağırlık yüzdesi,  $C$  ve  $D$  de UIC normlarında belirlenmiş başlangıç hızına bağlı katsayılardır (UIC, 2004). Pratik uygulama ihtiyaçları nedeniyle bu formül şu şekilde düzenlenmiştir:

$$S = \frac{C \cdot V^2}{\lambda + D} \quad (3.4)$$

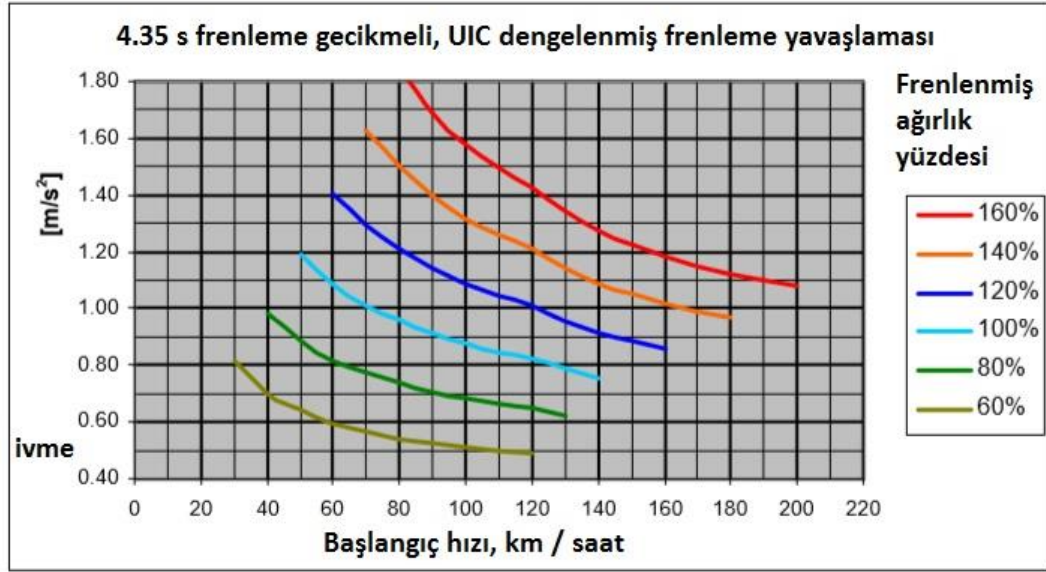
Burada  $V$  frenleme başlangıcındaki hız olup,  $C$  nominal hızlardan daha farklı olan ilk hızlar için interpolasyonu daha kolay olan yeni bir katsayıdır [28].

Frenlerin çevre koşullara bağlı olarak ulaşabildiği azami performans olan dengelenmiş frenleme boyunca gerçekleşen yavaşlama ivmesi şu formülle hesaplanır:

$$d = \frac{\left( \frac{V}{3.6} \right)^2}{2 \left( S - t_e \cdot \frac{V}{3.6} \right)} \quad (3.5)$$

Bu denklemde ise ilk hesaplamadaki  $S$  mesafesi  $t_e$  frenleme süresi ile kısaltılmıştır. Farklı frenlenmiş ağırlık yüzdeleri ve başlangıç hızlarına göre frenleme yavaşlamasındaki değişiklik Şekil 3.8'de gösterilmiştir.





Şekil 3.8. UIC / ERRI tablolarına göre hesaplanmış tam frenleme yavaşlama ivmeleri (Trenitalia, 2001).

İlk frenleme hızına bağlı farklı yavaşlama değerleri aynı UIC frenlenmiş ağırlık yüzdesine karşılık geldiğinden, bu parametrelerin birbirlerine nasıl bağıntılanacağı konusunda en uygun nominal koşulların seçilmesi önemlidir.

Mümkün olan en uygun çözümler arasında, 1000 metrede durma durumu seçilmiştir, zira UIC normlarında uygulama konusundaki ölçüt bu olup farklı fren düzenekleri için daha uygulanabilir. Bu kıstas üzerinden, frenlenmiş ağırlık yüzdesi ve tam fren yavaşlaması arasında bir bağıntı kurmak mümkündür. Bu koşulun sağlanması için dört adımlık bir işlem uygulanır:

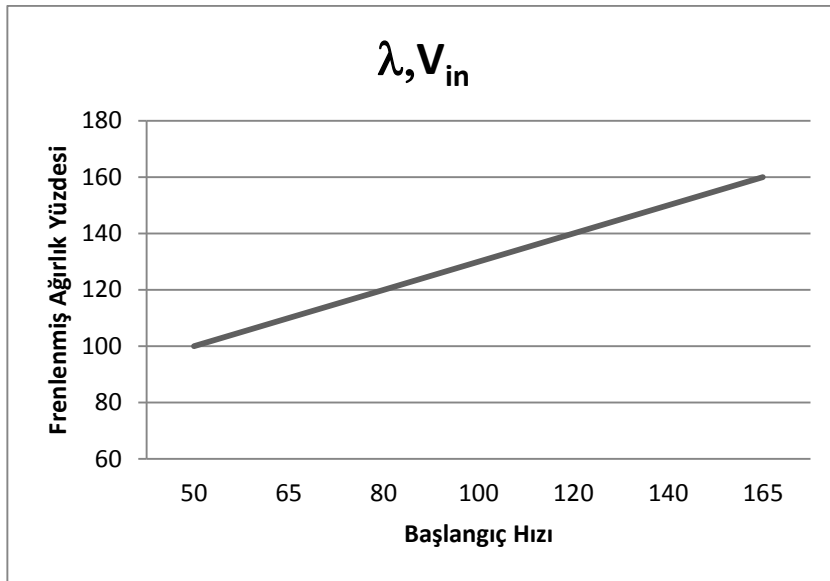
- i. 100-160 km arası ilk hızlar için 1000 metrede durmaya uygun frenlenmiş ağırlık yüzdesinin hesaplanması,
- ii. Bu ilk hızlar için asgari frenleme süresi de hesaba katılarak azami yavaşlama ivmesi değerlerinin hesaplanması,
- iii. Yavaşlamayı tarif eden lineer regresyonun frenlenmiş ağırlık yüzdesinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması,
- iv. Belirli bir hız sınırının üzerinde bu temel yavaşlama oranının daha basit bir değere indirgenmesinin hesaplanmasının sağlanması.

Genel olarak frenleme gecikmesi  $t_e$  asgari 3,5 saniye kabul edilmiştir; 300 metrelik bir nominal uzunluğa sahip bir trenin ise 4,35 saniye frenleme gecikmesi olduğu kabul edilir. Bu iki durum için frenlenmiş ağırlık yüzdesi ile yavaşlama oranına arasındaki doğrusal bağıntılar şu şekildedir:

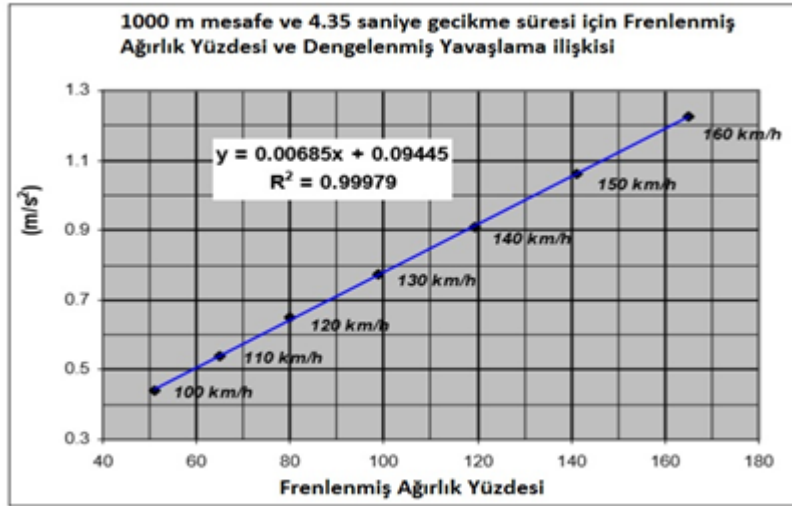
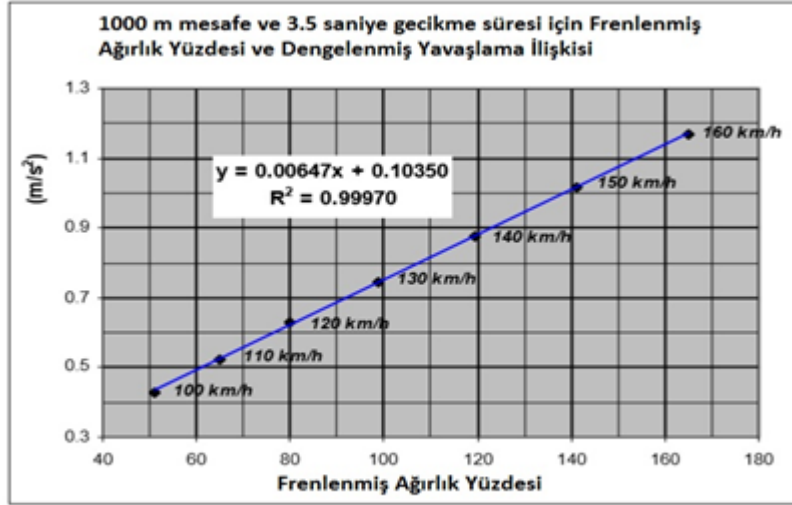
$$1.\text{Durum: } d_b = 0,00647 \cdot \lambda + 0,103 \quad (3.6)$$

$$2.\text{Durum: } d_b = 0,00685 \cdot \lambda + 0,094 \quad (3.7)$$

Farklı başlangıç hızları için uygun frenlenmiş ağırlık yüzdeleri Çizelge 3.9'da görülmektedir; buna karşılık frenlenmiş ağırlık yüzdelere ait doğrusal eğri Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Başlangıç Hızı – Frenlenmiş Ağırlık Yüzdesi çiftleri (Trenitalia, 2001).



Şekil 3.10. (a) Farklı Frenlenmiş Ağırlık Yüzdeleri ve (b) Gecikme Süreleri için Yavaşlama Oranlarının grafikleri (Trenitalia, 2001).

Farklı fren tiplerinin davranışlarını hesaba katmak için, hız eşik değerinin altında sabit bir yavaşlama değeri kabul edilen frenleme gücü, hız eşik değerinin üzerinde kademeli olarak etkisi azalacak şekilde uygulanabilir.

Yukarıda bahsedilen iki farklı durum için denkleme fren performansı da eklenmek istenirse şu şekilde bir sonuç çıkacaktır:

$$1.\text{Durum: } d_b = (0,00647 \cdot \lambda + 0,103) \times [1 - 0,0021 \cdot (V - V_{thr})] \quad (3.8)$$

$$2.\text{Durum: } d_b = (0,00685 \cdot \lambda + 0,094) \times [1 - 0,0021 \cdot (V - V_{thr})] \quad (3.9)$$

$V_{thr} = 16,17 \lambda^{0,443}$  denklemi eşik değerinin belirlenmesinde kullanılır.

Elbette bu denklemin elde edeceği değerler tamamen pratik performansla örtüşmeyecektir; her ne kadar bu şekilde hesaplanan değerler yeterince düşük hata payına sahip olsa da, denklemin içerdiği değişken sayıları arttırılabileceği gibi, fren performanslarına dair hazır tablolar da kullanılabilir.

#### **3.2.4. TCDD’de kullanılan fren hesabı**

Bir başka yaklaşım da ülkemizde TCDD’nin ortaya koyduğu 700 m’lik güvenli duruşa dayalı tren hazırlığının kullanılmasıdır. Herhangi bir amaçla sefere çıkacak olan araçların fren donanımları aracın çıkabileceği azami hıza ve taşıdıkları yüke göre, 700 metrenin altında duruş sağlayacak bir fren yüzdesine sahip olurlarsa hareket izni alabilirler. Bu, hesap açısından sistem verimliliğini önemli oranda düşürse de, halen güvenli bir varsayım olarak kabul edilir. TCDD’nin kullandığı Fren Yüzdesi Cetveli Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. 700 metre fren mesafesi için TCDD Fren Yüzdesi başvuru tablosu (TCDD, 2014).

		I: Seri tesirli frenle çalışan trenler için																				
		II: Yavaş tesirli frenle çalışan trenler için																				
		SÜR'AT (km/s)																				
Meyil 0/00	Fren nevi	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
		FREN YÜZDESİ																				
0	I	6	6	6	6	8	11	14	18	23	28	34	41	48	57	66	77	88	95	104	114	125
	II	6	6	6	6	8	11	15	20	26	33	41	50	62	76	93	-	-	-	-	-	-
1	I	6	6	6	7	9	12	15	19	24	29	35	42	50	58	68	78	90	96	105	116	128
	II	6	6	6	7	9	12	16	21	27	34	42	53	64	78	95	-	-	-	-	-	-
2	I	6	6	6	8	10	13	16	20	25	31	37	44	51	60	69	80	91	98	107	118	130
	II	6	6	6	8	10	13	18	23	29	36	44	54	66	80	97	-	-	-	-	-	-
3	I	6	6	7	9	11	14	18	22	27	32	38	45	53	62	71	82	93	100	109	120	133
	II	6	6	7	9	11	15	19	24	30	37	46	56	68	82	99	-	-	-	-	-	-
4	I	6	6	8	10	12	15	19	23	28	34	40	47	54	63	73	83	94	101	111	121	-
	II	6	6	8	10	12	16	20	26	32	39	48	58	70	85	-	-	-	-	-	-	-
5	I	7	7	9	11	13	16	20	24	29	35	41	48	56	65	74	85	96	103	112	123	-
	II	7	7	9	11	14	17	22	27	33	41	50	60	72	87	-	-	-	-	-	-	-
6	I	7	8	10	12	15	18	21	26	31	36	43	50	58	67	76	87	97	105	114	125	-
	II	7	8	10	12	15	19	23	28	35	42	51	62	74	89	-	-	-	-	-	-	-
7	I	8	9	11	13	16	19	23	27	32	38	44	52	59	68	78	89	99	106	116	127	-
	II	8	9	11	13	16	20	24	30	36	44	53	64	76	91	-	-	-	-	-	-	-
8	I	9	10	12	14	17	20	24	29	34	39	46	53	61	70	81	91	100	108	118	129	-
	II	9	10	12	14	17	21	26	32	38	46	55	66	78	93	-	-	-	-	-	-	-
10	I	11	12	14	17	19	23	27	31	37	43	49	56	64	74	83	94	103	111	121	133	-
	II	11	12	14	17	20	24	29	35	41	49	59	70	83	98	-	-	-	-	-	-	-
12	I	13	14	16	19	22	25	29	34	40	45	52	60	68	77	87	97	107	-	-	-	-
	II	13	14	16	19	23	27	32	38	45	53	63	74	87	-	-	-	-	-	-	-	-
14	I	15	17	19	21	24	28	32	37	42	49	55	63	71	80	91	100	-	-	-	-	-
	II	15	17	19	22	26	30	35	41	48	56	66	78	91	-	-	-	-	-	-	-	-
16	I	17	19	21	24	27	31	35	40	45	52	58	66	75	84	94	103	-	-	-	-	-
	II	17	19	21	24	28	32	38	44	52	60	70	82	95	-	-	-	-	-	-	-	-
18	I	19	21	23	26	29	33	38	43	48	55	62	69	78	87	97	107	-	-	-	-	-
	II	19	21	23	27	31	35	41	47	55	64	74	86	99	*	-	-	-	-	-	-	-
20	I	21	23	25	28	32	36	40	46	51	58	65	73	81	91	100	-	-	-	-	-	-
	II	21	23	26	29	33	38	44	51	58	67	78	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	I	23	25	28	31	34	38	43	48	54	61	68	76	85	94	104	-	-	-	-	-	-
	II	23	25	28	32	36	41	47	54	62	71	82	94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	I	26	29	31	34	38	42	47	53	59	66	73	81	90	99	-	-	-	-	-	-	-
	II	26	29	32	36	40	46	52	59	67	76	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

700 metrelik bir güvenli duruş mesafesi hedeflendiğinde bu tabloya başvurularak, aracın yüküne kıyasla araçtaki fren gücünün bu verimi sağlaması beklenir. Karşılaşılabilecek eğim ve aracın fren tipi de göz önünde bulundurularak, araçta bulunması gereken asgari fren kabiliyeti belirlenir.

Bu noktada aracın kendi asgari yavaşlama gücü şu şekilde hesaplanır:

$$a_f = \frac{\phi+7}{151} \quad (3.10)$$

Burada  $a_f$  aracın frenleme kabiliyetidir;  $\phi$  ise aracın hareketten önce belirlenmiş fren yüzdesidir.

Eğimli bir arazide seyir etmekte olan bir aracın duruş mesafesi de şu şekilde hesaplanır:

$$S = \frac{V^2}{26(a_f+a_r)} \quad (3.11)$$

Burada  $a_r$ , yüzde cinsinden eğimdir. Hesaplanan  $S$  değerine 3 saniyelik bir fren gecikmesi için ( $3 \cdot V$ ) kadar bir ekleme yapılmalıdır; zira fren uygulanmaya başlayana kadar araç 3 saniye boyunca hareketine devam edecektir.

Örneğin yüzde 5 yukarı eğimli bir hatta 70 km/saat hızla hareket etmekte olan, %80 fren yüzdesine sahip bir raylı sistem aracının durma mesafesi için  $a_f$  değeri  $\frac{80+7}{151} = 0,576$  olarak hesaplanır. Durma mesafesi ise  $\frac{70^2}{26(0,576+0,05)} = 300,98$  metredir. Bu mesafeye 3 saniyelik fren gecikmesi olan  $\frac{70000}{1200} = 58,33$  metre de eklenirse toplam fren mesafesi 359,31 metre olarak bulunur.

### 3.3. AAH Veri Paketi

AAH verisinin oluşturulması için gerekli olan veriler toplandıktan sonra bu verinin sağlıklı bir şekilde saklanabilmesi ve paylaşılabilmesi için tek parçadan oluşan bir AAH paketine dönüştürülmesi gerekir. Veri paketini oluşturan bazı girdilerin üretimi dış ortama bağımlıdır; bu veriler aynı zamanda her veri paketi oluşturulduğunda yeniden denetlenmesi gereken, önemli verilerdir. Örneğin konum verisi tamamen GPS girdisine bağlı olan, ve yukarıda açıklandığı üzere, çarpışma tehlikesinin hesaplanmasında kullanılan bir girdidir.

Ancak kapalı hava, derin yarmalar ve tüneller gibi uydu konumlandırma sinyallerini engelleyen coğrafi koşullar bu verinin temin edilmesine engel olur. Bu gibi girdiler ortam koşullarından etkilenmeye müsaitlerdir; hava ve yol koşulları GPS, odometre ve ivmeölçer girdilerini sıklıkla kesintiye uğratabilir. Bu kesintilerin ortaya çıkması beklenir bir durum olacağından, karşı önlemlerin alınması gerekir.

Sistem çalışma esnasında verisi kesilmesi muhtemel donanımlarda kesintiyle karşılaşırsa, öngörölmüş bir tolerans dâhilinde kaybı telafi etmeye çalışır. Konumlandırma sağlayan GPS verisinin kesilmesi durumunda araç Odometre verisini kullanarak Konum veri parçasını güncelleme yoluna gider. Ancak GPS kesintisi sürdükçe emule edilmiş bu veri güvenilirliğini yitirmeye başlar. Bu yüzden bir veri kesintisi tolerans süresi belirlenmelidir.  $PST_t$ ,  $t$  anındaki konumu gösterebilir ve tolerans 10 saniyeden küçük seçilsin. Buna göre veri kesintisi olduğunda konum eşitlik (3.12)'den hesaplanır.

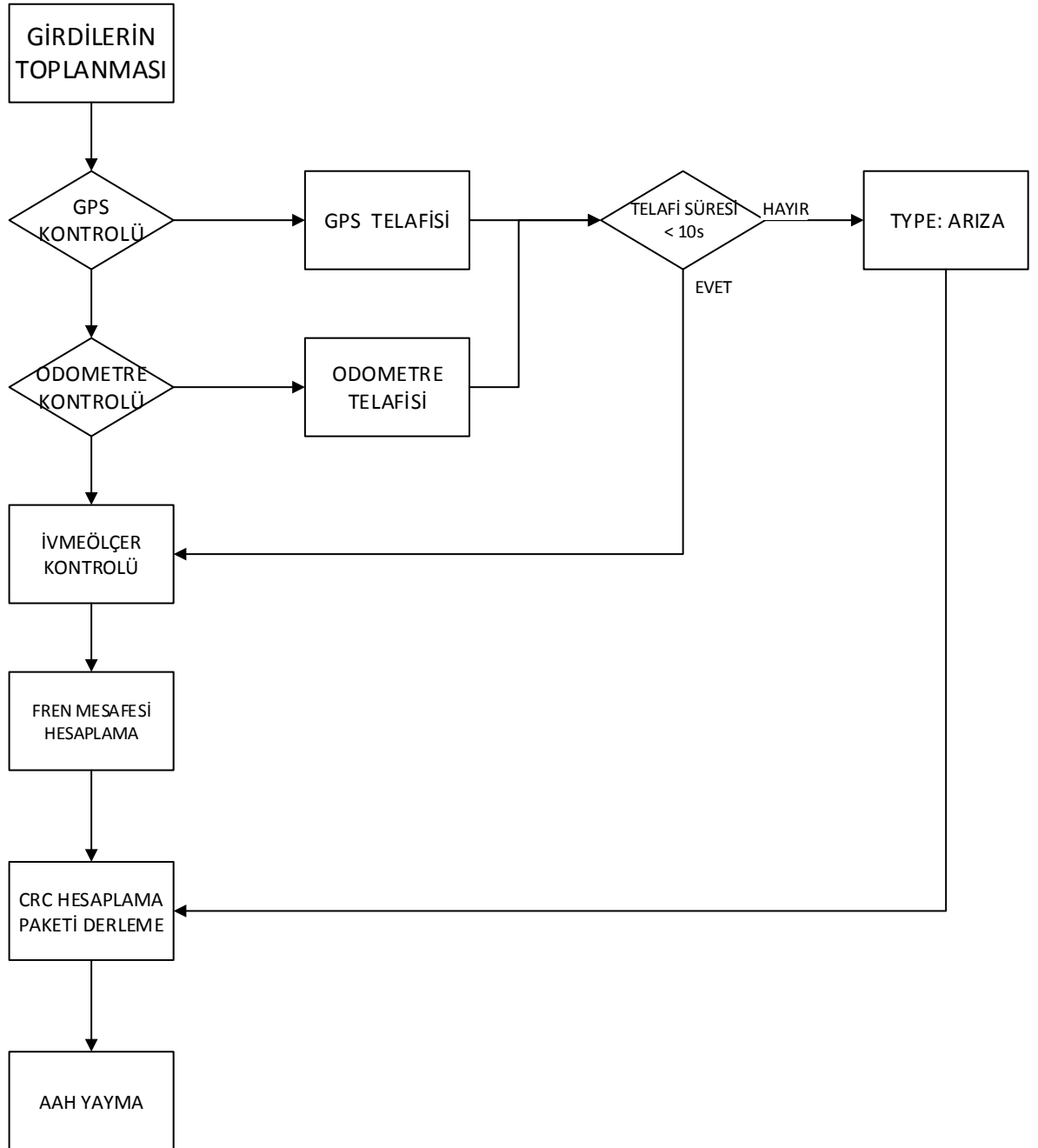
$$PST_t = PST_{t-1} + \frac{MS}{3,6} ; t < 10 \quad (3.12)$$

Burada  $MS$  aracın km/s olarak hızını göstermektedir. Benzer şekilde, hız verisinin kaybında da son konum verisi kullanılarak  $t$  anındaki hız verisi  $MS_t$  eşitlik (3.13)'den tahmin edilir.

$$MS_t = |PST_t - PST_{t-1}| \times 3,6 ; t < 10 \quad (3.13)$$

Aynı anda bu iki verinin de kesintiye uğraması veya tolerans süresinin aşılması durumunda araç konum ve/veya hız verisini sağlıklı bir biçimde veremez hale gelmiş olur; bu sebepten dolayı çevredeki araçların menzilleri dâhilinde arızalı bir araç bulunduğunu bilmeleri için İleti Türü verisi “Arıza” ya çevrilmelidir. Bu yöntemi gösteren akış şeması Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

İvmeölçer girdisinin kesintiye uğraması durumunda ise araç fren mesafesini sağlıklı bir biçimde hesaplayamaz. Böyle bir durumda ivme ölçer verisi, aracın fren mesafesini en uzatıcı şekilde etkileyecek değerde kabul edilir. Ülkemiz demiryolu ağlarında karşılaşılabilecek muhtemel azami eğim 0,015 olduğundan, kesinti durumunda  $a_r$  değeri  $-0,15$  kabul edilir.



Şekil 3.11. AAH verisi hazırlama için akış diyagramı.



### 3.4. Çarpışma Uyarı İçin Tehdit Algılama

AAH verisini gönderen araç diğer yandan gelen veriyi değerlendirmeye devam etmektedir. Gelen veride ilk yapılması gereken işlem CRC kontrolüdür. Gelen verinin CRC parçasında bir sağlama hatası tespit edildiğinde, Araç 1 menzilineki nesnenin ne olduğundan tam olarak emin olamayacaktır; veri bozulması İleti Türü'nde, Konum'da veya Hat Tanımı'nda, veya başka herhangi bir veri parçasında olabilir. Bu yüzden CRC hatasıyla karşılaşan Araç 1 menzilineki bu nesnenin bir Arıza olduğunu kabul etmelidir. Arıza ile karşılaşan sistem aracın sürücüsüne, daha önceden belirtildiği üzere, hız düşümü yapma önerisinde bulunmalıdır.

CRC sağlamasında bir sorunla karşılaşmayan AKB gelen verinin yapısal bütünlüğünden emin olmuş bir vaziyettedir; bu durumda ilk olarak inceleyeceği veri parçası İleti Türü olmalıdır. Bu şekilde, alınan verinin kendi haberleşmesine ait bir veri olup olmadığını denetleyeceği gibi, menzildeki nesnenin durumuyla ilgili bir ön bilgi sahibi olarak, bu nesneye nasıl davranılması gerektiği ile ilgili alt-algoritmanın da seçimini yapar. Alınan verinin kendi haberleşmesine ait olup olmadığını denetlenmesi, etkileşim yoluyla haberleşme sistemine giren verinin filtrelenmesini sağlayarak sistemi zaafa uğratabilecek yabancı verinin ayıklanmasını sağlar.

İleti türü denetlemesiyle tespit edilen veri aracın kendi haberleşmesine ait bir veriye, ileti sürümü denetimi yapılır. Bunun amacı araçların ileride yeni bir ileti düzeniyle donatılması halinde ortaya çıkabilecek karışıklığı gidermektir. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları'nın elinde 900'e yakın çekici özelliğe sahip araç vardır (TCDD, 2014). Bir yazılım güncellemesi yapılacak olduğunda, bütün bu araçların yazılım güncellemesi alabilecekleri bir merkeze intikal etmeleri mümkün olmayacağı gibi, bütün araçların kısa bir sürede güncel yazılımla donatılmaları uzun sürecektir. Bu süre zarfında, farklı ileti sürümleri kullanan araçlar birbirleriyle karşılaştıklarında veri paketinin her bir baytı farklı bir veri parçası için ayrılmış olabilir. İleti sürümü bu karışıklığı ortadan kaldırmak için ilk veri paketinin ileti sürümü olarak, ilk ileti paketinin bayt cinsinden uzunluğu olan 29 rakamını kullanır. Bu versiyondan sonra kullanılacak bütün ileti sürümleri, bu 29 baytlık veriden bir parça çıkarılmadan sonrasına eklenmelidir. Örneğin veriden bir baytlık bir veri parçası bir daha kullanılmayacak olup, fazladan iki baytlık bir veri eklenecek olduğunda, yapılacak

olan değişiklik ileti sürümünü  $29 - 1 + 2 = 30$  şeklinde bir iletim sürümü değildir. Kullanılmayan ileti parçası eski yerinde kalacak, 29 baytın ucuna iki baytlık veri eklenecektir. Buradan hareketle, yeni ileti sürümünün  $29 + 2 = 31$  olması gerekecektir.

Farklı bir ileti sürümüyle karşılaşan araç eğer ilerideki aracın ileti sürümü kendisinden fazlaysa, karşılaştığı verinin kendine yabancı ek parçasını yok sayarak, verinin kendi düzeneğinde tanımlı kısmını okur.

İleti sürümünün de başarıyla seçildiği noktada, karşılaşılmış nesneye uygulanacak alt-algoritmanın seçilmesi için, tespit edilen nesne tipi, önceden belirlenmiş dört araç tipinden birine tasnif edilir: Acil Durum, Arıza Durumu, Sabit Cisim, Hareketli Cisim.

Acil durumla karşılaşan Araç 1 ilk iş olarak verinin geldiği konum bilgisini değerlendirir.

$|PST1 - PST2|_t - |PST1 - PST2|_{t-1}$  işleminin sonucu yaklaşma durumunu bildirecektir. Burada PST1 Araç 1'in konumunu,  $t$  ise zaman bilgisini temsil etmektedir. Kısaca acil durum noktası ile aracın arasındaki mevcut mesafeyi, aynı mesafenin bir saniye önceki durumuyla kıyaslayarak pozitif sonucu uzaklaşma, negatif sonucu yaklaşma kabul eder. Aracın acil durum noktasından uzaklaşmakta olduğu sonucuna dahi ulaşılsa, araç menzilde bir acil durum olduğu bilgisini Araç Grafik Arayüzü'nden ilan edecektir. Eğer acil duruma yaklaşıldığı sonucu elde edildiyse, bununla ilgili yaklaşma uyarısı aynı arayüzde ilan edildikten sonra yaklaşmanın herhangi bir tehdit oluşturup oluşturmadığı denetlenecektir. Burada tehdit seviyesi ( $BDZ$ ) Acil Durum'un algılandığı konuma olan mesafe ( $PST1 - PST2$ ) ile aracın o anki fren mesafesi ( $BD$ )'den tespit edilir.

$$BDZ = \frac{|PST1 - PST2|}{BD} \quad (3.14)$$

Bu denklemde elde edilen  $BDZ$  değeri eğer 2'den fazla ise tespit edilen yaklaşmanın henüz bir tehlike teşkil etmediği kabul edilir.  $BDZ$  1,2 ile 2 arasında ise sürücünün dikkatinin çekilmesi gereken tehlikeli bir yaklaşma söz konusudur.  $BDZ$  1,2'den daha küçük bir

noktaya ulaşmış ise kritik yaklaşma durumu oluşmuştur. Buna göre aşağıdaki tehdit seviyeleri belirlenmiştir.

$$\begin{array}{ll} \textit{Tehlikesiz Yaklaşma,} & BDZ \geq 2 \\ \textit{Tehlikeli Yaklaşma,} & 2 > BDZ > 1,2 \\ \textit{Kritik Yaklaşma,} & 1,2 \geq BDZ \end{array}$$

Eğer menzildeki cisim bir Arıza bilgisi vermekte ise, menzil dahilinde, hızı ve/veya konumu kesin olarak bilinemeyen bir araç var demektir. Bu durumda tehdidin seviyesi, arıza bilgisini paylaşan aracın Araç 1 ile aynı hatta olup olmadığının kıyaslanmasıyla belirlenir. Eğer nesne ile Araç 1'in Hat Tanımı bilgileri farklı ise durum tehdit olarak değerlendirilmemekle birlikte, durum Kullanıcı Grafik Arayüzü'nde ilan edilecektir. Eğer araçlar aynı hatta iseler, menzil içinde tehdit seviyesi belirlenemeyecek bir araç olduğu, bu duruma uygun düşen önlem olarak hız düşürme önerisiyle birlikte, Kullanıcı Grafik Arayüzü'nde bildirilecektir.

Menzildeki nesne bir sabit cisim ise, nesnenin bulunduğu noktada her an hatta beklenmedik bir nesne ortaya çıkabileceğinden dolayı, yaklaşma durumunda hız düşürme önerisi sunulmalıdır. Ayrıca, bu durumla ilgili bilgi de KGA'da verilmelidir.

Eğer menzile giren cisim bir trense, Araç 1'in kendi hareket durumuyla Araç 2'nin durumunu birlikte değerlendirmesi gerekir. Bu durumda ilk olarak kıyaslanması gereken veri parçası, aynı hatta olup olmadığının anlaşılması amacıyla, Hat Tanımı olmalıdır. Eğer Hat Tanımları aynı değilse, hat değişikliği olmadığı sürece herhangi bir tehlike ortaya çıkma ihtimali yoktur. Ancak eğer Hat Tanımları aynı ise, tehdidin daha detaylı incelenmesi gerekir. Bunun için ilk yapılması gereken, konumların değerlendirilerek, yaklaşma durumu olup olmadığının denetlenmesidir. Bu denetleme de aynı Acil Durum noktasına yaklaşmanın denetlenmesi gibi, bir saniye önceki konum farkı ile mevcut konum farkı değerlendirilerek yapılır.

Aynı hatta bulunup birbirine yaklaşmakta olduğu tespit edilen araçların tehdit belirlemede kullanılacak yaklaşımın belirlenmesi için önce yaklaşma tipi belirlenmelidir. Yaklaşma iki türlü olabilir: Karşılıklı yaklaşma veya aynı yönde arkadan yaklaşma. Bu iki durumun ayrımı basitçe Hareket Yönü veri paketlerinin karşılaştırılması aracılığıyla olur.

Eğer yaklaşan araçların hareket yönlerine ait bilgi farklıysa, bu araçlar karşı yönlerde birbirlerine doğru yaklaşmaktalar demektir. Bu durumda çarpışma tehdidinin tespiti için bir buluşma noktası tespit edilir. Bu nokta, iki araç aynı hızla hareketlerinde devam ettikleri durumda buluşacakları, bir önlem alınmazsa çarpışacakları noktadır. Araç 1'in çarpışma noktasına uzaklığı olan  $PSTY$  aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$PSTY = [|PST1 - PST2| - (AP1 + AP2)] \times \left(\frac{BD1}{BD2}\right) \quad (3.15)$$

Burada  $PST1$  ve  $PST2$  araçların konumlarını,  $AP1$  ve  $AP2$  araçların anten mesafesini ve  $BD1$  ve  $BD2$  araçların fren mesafelerini göstermektedir. Bulunan bu  $PSTY$  mesafesinin, Araç 1'in mevcut fren mesafesine oranından  $BDY$  yaklaşma seviyesi hesaplanır.

$$BDY = \frac{PSTY}{BD} \quad (3.16)$$

Eşitlik (3.16)'da hesaplanan  $BDY$  değerine göre dört tehdit seviyesi belirlenir. Bu durumda, karşıdaki araç da hareketli bir cisim olduğu için dördüncü bir tehdit seviyesi eklenmiştir. Elde edilen  $BDY$  değeri eğer 3'ten fazla ise tespit edilen yaklaşmanın henüz bir tehlike teşkil etmediği kabul edilir.  $BDY$  3 ile 2 arasında ise sürücünün takip etmesi gereken bir yaklaşma söz konusudur.  $BDY$  1,2 ile 2 arasında ise sürücünün dikkatinin çekilmesi gereken tehlikeli bir yaklaşma söz konusudur.  $BDY$  1,2'den daha küçük bir noktaya ulaşmış ise kritik yaklaşma durumu oluşmuştur. Buna göre aşağıdaki tehdit seviyeleri belirlenmiştir.

<i>Tehlikesiz Yaklaşma,</i>	$BDY \geq 3$
<i>Önemli Yaklaşma,</i>	$3 > BDY \geq 2$
<i>Tehlikeli Yaklaşma,</i>	$2 > BDY > 1.2$
<i>Kritik Yaklaşma,</i>	$1.2 \geq BDY$

Eğer yaklaşan araçların Hareket Yönü bilgileri aynıysa, yaklaşan araçlar aynı yönde hareket ediyor ve biri diğerini yakalamakta olmalıdır. Bu noktada ilk olarak hangi aracın önde, hangisinin arkada olduğu belirlenmelidir. Bu belirleme de araçların konum bilgileri ve hareket yönü değerlendirilerek yapılır. Örneğin, iki araç da Doğu yönünde hareket etmekte ise, konum verisi daha doğudan gelen araç önde seyir etmekte demektir. Eğer Araç 1 önde

gitmekteyse KGA tarafından bilgilendirilir; bu konuda araç sürücüsünün alabileceği önlemler aracın hızını artırmak veya arkadan yaklaşan araca telsizle ulaşmaya çalışmak gibi, Çarpışma Uyarı Sistemi'nin yetkinliği dışında kalan eylemlerdir.

Eğer Araç 1'in Araç 2'ye arkadan yaklaştığı tespit edildiyse durumun ciddiyeti belirlenir. Durumun ciddiyeti, çarpışma tehlikesinin seviyesi anlamındadır. Çarpışma tehlikesinin seviyesi, arkadan yaklaşan Araç 1'in, önden seyreden Araç 2'ye yetişmesi durumunun mevcut hareket durumuna yakınlığıdır. Bu yakınlığın belirlenmesi için mevcut fren mesafesi yerine, Araç 1'in Araç 2'ye göre göreceli fren mesafesinin hesaplanması gerekir.

$$BDR = \frac{(MS1-MS2)^2}{26(a_f+E)} + \frac{MS1}{1,2} \quad (3.17)$$

Burada  $BDR$  göreceli fren mesafesi, Araç 2 mevcut hız profilini korurken Araç 1'in fren uygulamaya başladığında, daha düşük olan Araç 2'nin hızına ulaşana kadar kat edeceği mesafedir. Elbette çoğu fren mesafesi hesabındaki gibi, bu hesapta da km cinsinden Hareket Hızı'nın 3 saniyede araca kat ettireceği mesafe de, metre cinsinden eklenmiştir. Bu mesafe aynı zamanda, çarpışmanın engellenmesi için fren yapmaya başlanması gereken kritik mesafedir. Bu fren mesafesi kullanılarak  $BDX$  fren mesafeleri oranı hesaplanabilir:

$$BDX = \frac{[|PST1-PST2|] - (AP1 + VL2)}{BDR} \quad (3.18)$$

Burada  $PST1 - PST2$  mutlak mesafe farkından, arkadan yaklaşan Araç 1'in Anten Mesafesi ve arkadan yaklaşılacak Araç 2'nin Araç Uzunluğu çıkarılarak etkin mesafe belirlenerek, göreceli fren mesafesi  $BDR$  ile orantılanmıştır. Elde edilen  $BDX$  değerinin tehdit seviyesi durumları aşağıda verilmektedir.

<i>Tehlikesiz Yaklaşma,</i>	$BDX \geq 3$
<i>Önemli Yaklaşma,</i>	$3 > BDX \geq 2$
<i>Tehlikeli Yaklaşma,</i>	$2 > BDX > 1.2$
<i>Kritik Yaklaşma,</i>	$1.2 \geq BDX$

### 3.5. Birden Fazla Nesneyle Karşılaşılması Durumu

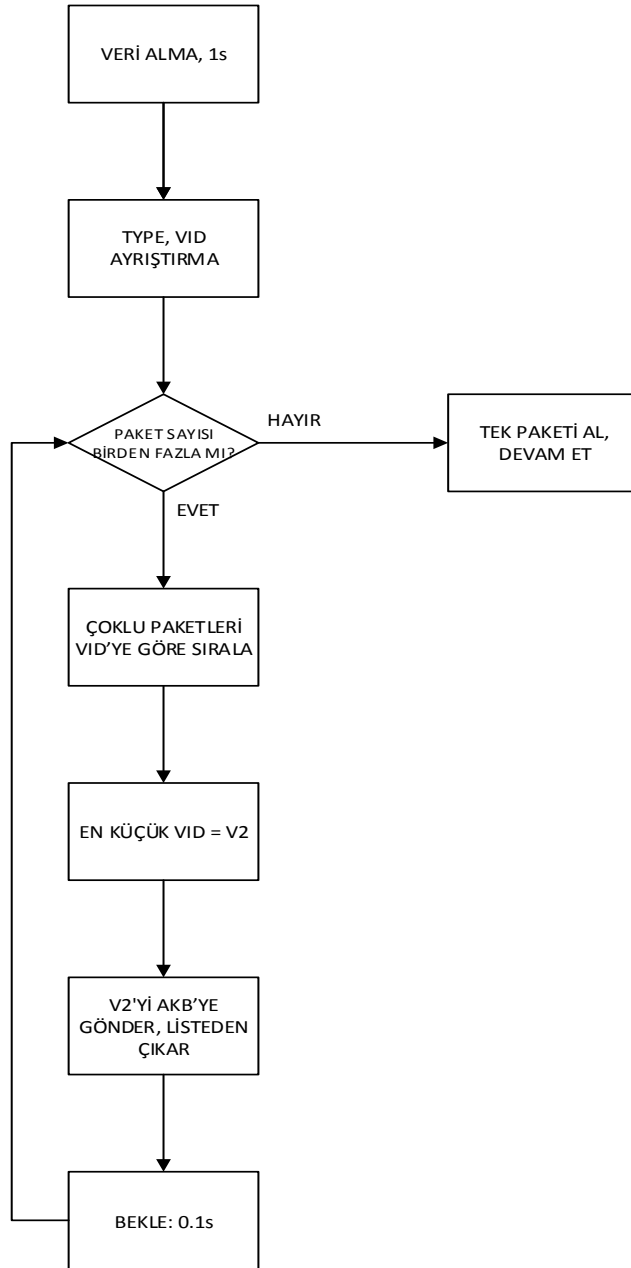
Gerçek bir ortamda çalışan sistemin özellikle yoğun trafik olan bölgelerde ve istasyon sahanlıklarında birden fazla araç veya nesneyle iletişim halinde bulunması beklenebilecek bir durumdur; böyle bir duruma hazırlıklı olunması gerekir. Aynı anda birden fazla araçtan AAH verisi alan bir Araç 1, daha önce karşılaşmadığı sorunlarla baş etmek durumundadır:

- Senkronizasyon sorunu: Daha önce sadece saniyede bir veri bekleyen araç artık her an başka bir araçtan yeni bir veri paketi almaya müsait olmalıdır; araçların verileri ve bu verilerin sırası birbirine karışmamalıdır.
- Öncelik belirlenmesi: Her nesne farklı bir muhtemel tehdit unsuru oluşturduğundan, araçlarla tehdit sırasına göre öncelikli olarak ilgilenilmesi gerekebilir.
- Ortak bir tepkinin seçilmesi: AKB tarafından eyleme dönüştürülecek davranışın trafiği en güvenli şekilde devam ettirebilmesi gerekir.
- Eylem hızının veri akışına yetişebilmesi: Tek bir karar mekanizması süresinde bütün olası tehditlerin değerlendirilmiş olması gerekir.

Bütün bu sorunların bertarafı için AKB sistemi tasarımı başlangıç aşamasında yeniden düzenlenmiştir. Buna göre öncelikle, tek bir aracın verisini alıp bir sonraki saniye o veriyi tekrar beklemek yerine Araç 1 her saniye boyunca gelen veriyi toplayacaktır; 1 saniye boyunca alınan bütün veriler Araç Tanımı bilgisine göre sıraya konarak 0.1 saniye aralıklarla AKB' ye gönderilir. Bu şekilde Araç 1 aynı anda 10 nesneyi karışıklık olmadan değerlendirebilir. Birden fazla aracın oluşturacağı bağımsız tehdit unsurlarından en yüksek derecede olanı eyleme dönüştürülürse, Araç 1 kendini en güvenli şekilde seyre devam etmeye sevk etmiş olur. Böylelikle araç en-kötü-durum-senaryosuna hazır olacaktır.

Eğer AKB'nin işlem hızı yeterliyse, 0,1 saniye olan paket sıralama süresi kısaltılarak aynı saniye içinde işleme alınabilecek nesne sayısı aynı oranda artırılabilir. Örneğin her araç verisi arasında 0,05 saniye verilmesi, aynı anda 20 aracın takip edilebilmesine olanak sağlayacaktır.

Araç 1 için birden fazla nesneyle baş etme yöntemine ait akış diyagramı Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Çarpışma uyarı- birden fazla nesne ile baş etme yöntemine ait akış diyagramı.

### 3.6. AAH Veri Kaybının Telafi Edilmesi

Bir aracın kendi donanım girdilerinde kesinti olabileceği gibi, benzer ortam koşulları engellemelerinden dolayı, menziline olan bir nesneyle AAH iletişimi de tamamen kesintiye uğrayabilir. Bu durumda veriyi alamayan araç veya araçlar, menzillerinde bir araç olduğundan tamamen habersiz kalabilirler.

İletişim halindeki iki aracın AAH bağlantısı iki şekilde kesilebilir: Araçlar birbiriyle doğal haberleşme menziline çıkabilirler, bu şekilde oluşan bir iletişim kesintisi herhangi bir çarpışma tehlikesi içermemektedir. Esas dikkat edilmesi gereken kesintiler, araçlar birbirinin menzilineyken, AAH verisini ileten aracın vericisinde veya veriyi alan aracın alıcısında yahut iletim ortamındaki bir sorundan ötürü AAH verisi akışının kesintiye uğramasıdır.

Öncelikle bu iki kesinti durumunun birbirinden ayırt edilmesi gerekir; aksi takdirde olağan sistem işleyişi arıza gibi algılanabilir. Bu iki kesinti durumu arasındaki en belirgin fark, tehlike arz eden kesintiler yaklaşma içerirken, dikkate alınmaması gereken kesintilerin uzaklaşma sonucu ortaya çıkmasıdır. Bu yüzden AAH verisi kaybı durumları, yalnızca yaklaşan bir nesne varken dikkate alınmalıdır.

Raylı sistem araçları çoğu zaman durumlarını seri bir şekilde değiştirme kabiliyetine sahip değildir; istenilen bir hıza ulaşılması uzun sürebilen bir eylemdir. Bu yüzden çok uzun sürmeyen AAH kesintileri, aracın kesintiden önceki durumu aynen devam ediyor varsayılarak karşılanabilir. Bunun için aracın kesintiden bir saniye önceki konumu ve hareket vektörü kullanılarak, mevcut konumu tahmin edilir:

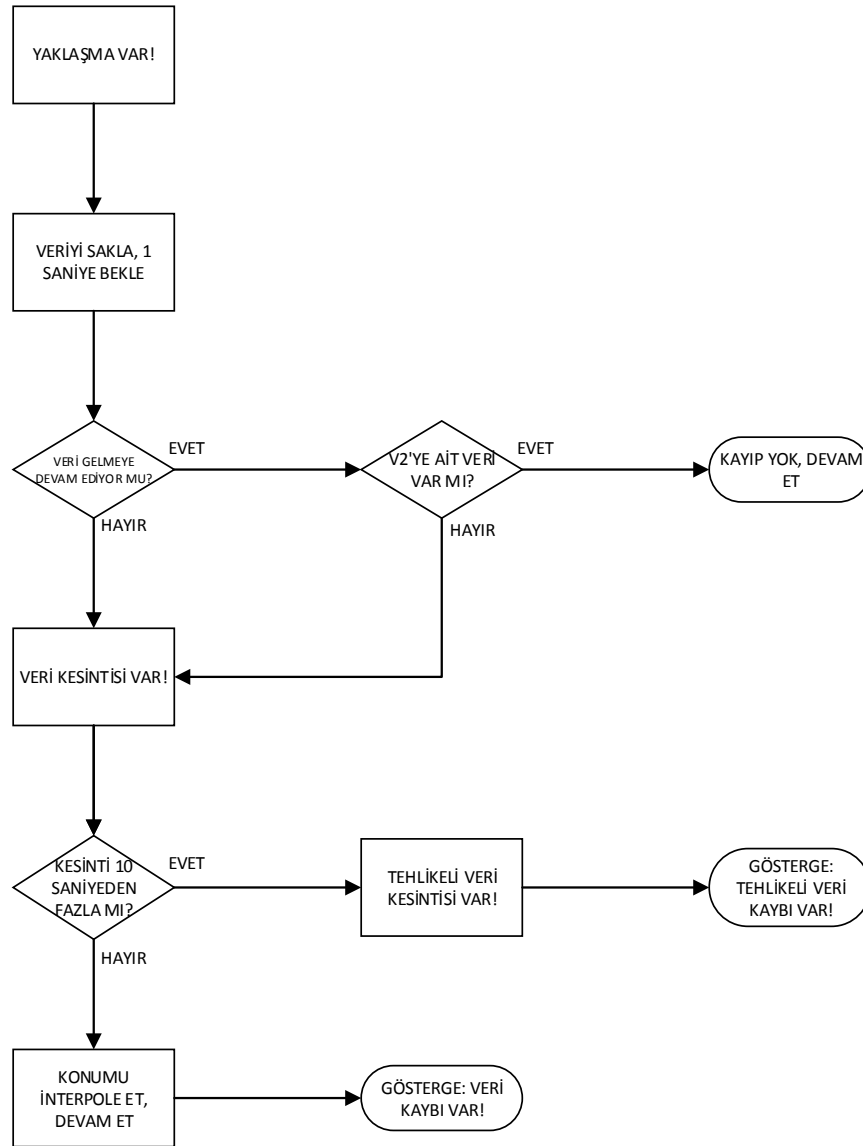
$$PST2_t = PST2_{t-1} + MS2_{t-1} \quad (3.19)$$

Mevcut tasarımda, bu şekilde Araç 2'nin konumu 10 saniye boyunca tahmin edilebilir. 10 saniye sonra aracın tahmin edilen durumu ile gerçek durumunun arasında önemli bir fark oluşmuş olması mümkündür; bu yüzden 10 saniye boyunca AAH verisi alınamamış bir nesne varsa menzilde arızalı bir araç olduğu varsayılacak ve KGA'dan ilan edilecektir.



Bu esnada, Araç 1 verisini alamadığı Araç 2'nin yerini tahmin etmeye devam ederken Araç 2'nin verisi yeniden gelmeye başlarsa Araç 1 tahmin sürecini bırakır ve Araç 2'nin kendi verisini işlemeye devam eder; bu sayede Araç 2'nin konumu ve hareket vektörü de güncel verilerle düzeltilmiş olur. Araç 2'nin verisi yeniden alınmaya başladığı anda, veri kesintisi sayacı sıfırlanır; zira tek bir sağlam veri paketi Araç 2'nin bilgilerinin düzeltilmesi için yeterlidir.

Veri kaybı durumunda sistemin nasıl davranması gerektiği 3.13'de özetlenmiştir.



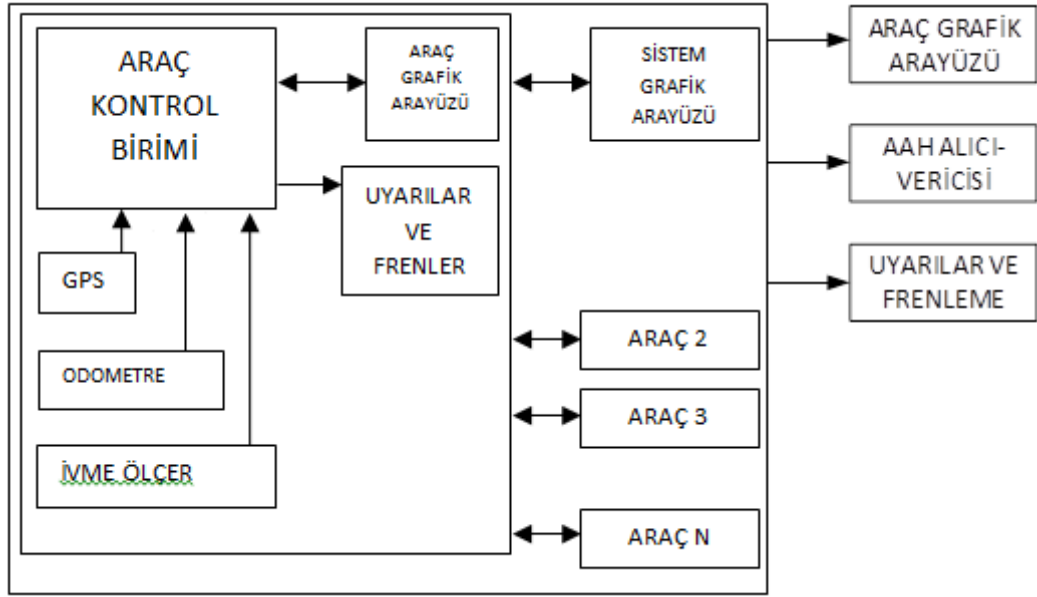
Şekil 3.13. AAH verisi kaybı ile baş etme yöntemine ait akış diyagramı.

#### 4. SİSTEM BENZETİMİ

Benzetim aşamasının gerekliliği, ortaya konacak son üründen önceki geliştirme maliyetlerinin azaltılması ihtiyacında ortaya çıkar. Bu konuda tasarlanan ürünün ilk denemeleri için benzetim uygulanması hem tasarlanan düzeneğin fiziksel deney ortamına sokulmadan denenmesini, hem de farklı senaryoların kolaylıkla benzetime uğratılması sayesinde, çabuklukla deney ortamı değişimini sağlar. Bu sayede son ürüne ulaşılan kadar hem zamandan, hem de maliyetten tasarruf sağlanır (Fennibay vd., 2010).

Sistemin benzetimi genel olarak tam-benzetim veya HIL (Hardware – In – the – Loop) Benzetimi olarak yapılabilir. Tam benzetimde tasarımın kendisi de, uygulama ortamı da sanal olarak oluşturulmuştur. HIL benzetimi ise, fiziksel ortama aktarılmış bir tasarımın sanal girdilerle test edilmesini sağlar. İki durumda da tasarlanan sistemin, gerçek ortamda ortaya çıkarması zor olan durumlarla test edilmesi kolaylaşmış olur.

HIL benzetiminden daha önce, tasarımın düzgün çalıştığından emin olabilmek donanım seçimini kolaylaştıracak ve test-düzeltilme döngüsünü sayı olarak azaltacaktır. Sadece yazılım ortamında yapılan bir tam-benzetim testi, yatırım maliyeti ve çoğu durumda zamandan tasarruf edilmesi anlamına gelmektedir. Bu yüzden sistemin fiziksel ortama geçirilmeden önce ilk olarak tam-benzetim ortamında test edilmesi, daha sonra fiziksel ürünün sanal girdilerle HIL benzetimine sokulması öngörülmektedir.



Şekil 4.1. Tam-benzetim için genel sistem mimarisi.

Tasarlanan sistemin fiziksel donanıma uygulanmadan önce HIL benzetimi ile test edilmesi, sistemin gerçek girdilere nasıl tepki vereceğini görmek açısından faydalıdır; bu sayede hem deneme-yanılma yoluyla test edilebilecek durumlarla ilgilenilebilir, hem de gözden kaçmış olabilecek yanlış donanım seçimleri tespit edilerek zaman ve yatırım maliyetinden tasarruf edilir. HIL Benzetiminden da daha önce, sistemin tam-benzetim ile test edilmesi mümkün ve faydalıdır. Bu tarz bir tam-benzetim, sistemin donanım kısmına hiç girmeden, yazılım ortamında test edilerek yeterliliğini ispatlayabilmesine olanak tanır. Mevcut tasarımda AKB'nin tam-benzetime sokulması AKB'nin vereceği tepkilerin test edilmesi için uygun bir seçenektir.

#### 4.1. Benzetim Arayüzü

Tez kapsamında geliştirilen benzetime ait arayüz Şekil 4.2.'te gösterilmiştir. Bu arayüz üzerinde ilgili senaryoları seçmeye yarayan bir seçim modülü, benzetim zaman ölçeğini değiştirebilmek ve benzetimi duraksatabilmek için bir modül, Araç 1 ve Araç 2'nin benzetim süresince AAH verilerinin izlenebileceği ve değiştirilebileceği bir modül bulunmaktadır. Araç 1'in KGA'sında göreceği bilgileri içeren bir gösterge ve benzetim ortamının genel görünümünün takip edilebileceği bir gösterge de mevcuttur. Tam-benzetim

ve HIL benzetim uygulamalarında test ortamının idare edilebilmesi için tasarlanmış olan BGA, aynı zamanda benzetim esnasında araç davranışının gözlemlenmesini de mümkün kılar. BGA’da önceden belirlenmiş senaryolar seçilebilir, ilgili seçim düğmeleri sayesinde başlangıç hızları ve hat seçimi gibi araç bilgileri benzetim başlamadan önce ve benzetim sırasında değiştirilebilir.

**ARAÇ KONTROL BİRİMİ (AKB) BENZETİM ORTAMI**

SENARYO AYARLARI	ARAÇ-1 PARAMETRELERİ	ARAÇ-2 PARAMETRELERİ	ARAÇ-3 PARAMETRELERİ	ARAÇ-1
Senaryo seçiniz... <input type="button" value="Senaryo Verisini Yükle"/>	İleti Türü <input type="text"/> İleti Sürümü <input type="text"/> İleti Zamanı <input type="text"/> Araç Tanımı <input type="text"/> Hat Tanımı <input type="text"/> Konum [m] <input type="text"/> Hareket Hızı [km/s] <input type="text"/> Hareket Yönü <input type="text"/> Araç Uzunluğu [m] <input type="text"/> Anten Konumu [m] <input type="text"/> Fren Mesafesi [m] <input type="text"/> Fren Yüzdesi [%] <input type="text"/>	İleti Türü <input type="text"/> İleti Sürümü <input type="text"/> İleti Zamanı <input type="text"/> Araç Tanımı <input type="text"/> Hat Tanımı <input type="text"/> Konum [m] <input type="text"/> Hareket Hızı [km/s] <input type="text"/> Hareket Yönü <input type="text"/> Araç Uzunluğu [m] <input type="text"/> Anten Konumu [m] <input type="text"/> Fren Mesafesi [m] <input type="text"/> Fren Yüzdesi [%] <input type="text"/>	İleti Türü <input type="text"/> İleti Sürümü <input type="text"/> İleti Zamanı <input type="text"/> Araç Tanımı <input type="text"/> Hat Tanımı <input type="text"/> Konum [m] <input type="text"/> Hareket Hızı [km/s] <input type="text"/> Hareket Yönü <input type="text"/> Araç Uzunluğu [m] <input type="text"/> Anten Konumu [m] <input type="text"/> Fren Mesafesi [m] <input type="text"/> Fren Yüzdesi [%] <input type="text"/>	VID <input type="checkbox"/> GPS <input type="checkbox"/> TID <input type="checkbox"/> ODO <input type="checkbox"/> MS <input type="checkbox"/> İÖ <input type="checkbox"/> EĞİM <input type="checkbox"/> ARIZA <input type="checkbox"/> <b>GÖSTERGE</b> <input type="checkbox"/> MENZİLDE CİSİM VAR <input type="checkbox"/> HIZ DÜŞÜRME ÖNERİSİ <input type="checkbox"/> YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> TEHLİKELİ YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> KRİTİK YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> FREN UYGULANIYOR
<b>BENZETİM ALANI</b>				
V1 Aracı <input type="checkbox"/> V2 Aracı <input type="checkbox"/> V3 Aracı <input type="checkbox"/>				Araç-1 İleti Alanı <input style="background-color: green; width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
Hat No 2 <input type="checkbox"/> Hat No 3 <input type="checkbox"/>				<b>ARAÇ-2</b> TYPE <input type="checkbox"/> VID <input type="checkbox"/> TID <input type="checkbox"/> MS <input type="checkbox"/> MD <input type="checkbox"/>
				<b>ARAÇ-3</b> TYPE <input type="checkbox"/> VID <input type="checkbox"/> TID <input type="checkbox"/> MS <input type="checkbox"/> MD <input type="checkbox"/>

Şekil 4.2. Benzetim arayüzü.

Arayüze eklenmiş diğer düğmeler vasıtasıyla benzetim esnasında Araç 1’in GPS, odometre, eğim girdileri kesintiye uğratılabilir, CRC verisi değiştirilebilir. Araç 2’nin AAH veri akışı kesintiye uğratılarak böyle bir durumda AKB’nin vereceği tepki de gözlemlenebilir. Duraksatma düğmesi sayesinde, istenilen durumda benzetim duraksatılarak anlık durumlar da incelenebilmektedir. Bu arayüzde bulunan fren yüzdesi düğmeleri sayesinde senaryolar başlatılmadan önce araçlara kullanıcı tarafından girilmesi gereken fren yüzdesi girdileri de eklenebilmekte, gerekli görüldüğünde değiştirilebilmektedir. Bu girdinin fiziksel üründe Kullanıcı Grafik Arayüzü’nde olması beklenmektedir.

BGA aynı zamanda araçların benzetim ortamındaki konumlarını ve hareketlerini gösteren bir grafik arabirimi içermektedir.

BGA sadece benzetimin bilgisayar ortamında idare edilebilmesi için tasarlanmıştır; fiziksel olarak gerçekleştirilmeyecektir.

#### **4.2. Benzetim Girdileri ve Çıktıları**

Benzetim ortamında kullanılan GPS verisi ilk aşamada tek boyutludur; bu yüzden benzetimde sağlanan GPS verisi aracın sayısal haritadaki başlangıç noktasına mutlak uzaklığını ifade etmektedir.

GPS verisi ortam koşullarından etkilenmeye müsait bir girdidir; bu yüzden AKB çalışma algoritması tasarlanırken bu verinin kaybına dayanıklılık sağlayıcı önlemler alınmıştır. Veri kaybının tam-benzetim ortamında test edilebilmesi için de bu durumu sağlayacak bir düğme bulundurulmuştur.

Tam-benzetim ortamında benzetim edilecek araçların hızları önceden belirlenmiştir; Benzetim Görsel Arayüzü üzerinden bu veri değiştirilebilir veya kesintiye uğratılabilir. Odometre verisi de kesintiye uğraması muhtemel verilerden birisi olduğundan hem veri kaybına dayanıklılık sağlayıcı önlemler alınmış, hem de benzetim ortamında böyle bir kesinti durumundaki davranışın test edilmesi için kesinti imkanı sağlanmıştır.

Benzetim ortamında ivmeölçer verisi sayısal harita üzerinden sağlanmaktadır. İlk aşamada sayısal haritada konumlandırılmış her istasyon sonrasında eğim değişmektedir.

GPS ve odometre gibi ivmeölçer girdisi de gerçek dünya koşullarında kesintiye uğrayabildiğinden, bu girdinin de kesintisine dayanıklılık sağlanmış ve benzetim ortamında kesintiye uğratılması mümkün hale getirilmiştir.

Tasarlanan sistemin vereceği çıktıların gözlemlenebilmesi için çıktılar da Sistem Grafik Arayüzü'nde (SGA) bulundurulmuştur. Araç Kontrol Birimi'nin verdiği kararlar ve

uyarılar ile birlikte gerçeğine uygun bir Kullanıcı Grafik Arayüzü de benzetim ortamında bulundurulmalıdır.

Tam-benzetim ortamının HIL benzetiminden en önemli farkı olan dış verilerin de benzetim ortamı tarafından sağlanması, bu verileri de benzetim eden yazılım dosyaları ve benzetim motoru vasıtasıyla yapılır. Her durumu karşılayacak sayıda ve çeşitte olan senaryolar için, her senaryonun başlangıç durumlarını belirten bir giriş AAH verisi hazırlanmıştır. Örneğin, ilk senaryoyu temsilen karşılıklı olarak birbirine yaklaşan iki araç düşünülmüştür. Bu senaryodaki Araç 1'in başlangıç değerleri şu şekildedir:

Senaryo 1:

Kalkış : Biçer

İstikamet : Beylikova

Hareket yönü : Batı

Hareket hızı : 60 km/saat.

Araç uzunluğu: 250 metre.

Araç kodu : DE 22001.

Tarih : 13 Haziran 2014, 13:10:33

Fren yüzdesi : 70

Kalkış noktası : 323500

Çizelge 4.1. Senaryo 1'deki Araç 1'e ait başlangıç AAH verisi.

TYPE	VER	T	VID	TID	PST	MS	MD	VL	AP	BD	CRC
1	1	6 haziran 2014 saat 13:10:33	1	3	323500	60	doğu-batı	250	2	500	1

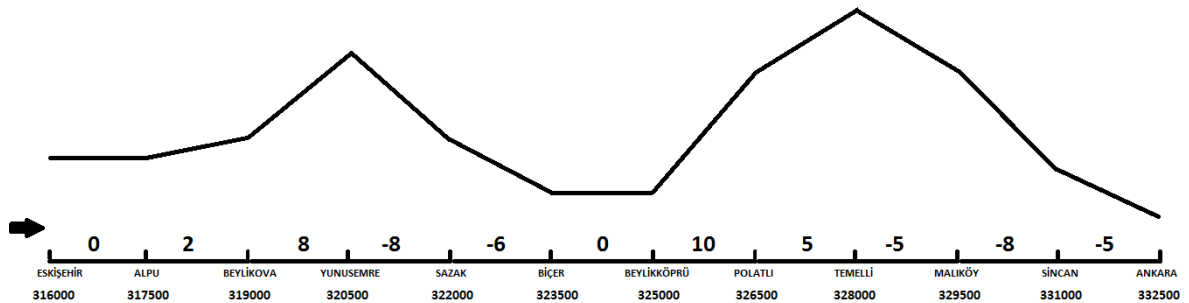
Çizelge 4.1'de görülen AAH verisindeki T zaman verisi senaryo çalışmaya başladıktan sonra benzetim ortamı tarafından her saniye 1 değer arttırılır. TYPE, VER, VID, VL, AP statik verileri aracın arızaya geçmesi gibi özel durumlar haricinde değiştirilmeden kalırlar. Dinamik veriler ise her biri farklı bir şekilde benzetim ortamı tarafından hesaplanarak, benzetim edilen AKB'ye girdi olarak iletilirler.

PST girdisi aracın başlangıç verisini takip edecek şekilde, aracın başlangıç hareket yönü ve hareket hızına göre arttırılır. Örneğin 323.500 metre noktasında, doğu-batı yönünde 60 km/saat hızla hareketine başlayan Araç 1'in bir sonraki PST girdisi  $323500 - \left(\frac{60}{3,6}\right) = 323.484$  metre olacaktır.

Hat Tanımı bilgisi gerçek ortamda bir barınma tuşuna sahip olacağından, SGA'da bulundurulacak bir "barınma tuşu" ile değiştirilebilecektir. Listede bulunabilecek diğer yan hatlarla karışmaması için, bu tuşun işlevi Hat Tanımı bilgisinin başındaki 0 bitini 1 yapmak olacaktır.

Hareket Hızı bilgisini sağlayan Odometre girdisi, bir BGA'da bulunan hız arttırma-azaltma tuşlarıyla müdahale edilmediği sürece, bir saniye önceki Hareket Hızı bilgisini kullanmaya devam edecektir.

İvmeölçer girdisi ise benzetim ortamı tarafından, aracın konumuna göre belirlenir. Benzetim haritasının farklı bölgeleri için farklı eğimler belirlenmiştir. Senaryonun uygulanmasının kolaylaştırılması için her sanal istasyonun arasındaki mesafe 1500 metre olarak belirlenmiştir. Hazırlanan benzetimde yükselti, eğim ve mesafe değerleri Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Senaryolardaki istasyonların referans mesafeleri ve aralarındaki eğimlere göre yükselti değişimleri.

Fren yüzdesi gibi diğer veriler benzetim ortamına haricen girilmelidir. Fren Mesafesi ise alınan bütün hareket verisi kullanılarak, her saniye boyunca AKB tarafından üretilmeye devam edilir. Başlangıç AAH verisi ise AKB'nin kullandığı cebirsel hesap kullanılarak elle hesaplanmıştır.

AKB'nin verdiği çıktılar da BGA'daki sanal çıkışlara bağlanarak sistemin tepkisi gözlenmiştir.

Veri kesintisi durumlarına gösterilecek dayanımın test edilebilmesi için tam benzetim sırasında da bu durumların ortaya çıkarılabilmesi gerekir. Bu müdahale Benzetim Grafik Arayüzü'nden yapılabilmelidir. Bunun için Benzetim Grafik Arayüzü'nde PST, MS, İÖ araç girdileri ve Araç 2'ye ait AAH verisini kesintiye uğratabilecek düğmeler konulmuştur. Örneğin PST verisini kesme ile ilgili düğmeye basıldığında, Araç 1'e konum verisini gönderen PST girdisi kesintiye uğrayacaktır. Bu durumda aracın önceden saklanmış olan bir önceki konum verisini, halen alınabilen hız verisi MS ile birlikte işleyerek kendi konumunu güncelleyebilmesi gerekir. Belli bir süre boyunca PST girdisi temin edemeyen aracın Arıza durumuna geçmesi gerekecektir, bu durumun AKB tarafından algılanıp algılanmadığı veya gerekli eylemin uygulanıp uygulanmadığı AKB'nin çıktıları üzerinden takip edilebilir.

### 4.3. Çarpışma Uyarı Sistemi Test Senaryoları

Tam-Benzetim ortamında sistemin karşılaşması muhtemel olan bütün durumlar ele alınırsa, tasarımın son aşamasına gelen cihaz her çeşit gerçek dünya durumuna hazırlıklı olacaktır. Sistemin yeterli sayıda ve çeşitlilikte senaryoyla test edilmesi, sistemin çalışmasındaki muhtemel zaafpların ortaya çıkarılmasını ve sıradışı durumlara verilen tepkinin ölçülmesini sağlar.

Tam-Benzetim ortamındaki test senaryoları şu şekildedir:

1. Aynı hatta, karşılıklı yaklaşan araçlar.
2. Aynı hatta, V2 aracına arkadan yaklaşan V1 aracı.
3. Aynı hatta, V2 aracı tarafından V1 aracına arkadan yaklaşılması.



4. V1 aracı V2 aracına tehlikeli arkadan yaklaşmadayken öndeki V2 aracının hızlanarak tehlikeyi bertaraf etmesi.
5. Barınmadaki V2 aracına yaklaşan V1 aracı.
6. Sabit hızda giderken eğim değişiminin duruş mesafesini değiştirmesine verilecek tepki.
7. V1 aracının GPS verisini kaybetmesi.
8. V2 aracından gelen AAH paketlerinde kayıp olması.
9. V1 aracına gelen AAH verisinin CRC hatası vermesi.
10. Barınmadayken V1 ile tehlikeli menzilde hatta giren V2 aracı.
11. Hatta giren bakım ekibi.
12. V1 aracının odometre verisinin kesilmesi.
13. Tehlikeli mesafedeyken V2 aracının barınmaya girmesi.
14. İvmeölçer arızası.
15. Sistem arızası yaşayan araçla karşılaşma.
16. Acil durum mesajı ile karşılaşma.
17. V1 aracı ile aynı hızda, sabit mesafede giderken V2 aracının sistem arızasına geçmesi.
18. Aynı hatta araç takip ederken yan hatta bir başka aracın karşı yönden gelmesi.
19. Yan hatta bir araçla aynı yönde gitmekteyken bir başka aracın aynı hatta karşı yönden gelmesi.

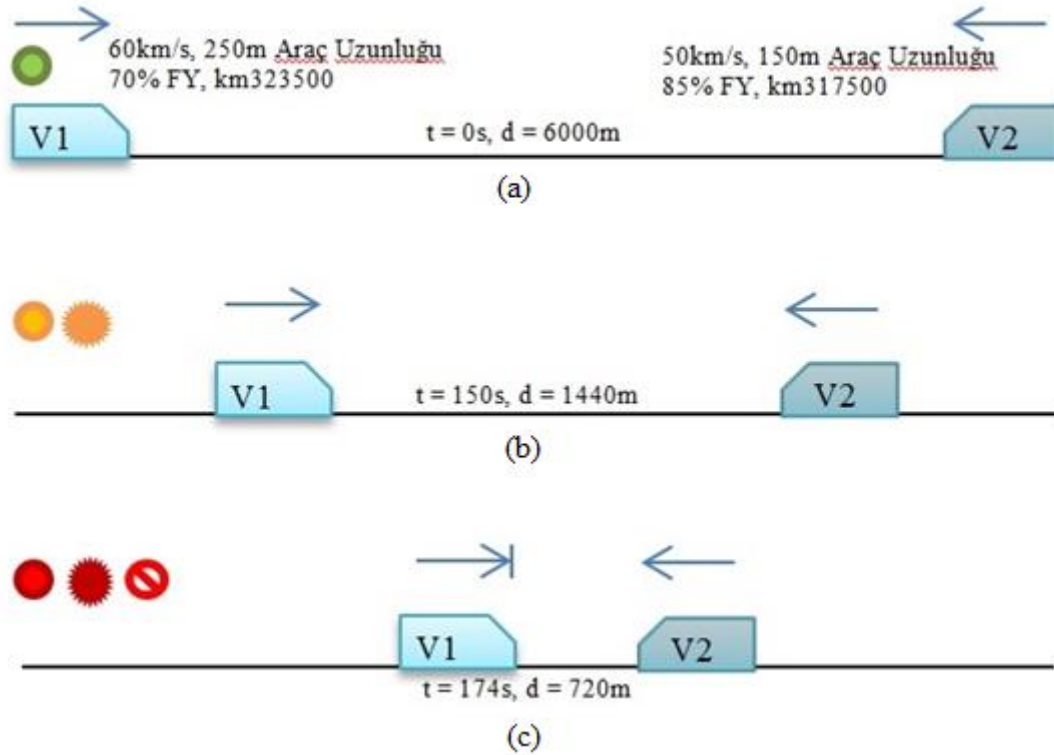
Bu senaryolardaki çeşitliliğin yeterli olması, AKB HIL benzetimine geçmeden önce karşılaşması beklenebilecek her türlü durumla test edilmiş olmasını sağlayacaktır. Senaryo işletimini sağlayan BGA'nın işleyişi ve ilk AAH paketlerinin yapısı önceden tasarlanmış olduğundan dolayı, bu biçime sadık kalarak yeni senaryolar düşünülüp eklenmesi kolay bir işlemdir.

#### **4.4. Benzetim Sonuçları**

Sistemin test aşamasında, tam-benzetimde senaryoları sağlayan AAH ileti dosyaları hazırlandıktan sonra, sistemle birlikte tasarlanmış olan BGA üzerinden seçilerek senaryolar yürütülmüştür.

Şekil 4.4.a’da gösterilen ilk senaryonun işleyişi aşama aşama incelendiğinde, Araç 1’in Araç 2’yi öngörülen menzilde tespit etmesi ve mesafeden ötürü “Aynı hatta, karşı yönden yaklaşmakta olan tren varlığı” olarak bildirdiği görülmektedir. Hesaplanan toplam fren mesafesinin 2 katından az mesafe kaldığında Şekil 4.4.b’deki duruma geçerek sesli uyarıya başlayan sistem, fren mesafesi ile aradaki mesafenin karşılaştırması kritik seviyeye geldiği anda Şekil 4.4.c’deki duruma ulaşmış ve fren uygulama çıktısı vermiştir. Öncül benzetim ortamı fren çıktılarını sisteme uygulamadığından, araçlar birbirine yaklaşmaya devam etmiş ve çarpışma noktasına vardıldıktan sonra birbirlerinden uzaklaşmaya başlamışlardır. Bu noktada Araç 1 KGA’sı Araç 2’yi “Aynı hatta, farklı yönde uzaklaşmakta olan araç” şeklinde bildirmeye devam ederek tehlike arz etmediğine hükmetmiştir. Bu noktada, Şekil 4.5’de arayüzü görülmekte olan prototip sistemin tam-benzetim ortamında ilk senaryoda tasarımına uygun çalıştığına hükmedilmiştir.

BGA’nın görünümünün bu adımlar boyunca değişimi de şekil 4.5’te görülmektedir.



Şekil 4.4. 1 numaralı tam-benzetim senaryosunun ilerleme aşamaları: (a) Başlangıç koşulları, (b) Uyarı eşiği, (c) Eylem eşiği.

**ARAÇ KONTROL BİRİMİ (AKB) BENZETİM ORTAMI**

SENARYO AYARLARI	ARAÇ-1 PARAMETRELERİ	ARAÇ-2 PARAMETRELERİ	ARAÇ-3 PARAMETRELERİ	ARAÇ-1
Senaryo 1 Senaryo Verisini Yükle	İleti Türü: 1 İleti Sürümü: 29 İleti Zamanı: 13:12:54 / 2014:6:6 Araç Tanımı: 1 Hat Tanımı: 3 Konum [m]: 321120 Hareket Hızı [km/s]: 60 Hareket Yönü: 2 Araç Uzunluğu [m]: 250 Anten Konumu [m]: 2 Fren Mesafesi [m]: 500 Fren Yüzdesi [%]: 70	İleti Türü: 1 İleti Sürümü: 29 İleti Zamanı: 13:12:54 / 2014:6:6 Araç Tanımı: 7 Hat Tanımı: 3 Konum [m]: 319460 Hareket Hızı [km/s]: 50 Hareket Yönü: 1 Araç Uzunluğu [m]: 150 Anten Konumu [m]: 2 Fren Mesafesi [m]: 220 Fren Yüzdesi [%]: 85	İleti Türü: <input type="text"/> İleti Sürümü: <input type="text"/> İleti Zamanı: <input type="text"/> Araç Tanımı: <input type="text"/> Hat Tanımı: <input type="text"/> Konum [m]: <input type="text"/> Hareket Hızı [km/s]: <input type="text"/> Hareket Yönü: <input type="text"/> Araç Uzunluğu [m]: <input type="text"/> Anten Konumu [m]: <input type="text"/> Fren Mesafesi [m]: <input type="text"/> Fren Yüzdesi [%]: <input type="text"/>	VID: 1 TID: 3 MS: 60 EĞİM: 8 GPS: <input checked="" type="checkbox"/> ODO: <input checked="" type="checkbox"/> İÖ: <input checked="" type="checkbox"/> ARIZA: <input type="checkbox"/>
<b>BENZETİM AYARLARI</b> Benzetim Hız: x1 Benzetim Zamanı [s]: 139 Hazırla Duraklat Durdur	<b>VERİ DENETİM ALANI</b> V1-GPS V2-V2V V1-ODO V2-CRC V1-EĞİM V2-ARIZA V1-BARINMA V2-BARINMA			<b>GÖSTERGE</b> <input checked="" type="checkbox"/> MENZİLDE CİSİM VAR <input type="checkbox"/> HIZ DÜŞÜRME ÖNERİSİ <input type="checkbox"/> YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> TEHLİKELİ YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> KRİTİK YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> FREN UYGULANIYOR
<b>BENZETİM ALANI</b> V1 Aracı V2 Aracı V3 Aracı Araç-1 İleti Alanı KARŞILIKLI YAKLAŞMA VARI				<b>ARAÇ-2</b> TYPE: 1 VID: 7 TID: 3 MS: 50 MD: 1
				<b>ARAÇ-3</b> TYPE: <input type="text"/> VID: <input type="text"/> TID: <input type="text"/> MS: <input type="text"/> MD: <input type="text"/>

(a)

**ARAÇ KONTROL BİRİMİ (AKB) BENZETİM ORTAMI**

SENARYO AYARLARI	ARAÇ-1 PARAMETRELERİ	ARAÇ-2 PARAMETRELERİ	ARAÇ-3 PARAMETRELERİ	ARAÇ-1
Senaryo 1 Senaryo Verisini Yükle	İleti Türü: 1 İleti Sürümü: 29 İleti Zamanı: 13:12:54 / 2014:6:6 Araç Tanımı: 1 Hat Tanımı: 3 Konum [m]: 321120 Hareket Hızı [km/s]: 60 Hareket Yönü: 2 Araç Uzunluğu [m]: 250 Anten Konumu [m]: 2 Fren Mesafesi [m]: 500 Fren Yüzdesi [%]: 70	İleti Türü: 1 İleti Sürümü: 29 İleti Zamanı: 13:12:54 / 2014:6:6 Araç Tanımı: 7 Hat Tanımı: 3 Konum [m]: 319460 Hareket Hızı [km/s]: 50 Hareket Yönü: 1 Araç Uzunluğu [m]: 150 Anten Konumu [m]: 2 Fren Mesafesi [m]: 220 Fren Yüzdesi [%]: 85	İleti Türü: <input type="text"/> İleti Sürümü: <input type="text"/> İleti Zamanı: <input type="text"/> Araç Tanımı: <input type="text"/> Hat Tanımı: <input type="text"/> Konum [m]: <input type="text"/> Hareket Hızı [km/s]: <input type="text"/> Hareket Yönü: <input type="text"/> Araç Uzunluğu [m]: <input type="text"/> Anten Konumu [m]: <input type="text"/> Fren Mesafesi [m]: <input type="text"/> Fren Yüzdesi [%]: <input type="text"/>	VID: 1 TID: 3 MS: 60 EĞİM: 8 GPS: <input checked="" type="checkbox"/> ODO: <input checked="" type="checkbox"/> İÖ: <input checked="" type="checkbox"/> ARIZA: <input type="checkbox"/>
<b>BENZETİM AYARLARI</b> Benzetim Hız: x1 Benzetim Zamanı [s]: 139 Hazırla Duraklat Durdur	<b>VERİ DENETİM ALANI</b> V1-GPS V2-V2V V1-ODO V2-CRC V1-EĞİM V2-ARIZA V1-BARINMA V2-BARINMA			<b>GÖSTERGE</b> <input checked="" type="checkbox"/> MENZİLDE CİSİM VAR <input type="checkbox"/> HIZ DÜŞÜRME ÖNERİSİ <input type="checkbox"/> YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> TEHLİKELİ YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> KRİTİK YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> FREN UYGULANIYOR
<b>BENZETİM ALANI</b> V1 Aracı V2 Aracı V3 Aracı Araç-1 İleti Alanı KARŞILIKLI YAKLAŞMA VARI				<b>ARAÇ-2</b> TYPE: 1 VID: 7 TID: 3 MS: 50 MD: 1
				<b>ARAÇ-3</b> TYPE: <input type="text"/> VID: <input type="text"/> TID: <input type="text"/> MS: <input type="text"/> MD: <input type="text"/>

(b)

Şekil 4.5. BGA'da 1 numaralı senaryonun aşamaları.

(a) 1 numaralı senaryoda menzile girme durumu.

(b) 1 numaralı senaryoda önemli yaklaşma eşiği.

**ARAÇ KONTROL BİRİMİ (AKB) BENZETİM ORTAMI**

<p><b>SENARYO AYARLARI</b></p> <p>Senaryo 1</p> <p>Senaryo Verisini Yükle</p>	<p><b>ARAÇ-1 PARAMETRELERİ</b></p> <p>İleti Türü: 1</p> <p>İleti Sürümü: 29</p> <p>İleti Zamanı: 13:13:38 / 2014/6/6</p> <p>Araç Tanımı: 1</p> <p>Hat Tanımı: 3</p> <p>Konum [m]: 320372</p> <p>Hareket Hızı [km/s]: 60</p> <p>Hareket Yönü: 2</p> <p>Araç Uzunluğu [m]: 250</p> <p>Anten Konumu [m]: 2</p> <p>Fren Mesafesi [m]: 500</p> <p>Fren Yüzdesi [%]: 70</p>	<p><b>ARAÇ-2 PARAMETRELERİ</b></p> <p>İleti Türü: 1</p> <p>İleti Sürümü: 29</p> <p>İleti Zamanı: 13:13:38 / 2014/6/6</p> <p>Araç Tanımı: 7</p> <p>Hat Tanımı: 3</p> <p>Konum [m]: 320078</p> <p>Hareket Hızı [km/s]: 50</p> <p>Hareket Yönü: 1</p> <p>Araç Uzunluğu [m]: 150</p> <p>Anten Konumu [m]: 2</p> <p>Fren Mesafesi [m]: 220</p> <p>Fren Yüzdesi [%]: 85</p>	<p><b>ARAÇ-3 PARAMETRELERİ</b></p> <p>İleti Türü: </p> <p>İleti Sürümü: </p> <p>İleti Zamanı: </p> <p>Araç Tanımı: </p> <p>Hat Tanımı: </p> <p>Konum [m]: </p> <p>Hareket Hızı [km/s]: </p> <p>Hareket Yönü: </p> <p>Araç Uzunluğu [m]: </p> <p>Anten Konumu [m]: </p> <p>Fren Mesafesi [m]: </p> <p>Fren Yüzdesi [%]: </p>	<p><b>ARAÇ-1</b></p> <p>VID: 1</p> <p>TID: 3</p> <p>MS: 60</p> <p>EGİM: -8</p> <p>GPS: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>ODO: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>İÖ: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>ARIZA: <input type="checkbox"/></p> <p><b>GÖSTERGE</b></p> <p><input type="checkbox"/> MENZİLDE CİSİM VAR</p> <p><input type="checkbox"/> HIZ DÜŞÜRME ÖNERİSİ</p> <p><input type="checkbox"/> YAKLAŞMA VAR</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> TEHLİKELİ YAKLAŞMA VAR</p> <p><input type="checkbox"/> KRİTİK YAKLAŞMA VAR</p> <p><input type="checkbox"/> FREN UYGULANIYOR</p>	
<p><b>BENZETİM AYARLARI</b></p> <p>Benzetim Hızı: x1</p> <p>Benzetim Zamanı [s]: 183</p> <p>Hazırla   Devam Et   Durdur</p>	<p><b>BENZETİM ALANI</b></p> <p>V1 Aracı   V2 Aracı   V3 Aracı</p> <p>Araç-1 İleti Alanı</p> <p>KARŞILIKLI TEHLİKELİ YAKLAŞMA VARI</p> <p>Hat No 3</p>			<p><b>ARAÇ-2</b></p> <p>TYPE: 1</p> <p>VID: 7</p> <p>TID: 3</p> <p>MS: 50</p> <p>MD: 1</p>	<p><b>ARAÇ-3</b></p> <p>TYPE: </p> <p>VID: </p> <p>TID: </p> <p>MS: </p> <p>MD: </p>

(c)

**ARAÇ KONTROL BİRİMİ (AKB) BENZETİM ORTAMI**

<p><b>SENARYO AYARLARI</b></p> <p>Senaryo 1</p> <p>Senaryo Verisini Yükle</p>	<p><b>ARAÇ-1 PARAMETRELERİ</b></p> <p>İleti Türü: 1</p> <p>İleti Sürümü: 29</p> <p>İleti Zamanı: 13:13:42 / 2014/6/6</p> <p>Araç Tanımı: 1</p> <p>Hat Tanımı: 3</p> <p>Konum [m]: 320304</p> <p>Hareket Hızı [km/s]: 60</p> <p>Hareket Yönü: 2</p> <p>Araç Uzunluğu [m]: 250</p> <p>Anten Konumu [m]: 2</p> <p>Fren Mesafesi [m]: 500</p> <p>Fren Yüzdesi [%]: 70</p>	<p><b>ARAÇ-2 PARAMETRELERİ</b></p> <p>İleti Türü: 1</p> <p>İleti Sürümü: 29</p> <p>İleti Zamanı: 13:13:42 / 2014/6/6</p> <p>Araç Tanımı: 7</p> <p>Hat Tanımı: 3</p> <p>Konum [m]: 320132</p> <p>Hareket Hızı [km/s]: 50</p> <p>Hareket Yönü: 1</p> <p>Araç Uzunluğu [m]: 150</p> <p>Anten Konumu [m]: 2</p> <p>Fren Mesafesi [m]: 220</p> <p>Fren Yüzdesi [%]: 85</p>	<p><b>ARAÇ-3 PARAMETRELERİ</b></p> <p>İleti Türü: </p> <p>İleti Sürümü: </p> <p>İleti Zamanı: </p> <p>Araç Tanımı: </p> <p>Hat Tanımı: </p> <p>Konum [m]: </p> <p>Hareket Hızı [km/s]: </p> <p>Hareket Yönü: </p> <p>Araç Uzunluğu [m]: </p> <p>Anten Konumu [m]: </p> <p>Fren Mesafesi [m]: </p> <p>Fren Yüzdesi [%]: </p>	<p><b>ARAÇ-1</b></p> <p>VID: 1</p> <p>TID: 3</p> <p>MS: 60</p> <p>EGİM: -8</p> <p>GPS: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>ODO: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>İÖ: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>ARIZA: <input type="checkbox"/></p> <p><b>GÖSTERGE</b></p> <p><input type="checkbox"/> MENZİLDE CİSİM VAR</p> <p><input type="checkbox"/> HIZ DÜŞÜRME ÖNERİSİ</p> <p><input type="checkbox"/> YAKLAŞMA VAR</p> <p><input type="checkbox"/> TEHLİKELİ YAKLAŞMA VAR</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> KRİTİK YAKLAŞMA VAR</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> FREN UYGULANIYOR</p>	
<p><b>BENZETİM AYARLARI</b></p> <p>Benzetim Hızı: x1</p> <p>Benzetim Zamanı [s]: 187</p> <p>Hazırla   Devam Et   Durdur</p>	<p><b>BENZETİM ALANI</b></p> <p>V1 Aracı   V2 Aracı   V3 Aracı</p> <p>Araç-1 İleti Alanı</p> <p>KARŞILIKLI KRİTİK YAKLAŞMA VARI / FREN UYGULANIYOR</p> <p>Hat No 3</p>			<p><b>ARAÇ-2</b></p> <p>TYPE: 1</p> <p>VID: 7</p> <p>TID: 3</p> <p>MS: 50</p> <p>MD: 1</p>	<p><b>ARAÇ-3</b></p> <p>TYPE: </p> <p>VID: </p> <p>TID: </p> <p>MS: </p> <p>MD: </p>

(d)

Şekil 4.5. BGA'da 1 numaralı senaryonun aşamaları. (devam)

(c) 1 numaralı senaryoda tehlikeli yaklaşma eşiği.

(d) 1 numaralı senaryoda fren uygulanma durumu.

**ARAÇ KONTROL BİRİMİ (AKB) BENZETİM ORTAMI**

SENARYO AYARLARI	ARAÇ-1 PARAMETRELERİ	ARAÇ-2 PARAMETRELERİ	ARAÇ-3 PARAMETRELERİ	ARAÇ-1
Senaryo 1 <input type="button" value="Senaryo Verisini Yükle"/>	İleti Türü: 1 İleti Sürümü: 29 İleti Zamanı: 13:14:1 / 2014:6:6 Araç Tanımı: 1 Hat Tanımı: 3 Konum [m]: 319981 Hareket Hızı [km/s]: 60 Hareket Yönü: 2 Araç Uzunluğu [m]: 250 Anten Konumu [m]: 2 Fren Mesafesi [m]: 500 Fren Yürdesi [%]: 70	İleti Türü: 1 İleti Sürümü: 29 İleti Zamanı: 13:14:1 / 2014:6:6 Araç Tanımı: 7 Hat Tanımı: 3 Konum [m]: 320398 Hareket Hızı [km/s]: 50 Hareket Yönü: 1 Araç Uzunluğu [m]: 150 Anten Konumu [m]: 2 Fren Mesafesi [m]: 220 Fren Yürdesi [%]: 85	İleti Türü: <input type="text"/> İleti Sürümü: <input type="text"/> İleti Zamanı: <input type="text"/> Araç Tanımı: <input type="text"/> Hat Tanımı: <input type="text"/> Konum [m]: <input type="text"/> Hareket Hızı [km/s]: <input type="text"/> Hareket Yönü: <input type="text"/> Araç Uzunluğu [m]: <input type="text"/> Anten Konumu [m]: <input type="text"/> Fren Mesafesi [m]: <input type="text"/> Fren Yürdesi [%]: <input type="text"/>	VID: 1 TID: 3 MS: 60 EĞİM: -8 GPS: <input checked="" type="checkbox"/> ODO: <input checked="" type="checkbox"/> İÖ: <input checked="" type="checkbox"/> ARIZA: <input type="checkbox"/>
<b>BENZETİM AYARLARI</b> Benzetim Hızı: x1 Benzetim Zamanı [s]: 206 <input type="button" value="Hazırla"/> <input type="button" value="Duraklat"/> <input type="button" value="Durdur"/>	<b>VERİ DENETİM ALANI</b> <input checked="" type="checkbox"/> V1-GPS <input checked="" type="checkbox"/> V2-V2V <input checked="" type="checkbox"/> V1-ODO <input checked="" type="checkbox"/> V2-CRC <input checked="" type="checkbox"/> V1-FGM <input checked="" type="checkbox"/> V2-ARIZA <input checked="" type="checkbox"/> V1-BARINMA <input checked="" type="checkbox"/> V2-BARINMA			<b>GÖSTERGE</b> <input checked="" type="checkbox"/> MENZİLDE CİSİM VAR <input type="checkbox"/> HIZ DÜŞÜRME ÖNERİSİ <input type="checkbox"/> YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> TEHLİKELİ YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> KRİTİK YAKLAŞMA VAR <input type="checkbox"/> FREN UYGULANIYOR
<b>BENZETİM ALANI</b> <input checked="" type="checkbox"/> V1 Aracı <input checked="" type="checkbox"/> V2 Aracı <input type="checkbox"/> V3 Aracı				<b>ARAÇ-2</b> TYPE: 1 VID: 7 TID: 3 MS: 50 MD: 1
Araç-1 İleti Alanı <input checked="" type="checkbox"/> AYNI HATTI UZAKLAŞAN TREN VAR Hat No 3				<b>ARAÇ-3</b> TYPE: <input type="text"/> VID: <input type="text"/> TID: <input type="text"/> MS: <input type="text"/> MD: <input type="text"/>

(e)

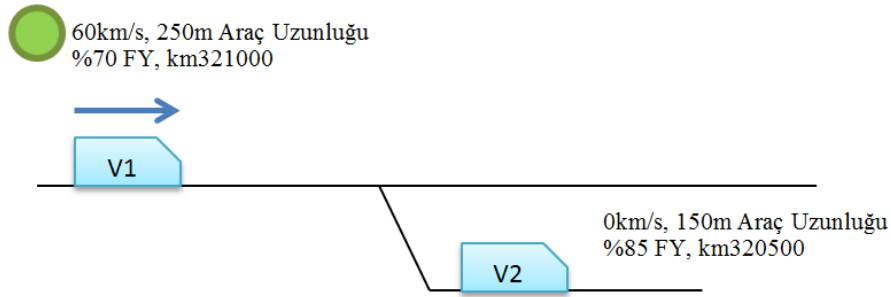
Şekil 4.5. BGA'da 1 numaralı senaryonun aşamaları. (devam)

(e) 1 numaralı senaryoda kesişme sonrası tehdidin ortadan kalkma durumu.

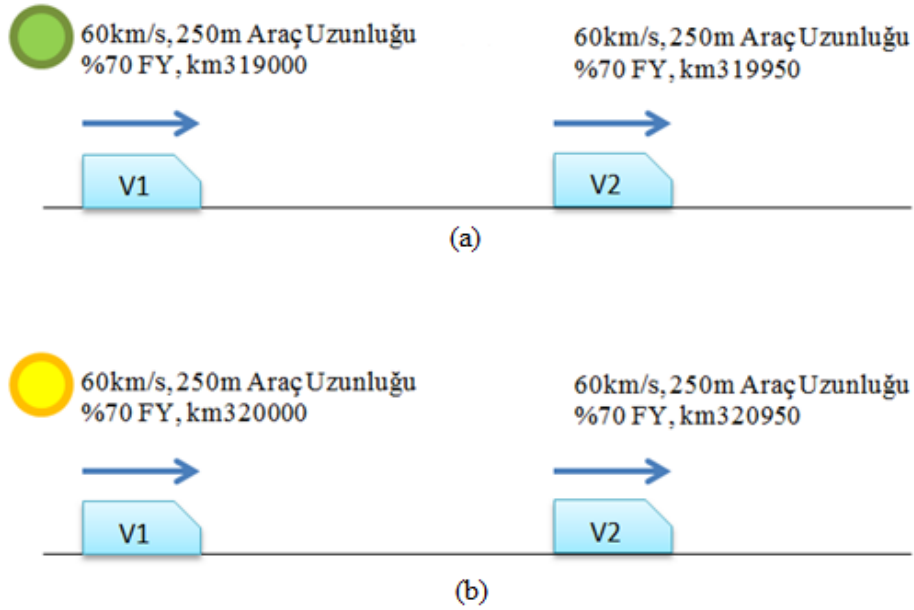
İkinci senaryonun uygulamasında Araç 1 kendisinin arkadan yaklaşan araç olduğunu fark etmiş, arkadan yaklaştırmaya yönelik alt algoritmayı seçmiştir. Benzetim aynı şekilde çalıştırılmaya devam edildiğinde önemli yaklaşma uyarısı ve fren uygulama eşliğini doğru tespit etmiş, birleşme noktasından sonra arkasında uzaklaşan bir Araç 2 olduğu bilgisini vermiştir.

3, 4 ve 6 nolu senaryolar elle uygulanarak sistemin doğru tepkiyi verdiği gözlemlenmiştir. Bu senaryolarda sistemin anlık değişimlere verdiği tepkiler de gözlemlenmiş, sistem davranışının bir sonraki saniyede duruma uyum sağladığı görülmüştür. Şekil 4.6'da görünümü verilmiş olan 5 numaralı senaryoda, mesafe olarak tehlikeli bir mesafe kalmış olduğu halde araçların farklı hatlarda olduğunu fark ederek sahte-pozitif hatası alınmadığı teyit edilmiştir. Şekil 4.7.a.'da gösterilen 7 numaralı senaryoda Araç 1'in GPS girdisi kesintiye uğratılmış, 10 saniye boyunca aracın GPS eksikliğini telafi etmeyi başardığı görülmüştür. GPS verisinin alınmadığı 11. saniyede iki araç arasındaki mesafe ve tehdit seviyesi aynı olduğu halde aracın arıza durumuna geçtiği ve uyarı verdiği,

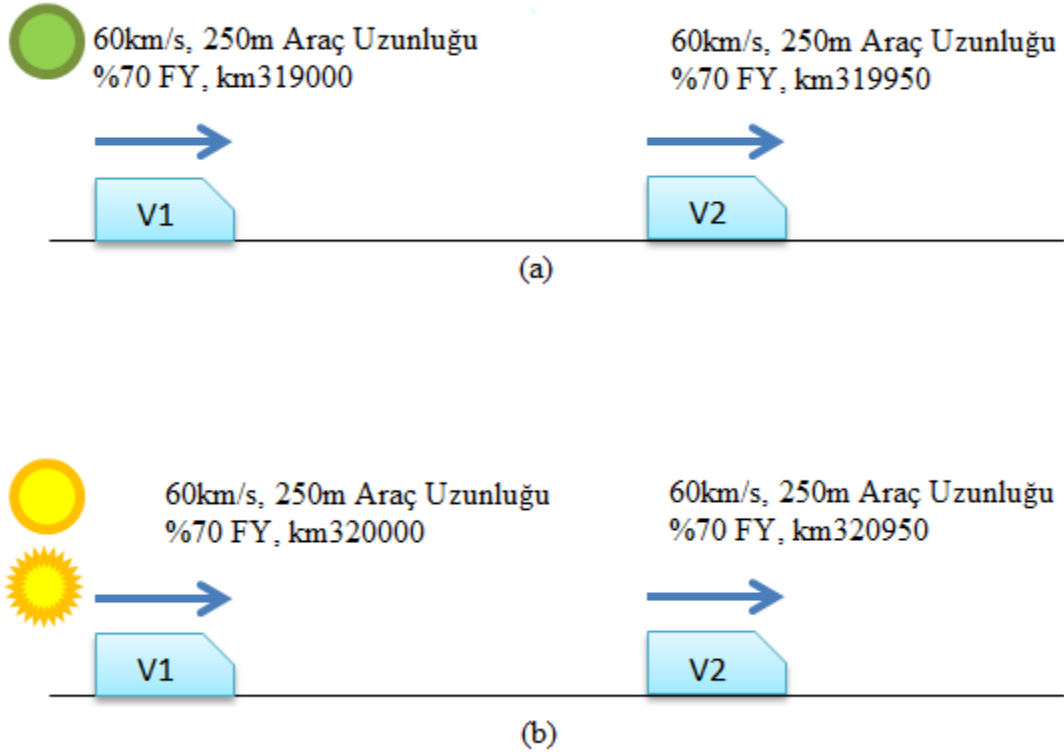
Şekil 4.7.b.'de görülmektedir. Şekil 4.8.a'da AAH verisi kesintisinin test edildiği 8 nolu senaryoda, ilk 10 saniye boyunca kayıp verinin telafi edildiği, 11. saniyeden sonra Şekil 4.8.b.'de görüldüğü gibi, Araç 1'in AAH kaybına dair uyarı verdiği görülmektedir. Hatta bakım ekibi girişini benzetimleyen senaryo 11'in görünümü Şekil 4.9'da görülmektedir; farklı durumlardaki birden fazla aracın tehdit seviyelerinin yorumlanması da Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Senaryo 19'un görünümünü gösteren bu şekilde Araç 1'in yan yana ilerlediği Araç 2'yi bir tehdit olarak görmediği halde Araç 3'ün değişen tehdit seviyelerini fark ettiği görülmüştür.



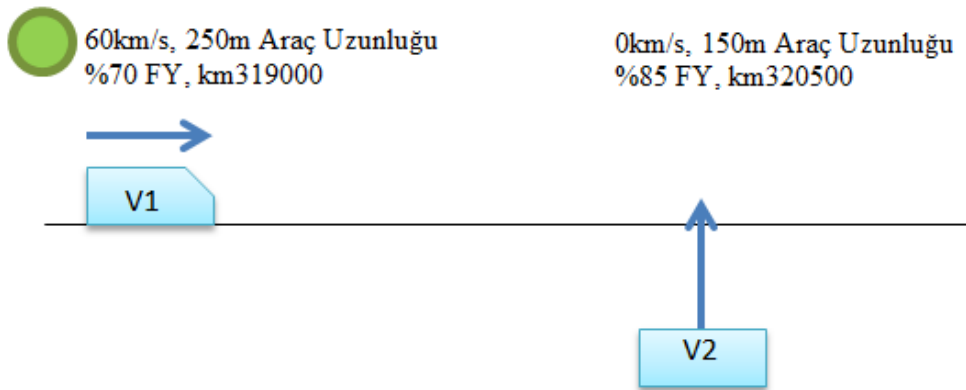
Şekil 4.6. 5 numaralı senaryonun gösterimi.



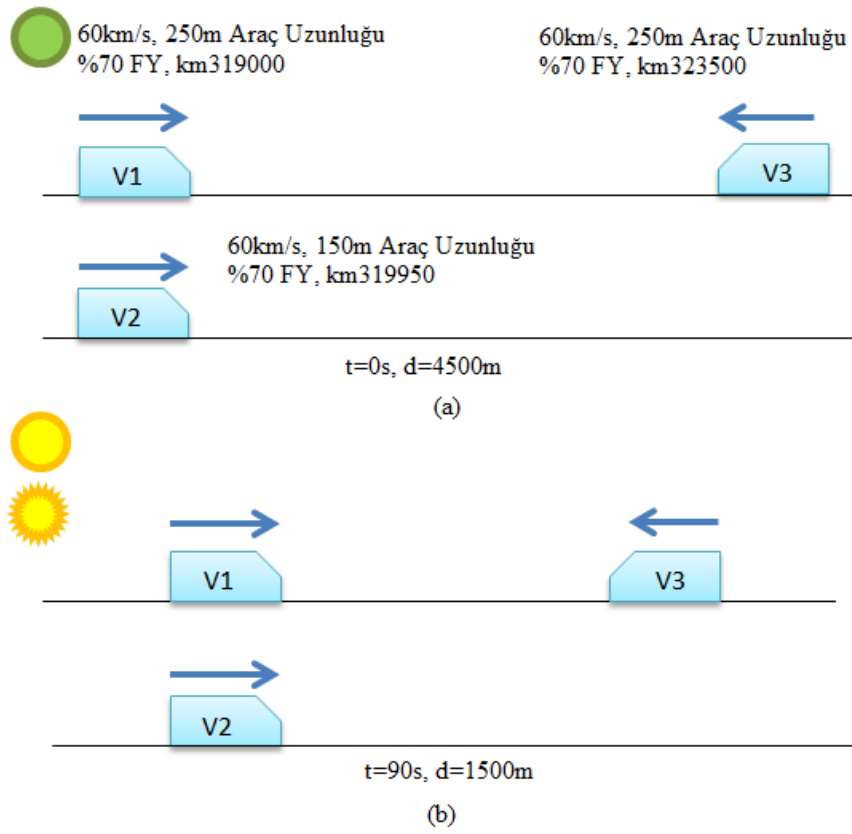
Şekil 4.7. 7 numaralı senaryonun gösterimi: (a) GPS verisi mevcut iken, (b) GPS verisi 10 saniyeden uzun süre boyunca kesildikten sonra.



Şekil 4.8. 8 numaralı senaryonun gösterimi: (a) AAH verisi mevcutken, (b) AAH verisi en az 10 saniye boyunca kesildikten sonra.



Şekil 4.9. 11 numaralı senaryonun gösterimi.



Şekil 4.10. 19 numaralı senaryonun gösterimi: (a) Başlangıç durumu, (b) Tehlikenin ortaya çıkma durumu.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada raylı sistem araçlarında çarpışma tehlikesini sezen ve sürücüyü uyararak veya onun yerine eylemde bulunarak sürücüyü destekleyen bir Çarpışma Uyarı Sisteminin tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen sistem uygulama kolaylığı ve esneklik sunabilmesi için tam-benzetim ile test edilmiştir. Benzetim ortamında önerilen sistem uygulanan senaryolarda başarı sonuçlar vermiştir. Testlerde AKB'nin yapılan değişikliklere en fazla bir saniyelik gecikmeyle tepki verdiği görülmüştür. Bu sonuç AKB'den beklenen tepki süresiyle uyumludur.

Çarpışma Uyarı Sisteminin tasarlanmasında benzetim kullanılması, maliyet ve deneme-yanılmaya dayalı zaman öğelerinde önemli bir tasarruf sağlamıştır. Sistem benzetimi hem gerçek ortamda test edilmesi çok zor olan durumların da test edilebilmesini sağlamış, hem de karşılaşılan sonuçlar doğrultusunda AKB davranışının yeniden tasarlanarak düzeltilmesini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır.

Bu konuyla ilgili ilerleyen çalışmalarda şunlar yapılabilir:

- Sistemin daha gerçekçi testlere tabi tutulması adına, Tam-Benzetim ortamından HIL-Benzetim ortamına geçilmesi sistemin gerçek girdilere nasıl tepki verdiğini gözlemlene imkânı sunar. HIL uyarılması için sistemin girdilerinin bağlanacağı arayüzlerin de seçilmesi gerekir.
- Daha gerçekçi bir test ortamı oluşturulması için Radar girdileri hazırlanıp, gerekirse AKB algoritmasına eklenmesi değerlendirilmelidir.
- Birden fazla boyut içeren daha detaylı bir sayısal haritada, her istasyon arasında sabit bir eğim yerine, daha sık aralıklarla değişime uğrayan bir eğim dizisi, hatta gerçek hattan alınan konum ve eğim bilgisi kullanılabilir. Girdileri yeniden tanımlarken eğer konum verisi halen benzetim olarak kullanılacaksa, en az iki boyutlu bir konumlandırma sağlanabilmesi için sayısal haritanın ve girdi-çıkış düzeneğinin de buna göre yapılandırılması, sistem test hassasiyetini arttıracaktır.

## 6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alonso-mora, J., Naegeli, T., Siegwart, R., & Beardsley, P. (2015). Collision avoidance for aerial vehicles in multi-agent scenarios. *Autonomous Robots*, 1–21. doi:10.1007/s10514-015-9429-0
- Aoyagi, S. (2001). On-board Control System of ATACS, 2–6.
- ATACS. (2001). Radio Data Transmission Tests in ATACS ( Advanced Train and Administration Communication System ), 1–11.
- Bai, S., Honda, R., & Americas, D. (2013). US-EU V2V V2I Message Set Standards Collaboration Why Do We Need to Work Together.
- Barfield, Woodrow, ve Thomas A. Dingus, E. (2014). Human factors in intelligent transportation systems. *Psychology Press*.
- Breu, F., Guggenbichler, S., & Wollmann, J. (2008). The Story of Mode S. *Vasa*. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Egbert, J. S. (2004). US Patent 2004 / 0138814 Anti Collision Device, 1(19).
- Eriksson, M. (2002). SAAB. R3-AIS – Reference Document. Saab TransponderTech AB. 1–80.
- Eurocontrol. (2009). Overview of ACAS II / TCAS II, (January), 1–32.
- Fennibay, D., Yurdakul, A., & Sen, A. (2010). Introducing Hardware-in-Loop Concept to the Hardware/Software Co-design of Real-time Embedded Systems. *2010 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, 1902–1909. doi:10.1109/CIT.2010.325
- Garc, C. R. (2008). COMB: Cell based Orientation aware MANET Broadcast MAC layer.
- Jeziarski, C. (2005). Validation of a Proposed Change to the TCAS II Version 7 Algorithm, (95).
- Kenney, J. B. (2011). Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States. *Proceedings of the IEEE*, 99(7), 1162–1182. doi:10.1109/JPROC.2011.2132790
- Kuun, E. (2004). Open Standards for CBTC and CCTV Radio-Based Communication, 1–10.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Lee, K., & Peng, H. (2005). Evaluation of automotive forward collision warning and collision avoidance algorithms. *Vehicle System Dynamics*, 43(10), 735–751. doi:10.1080/00423110412331282850
- Lehner, A., Müller, F. D. P., Strang, T., & García, C. R. (2009). Reliable Vehicle-Autarkic Collision Detection for Rail-Bound Transportation. *ITS World Congress 2009*, 1–8.
- Lijklema, R. (2010). Wireless Communication Infrastructures Used to Increase Safety in Railway Networks. *13th Twente Student Conference on IT*, 13.
- Liu, Yu, Francois Dion, and Subir Biswas. "Dedicated short-range wireless communications for intelligent transportation system applications: State of the art." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1910.1 (2005): 29-37.
- Manifesto, C. (2007). CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto. *System*, 94. Retrieved from [http://www.car-2-car.org/fileadmin/downloads/C2C-CC\\_manifesto\\_v1.1.pdf](http://www.car-2-car.org/fileadmin/downloads/C2C-CC_manifesto_v1.1.pdf)
- Morgan, Y. L. (2010). Managing DSRC and WAVE Standards Operations in a V2V Scenario. *International Journal of Vehicular Technology*, 2010, 1–18. doi:10.1155/2010/797405
- Orlando, V. A., & Drouilhet, P. R. (1986). Mode S Beacon System : Functional Description.
- Papadimitratos, P. (2009). Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation. *Communications ...*, (November), 84–95. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5307471](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5307471)
- Pascoe, R. D., & Eichorn, T. N. (2009). Robert D. Pascoe and Thomas N. Eichorn, (December), 16–21.
- Pesel, R., & Maslouh, O. (2012). Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET) applied to Intelligent Transportation Systems ( ITS ) Realized by: Raisa PESEL & Otmane MASLOUH Professor: Vahid MEGHDADI.
- Ryan, D. E., & Ryan, P. A. (1992). US Patent 5157615 Aircraft Traffic Alert and Collision Avoidance Device, (2).
- Safety, I. T., & Group, A. (2013). Road Safety Annual Report 2013 Road Safety Annual Report 2013.
- SOLAS. (2002). SOLAS CHAPTER V. *Safety of Navigation*.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

- Söyler, H. A. S. (2006). RAYLI TOPLU TAŞIMDA SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ. *EMO İstanbul*.
- Strang, T. (2010). Intelligent Transportation Systems ICT for Collision Avoidance in Transportation.
- Strang, T. (2011). A multi-broadcast communication system for high dynamic vehicular ad-hoc networks Andreas Lehner \*, Cristina Rico-García, 2, 286–302.
- Strang, T., Meyer, M., & Gu, X. (2006). AD-HOC INTER-VEHICLE COMMUNICATIONS AND GALILEO, (1), 1–8.
- Szmatula, A. (2012). V2X – Emerging Technologies Comparison in the United States , Europe , and Japan P3 Group combines global consulting services , professional management support and innovative engineering solutions.
- TCDD. (2014). 2009 - 2013. *TCDD İstatistik Yıllığı, 2009-2013*(312).
- Trenitalia. (2001). DEVELOPMENT OF A BRAKING MODEL FOR SPEED SUPERVISION SYSTEMS, 1–18.
- UIC. (2004). Code 544-1. *UIC Code*.
- UIC. (2008). *ETCS Implementation Handbook*. Retrieved from [www.uic.org/etf/publication/publication-detail.php?code\\_pub=190\\_15](http://www.uic.org/etf/publication/publication-detail.php?code_pub=190_15)
- Welch, J. D., & Orlando, V. A. (1980). System ( BCAS ) Functional Overview.
- Wynbrandt, J. (2012). Collision Avoidance Systems. *Avionics Technology Review*, 40–42.
- Zhang, Y. Z. Y., Antonsson, E. K., & Grote, K. (2006). A new threat assessment measure for collision avoidance systems. *2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. doi:10.1109/ITSC.2006.1706870