

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ VE
ARAÇSAL AĞLARIN KULLANILDIĞI
ADAPTİF SEYİR KONTROL SİSTEMİ BENZETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat Can TURAN**

Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği

Programı : Mekatronik Mühendisliği

EKİM 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ VE
ARAÇSAL AĞLARIN KULLANILDIĞI
ADAPTİF SEYİR KONTROL SİSTEMİ BENZETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat Can TURAN
(518081022)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Eylül 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ekim 2011

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Levent GÜVENÇ (OÜ)
Doç. Dr. Şeniz ERTUĞRUL (İTÜ)**

EKİM 2011

Tüm sevdiklerime,

ÖNSÖZ

21. yüzyılda insanların günlük faaliyetleri sırasında gerçekleştirdikleri ulaşımın hemen hemen tamamının otomobillerle gerçekleştiği söylenebilir. Otomobil merkezli ulaşım sistemlerinin neden olduğu toplumsal sorunlar günümüzde kritik boyutlara ulaşmıştır. Bu sorunlar önde gelenlerinden taşıt güvenliği, hava kirliliği, trafik tıkanıklığı ve enerji atığı için toplumun ve medyanın ilgisinden dolayı çözümler üretilmektedir. Akıllı ulaşım sistemi olarak adlandırılan kollektif sistem, bu sorunların hepsine çözüm sunabilecek kapasitededir.

Bu çalışmada akıllı ulaşım sistemi altyapısı ve bu altyapı kullanılarak gerçekleştirilen ileri sürüş destek sistemlerinin uygulamaları anlatılmıştır. Ayrıca C-ACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) sistemi benzetimi yapılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur.

Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ'a, yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ahu Ece HARTAVİ KARCI'ya ve İTÜ MEKAR GCDC Yarış Takımı'ndaki arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eylül 2011

Murat Can TURAN
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Akıllı Ulaşım Sistemleri.....	1
1.1.1 Akıllı altyapı sistemleri	2
1.1.2 Akıllı araç sistemleri	3
1.2 Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolü	3
1.2.1 Mesafe yönetimi	5
1.2.1.1 Sabit takip süresi yöntemi	5
1.2.1.2 Sabit takip aralığı yöntemi	5
1.2.1.3 Değişken takip süresi yöntemi	6
1.2.2 Konvoy kararlılığı	6
1.2.3 Trafik akış kararlılığı.....	7
1.3 GCDC Yarışı	7
1.4 Motivasyon.....	7
1.5 Literatür Özeti	9
1.6 Tezin Ana Hatları	10
2. SİSTEM ALTYAPISI.....	11
2.1 Haberleşme Çeşitleri	12
2.2 Standartlar	13
2.2.1 Ağ altyapısı	13
2.2.2 IEEE P1609.X ve IEEE 802.11p.....	14
2.2.3 DSRC (Dedicated Short Range Communications)	15
2.3 Ağ Karakteristikleri.....	16
2.4 İletişim Yöntemleri	17
2.4.1 İşaret paketi yöntemi	17
2.4.2 Yöresel yayın yöntemi	18
2.4.3 Tek yöne yayın yöntemi.....	18
2.4.4 Gelişmiş bilgi dağıtım yöntemi	19
2.4.5 Bilgi birleştirme yöntemi	19
3. ARAÇ VE SİSTEM MODELLERİ	21
3.1 Araç Modeli.....	21
3.2 Trafik Işığı Modeli	22
3.3 Yol Kenarı Ünitesi Modeli.....	23
3.4 Akıllı Kontrol Ünitesi.....	24

3.4.1 Şehir içi algoritması.....	25
3.4.2 Otoyol algoritması	26
3.4.2.1 Sağ ve sol şerit algoritmaları	27
3.4.3 Akıllı kontrol ünitesi kontrolcülerini	29
4. SENARYOLAR VE BENZETİM SONUÇLARI.....	31
4.1 Şehir İçi Senaryoları	31
4.1.1 Senaryo - 1: Şehir içi takip	32
4.1.2 Senaryo - 2: Trafik Işığı Dur/Kalk	36
4.2 Otoyol Senaryoları.....	39
4.2.1 Senaryo - 3: Otoyol takip	40
4.2.2 Senaryo - 4: Otoyol şerit değiştirme	44
4.2.3 Senaryo - 5: Otoyol konvoy birleşmesi	50
4.2.4 Senaryo - 6: Konvoy halinde şerit değiştirme	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

ABS	: Anti-lock Brake System
ACC	: Adaptive Cruise Control
ADAS	: Advanced Driver Assistance System
AHS	: Automated Highway System
C-ACC	: Cooperative Adaptive Cruise Control
DSRC	: Dedicated Short Range Communications
ESP	: Electronic Stability Program
GCDC	: Grand Cooperative Driving Challenge
GPS	: Global Positioning System
I2V	: Infrastructure to Vehicle
ITS	: Intelligent Transportation System
KASK	: Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolü
LIDAR	: Light Detection and Ranging
OBU	: On Board Unit
OSI	: Open System Interconnection
RADAR	: Radio Detection and Ranging
RSU	: Road Side Unit
SK	: Seyir Kontrolü
V2I	: Vehicle to Infrastructure
V2P	: Vehicle to Pedestrian
V2V	: Vehicle to Vehicle
VANET	: Vehicular Ad-Hoc Network
WAVE	: Wireless Access in Vehicular Environments
YSK	: Yaklaşma Seyir Kontrolü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları.	4
Çizelge 1.2 : 2010 yılı trafik kaza istatistikleri.....	8
Çizelge 1.3 : Emniyet Genel Müdürlüğü 2004 – 2009 trafik kazası istatistikleri.	8
Çizelge 2.1 : Akıllı ulaşım sistemi uygulamalarında haberleşme tipi ve kullanılan bilgiler.	12
Çizelge 2.2 : DSRC özellikleri.	15
Çizelge 3.1 : Trafik ışığı modelinde kullanılan parametreler ve açıklamaları.	23
Çizelge 3.2 : Akıllı kontrol ünitesinde kullanılan parametreler ve açıklamaları.	25
Çizelge 4.1 : Şehir içi takip senaryosunda araçların ilk konum ve hızları.	32
Çizelge 4.2 : Otoyol takip senaryosu özellikleri.....	40
Çizelge 4.3 : Otoyol şerit değiştirme senaryosu özellikleri.	45
Çizelge 4.4 : Otoyol konvoy birleşmesi senaryosu özellikleri.	51
Çizelge 4.5 : Otoyol konvoy birleşmesi senaryosu özellikleri.	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Akıllı ulaşım sistemi altyapısı.	2
Şekil 2.1 : Akıllı ulaşım sistemi mimarisi.	11
Şekil 2.2 : OSI modelinde katmanlar ve karşılık gelen protokoller.	14
Şekil 2.3 : AB ve ABD'de kullanılan DSRC kanalları ve kullanım amacı.	16
Şekil 2.4 : İşaret paketi yöntemi.	18
Şekil 2.5 : Yöresel yayın yöntemi.	18
Şekil 2.6 : Tek yöne yayın yöntemi.	19
Şekil 2.7 : Gelişmiş bilgi dağıtım yöntemi.	19
Şekil 3.1 : Bisiklet modeli.	21
Şekil 3.2 : Trafik lambası MATLAB/Simulink modeli.	22
Şekil 3.3 : Trafik lambası akış diyagramı.	23
Şekil 3.4 : Akıllı kontrol ünitesinin genel yapısı.	24
Şekil 3.5 : Akıllı kontrol ünitesi üst yapısının akış diyagramı.	24
Şekil 3.6 : Şehir içi kontrol algoritmasının akış diyagramı.	26
Şekil 3.7 : Sağ ve sol şerit algoritmaları arasındaki geçiş akış diyagramı.	26
Şekil 3.8 : Sağ şerit algoritmasının akış diyagramı.	27
Şekil 3.9 : Sol şerit algoritmasının akış diyagramı.	28
Şekil 4.1 : Şehir içi takip senaryosu.	33
Şekil 4.2 : Senaryo 1 - Araçların hızları.	34
Şekil 4.3 : Senaryo 1 - Araçlar arasındaki konum farkları.	35
Şekil 4.4 : Senaryo 1 - Araçların ivmeleri.	36
Şekil 4.5 : Trafik ışığı dur / kalk senaryosu.	37
Şekil 4.6 : Senaryo 2 - Araçların hızları.	38
Şekil 4.7 : Senaryo 2 - Araçlar arasındaki konum farkları.	39
Şekil 4.8 : Otoyol takip senaryosu.	41
Şekil 4.9 : Senaryo 3 - Araçların hızları.	42
Şekil 4.10 : Senaryo 3 - Araçlar arasındaki konum farkları.	43
Şekil 4.11 : Senaryo 3 - Araçların ivmeleri.	44
Şekil 4.12 : Otoyol şerit değiştirme senaryosu.	45
Şekil 4.13 : Senaryo 4 - Araçların hızları.	47
Şekil 4.14 : Senaryo 4 - Araç 1.1'in yaptığı şerit değiştirme manevrası.	48
Şekil 4.15 : Senaryo 4 - Araçlar arasındaki konum farkları.	49
Şekil 4.16 : Senaryo 4 - Araçların ivmeleri.	50
Şekil 4.17 : Otoyol konvoy birleşmesi senaryosu.	51
Şekil 4.18 : Senaryo 5 - Araçların hızları.	53
Şekil 4.19 : Senaryo 5 - Araçlar arasındaki konum farkları.	54
Şekil 4.20 : Senaryo 5 - Araçların ivmeleri.	55
Şekil 4.21 : Konvoy halinde şerit değiştirme senaryosu.	56
Şekil 4.22 : Senaryo 6 - Araçların hızları.	58
Şekil 4.23 : Senaryo 6 - Araçlar arasındaki konum farkları.	59

Şekil 4.24 : Senaryo 6 - Konvoy 1'deki araçların şerit değıştirme manevrası.	60
Şekil 4.25 : Senaryo 6 - Araçların ivmeleri	61

AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ VE ARAÇSAL AĞLARIN KULLANILDIĞI ADAPTİF SEYİR KONTROL SİSTEMİ BENZETİMİ

ÖZET

Ulaşım, şehirlerde kullandığımız fiziksel alan ile toplumu etkileyen merkezi bir faktördür. Ulaşımındaki değişimler ise şehir içinde ve dışındaki insan aktivitelerinin yapısını etkiler, çevreyi değiştirir, şehirlerin büyümesini hızlandırır ve ülke çapında şehirlerarası ilişkileri düzenler. Akıllı ulaşım sistemleri, ulaşım altyapısı ile haberleşme ve bilgi sistemlerinin bütünleşmesi sonucu birbirini etkileyen faktörleri (araçlar, yollarda taşınan yükler, rotalar, yolcular vs.) kontrol ederek yol güvenliğini artırmayı ve araçların yıpranmasını, yolda geçirilen zamanı ve yakıt tüketimini azaltmayı amaçlar.

Araçlar arası haberleşme ağı (VANET), bilgisayarları birbirine ve internete bağlamada yaygın biçimde kullanılmakta olan kablosuz ağ teknolojisinin araçlara uygun olacak şekilde değiştirilerek uygulanması ile oluşmuştur. Araç üzerinde uygulama yapmak kablosuz ağ teknolojisi alanında daha önce karşılaşılmamış zorluklar ve gereksinimler doğurmasına rağmen uygulamada benzersiz fırsatlar da sunmuştur.

Bu tez çalışmasında önce akıllı ulaşım sistemlerinin yapısından, gereksinimlerinden ve uygulamalarından bahsedilecektir. Ardından tez çalışması için kurulan araç modeli ve alt sistemler anlatılacaktır. Aracın ana kontrolcüsü olan akıllı kontrol ünitesi ve algoritmalarından bahsedildikten sonra son olarak bu kontrolcü, algoritma ve modellerin denenmesi için oluşturulan senaryolar anlatılacak ve benzetim sonuçları verilecektir.

INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS AND SIMULATION OF ADAPTIVE CRUISE CONTROL SYSTEM WITHIN VEHICULAR NETWORKS

SUMMARY

Transportation is a central factor that affects the society and the physical space we use in cities. The changes in transportation are affecting the organization of human activity in urban and regional area, changing the environment, controlling the urban growth, and ordering the relationships between cities in nationwide. Intelligent transportation system aims to improve road safety and reduce vehicle wear, time spent on the road and fuel consumption by managing the factors (vehicles, loads, routes, passengers) that are affecting each other, with the integration of communication and information technologies.

Vehicular ad-hoc network (VANET) was formed by implementing widely used wireless networking technology that used to connect computers to each other and the internet, with changes appropriate for vehicles. Despite it's challenges and requirements, application of wireless networking technology to vehicles also offers great oppurtinities.

In this study, first the architecture, requirements and applications of intelligent transportation systems are discussed. Then the vehicle model and its subsystems are presented. After the main controller of the vehicle, intelligent control unit and algorithms of this controller are discussed, scenarios made for the testing of the algorithms and controller are presented. Simulation results of the scenarios are given at the end.

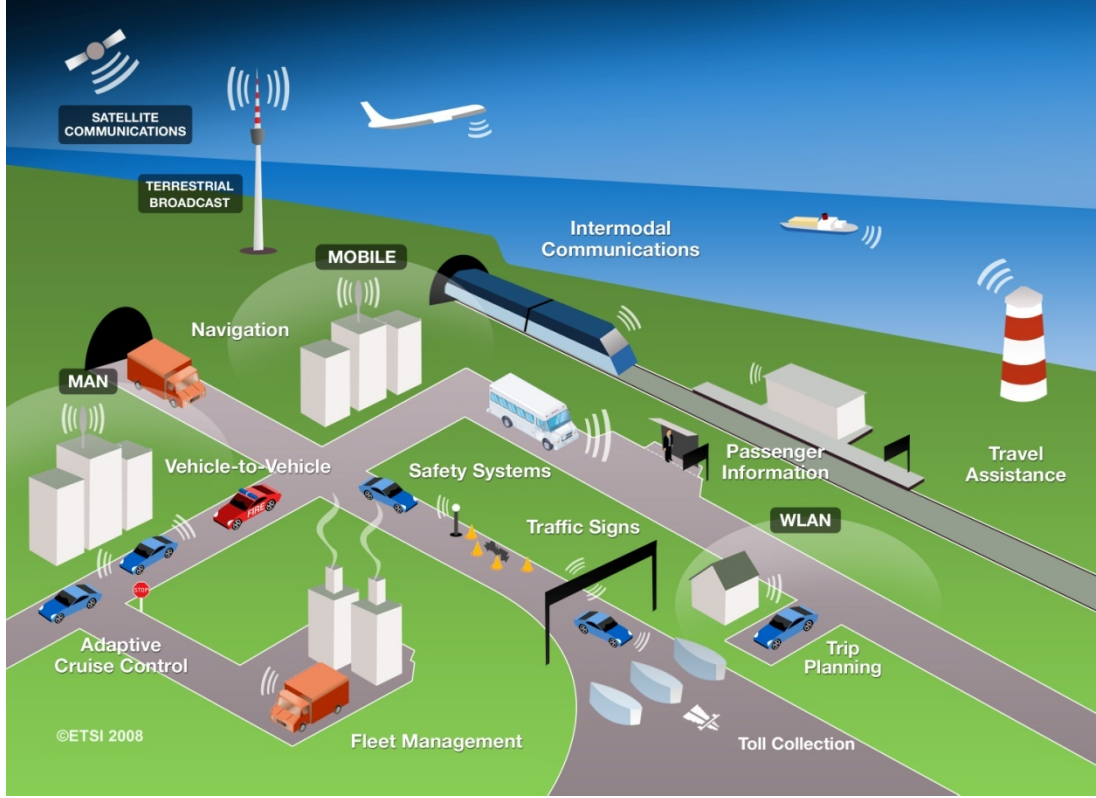
1. GİRİŞ

Bilgi ve haberleşme teknolojisinin son yıllardaki gelişimi, herhangi bir şehrin karşılaşılabileceği trafik sıkışıklığı, trafik kazaları ve kara ulaşımının neden olduğu çevresel etkiler gibi sorunları çözme yolunda güçlü çözümler üretilmesini sağlamıştır. Akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine yönelik ilgi, kara yolunu kullanan insanlar için yolların daha güvenli ve rahat olmasını böylece otoyol kullanımının artmasını sağlamıştır [1].

1.1 Akıllı Ulaşım Sistemleri

Akıllı ulaşım sistemleri (ITS), trafik sıkışıklığının ve karasal ulaşımın çevresel etkilerinin azaltılması, ayrıca yolların daha güvenli hale getirilmesi amaçlanarak haberleşme, bilgi ve uydu teknolojilerine dayalı çözümler olarak adlandırılabilir [2]. Bu amaçla yapılan uygulamalarda bilgi, haberleşme, algılama ve kontrol teknolojileri bir arada kullanılır. Araçlarda yolcu güvenliğini artırmak, kazaları önlemek, kaza sırasında veya sonrasında yaşanan yaralanma ve ölümleri en aza indirmek için yapılan çalışmalarda akıllı ulaşım sistemlerinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmüştür [3]. Şekil 1.1’de akıllı ulaşım sistemi altyapısı görülebilir.

ITS teknolojileri ile araçlarda değişik türde ve seviyelerde kullanılacak olan “akıllı” teknolojiler vasıtasıyla sürücülere destek sağlanır. Bilgi teknolojileri ile sürücünün yollar ve şehir hakkında bilgisi genişletilir. Kaza önleme sistemi gibi uyarı sistemleri ile sürücünün aracın çevresini algılama kabiliyeti artırılır. Sürüş destek ve otomasyon teknolojileri ile acil durum anlarında veya uzun süreler boyunca sürücünün yapacağı hareketler taklit edilerek araç kontrol edilebilir. Bu teknolojiler sürüş güvenliğini, sürücü performansını ve konforunu artırmak için geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür [4]. Akıllı ulaşım sistemleri yakın zamanda ulaşım konusunda çalışan araştırmacılar için popüler bir araştırma konusu olmuştur. Ancak, akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir altbaşlığı araç içi güvenlik sistemleri olarak gösterilebilir. Aktif uyarı sistemleri de araç içi güvenlik sistemleri içinde yer edinmeye başlamıştır.



Şekil 1.1 : Akıllı ulaşım sistemi altyapısı.

Günümüzde yol güvenliğinin odak noktası artık insanları kazalardan korumak değil kazaları oluşmadan önleme yönelimindedir [5]. Bu sebeple kazalar oluşmadan önleyebilmek için geliştirilen aktif uyarı sistemleri araştırma merkezlerinin, üniversitelerin, hükümetlerin ve şirketlerin ilgisini üzerine toplamış ve popüler bir araştırma alanı haline gelmiştir. Şerit algılama mekanizmaları, araçsal ağlar, sürücü yorgunluğunu tahmin eden sistemler gibi birçok yeni kaza önleme tekniği öne sürülmüştür. Akıllı ulaşım sistemlerini, akıllı altyapı sistemleri ve akıllı araç sistemleri olarak iki alt başlıkta incelemek mümkündür.

1.1.1 Akıllı altyapı sistemleri

Akıllı altyapı sistemleri, sürücülerin mevcut veya kurulacak kablosuz haberleşme altyapısını kullanarak yol ve hava durumu hakkında bilgi alma, gişe geçiş ödemelerini otomatik olarak yapma, şehir içinde gideceği yere en hızlı rotayı belirleme gibi işlemleri gerçekleştirebileceği sistemlerdir.

Adaptif trafik işareti kontrol sistemleri ve otoyol yönetim sistemleri ile trafik akışı düzenlenebilir ve trafik sıkışıklığı engellenerek araçların yakıt tasarrufu sağlaması böylece atmosfere zararlı gazların salımının azaltılması sağlanabilir [6].

Kaza yapan araçların yollardan daha hızlı ve efektif biçimde kaldırılması ile otoyollarda meydana gelen gecikme en aza indirilip ciddi miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabilir. Elektronik geçiş ücreti ödeme sistemleri ile gişeler önünde meydana gelen kuyruklar azaltılabilir. Yük taşıyan araçlar elektronik ortamda izlenerek araçların denetim istasyonlarında durmasına gerek kalmaması sağlanır. Böylece iş gücünden de tasarruf edilmiş olur.

1.1.2 Akıllı araç sistemleri

Akıllı araç sistemleri, araçların kendi algılayıcıları ile çevreden aldıkları verilerin yanında diğer araçlardan ve iletişim altyapısından gelen bilgileri kullanıp kaza önleme, ileri sürücü desteği gibi uygulamaları kapsar.

Kooperatif adaptif seyir kontrolü (C-ACC) sistemi ile araçlar otoyolda konvoylar oluşturup gidecekleri yere daha hızlı ve güvenli biçimde varabilirler. Elektronik fren uyarısı ile sürücünün görüş menzili dışında olsa dahi trafikte öndeki araçlardan birisi fren yaptığında sürücünün müdahalesine gerek kalmadan araç hızını otomatik olarak azaltabilir. Böylece trafik akışı ani bozulmalara uğramaz ve kaza olasılığı en aza indirilir [7]. Kavşak kaza önleme sistemi, trafikte meydana gelen kazaların önemli bir yüzdesinin oluşturan kavşak kazalarını engellemede kullanılır. Sürücülerin kavşaktaki durumu tam kavrayamamasından dolayı verdiği yanlış karardan meydana gelen bu kazaları engellemek için araçlar birbirlerine hız bilgileri, konumları vb. mesajları göndererek sürücüleri uyarır. Böylece kavşakta kaza gerçekleşme olasılığı minimize edilmiş olur [8]. Sürücülerin yatay manevra yaptıkları yani öndeki aracı solladıkları durumlarda ise şerit değiştirme uyarı sistemleri devreye girerek karşı şeritten gelen veya şerit değiştiren aracın arkasından daha hızlı gelmekte olan araç hakkında sürücüyü uyarır. Akıllı altyapı sistemleri ve akıllı araç sistemleri ile yapılabilecek uygulamalar Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

1.2 Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolü

Akıllı ulaşım sistemlerinin en önemli kısmını araç kontrolü oluşturmaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinde, araçların otonom hale getirilmesi gerekmektedir. Araçların otonom yapılmak istenmesindeki birincil amaç, araçtaki sürücüyü devreden çıkararak yollardaki güvenliği artırmaktır. İkincil amaç olarak araç takip ve şerit değiştirme gibi manevraların otonom hale getirilip yolların kapasitesinin artırılmasıdır.

Çizelge 1.1 : Akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları.

	<i>Amaç / Durum</i>	<i>Uygulama Örnekleri</i>
Aktif Güvenlik	Tehlikeli Yol Durumları	Viraj hız uyarısı, trafik ışığı ve dur işareti ihlali
	Anormal Trafik ve Yol Koşulları	Yol durumu / çalışması uyarısı
	Çarpışma Tehlikesi	Kör nokta uyarısı, şerit ihlali uyarısı, kavşak çarpışma uyarısı, ön / arka çarpışma uyarısı, acil durum elektronik fren uyarısı
	Kaza Öncesi	Kaza öncesi algılama
	Kaza Sonrası	Kaza sonrası uyarısı, arıza uyarısı
	Yetkililere Destek	Elektronik plaka/ehliyet, çalıntı araç takibi
Sürüş/Trafik Yardım	Gelişmiş Sürücü Desteği	Otoyol bağlantı yardımı, akıllı far sistemleri, araç içi yol işaretleri, C-ACC
	Trafik Verimliliği	Akıllı trafik akış kontrolü gelişmiş yol rehberi
Ticari/Eğlence	Mobil Servisler	İnternet
	Kurumsal Çözümler	Filo yönetimi, araç kiralama
	E – Ödeme	Geçiş / park / yakıt ücreti ödeme

Dahası sürücülerden kaynaklanan dur/kalk manevralarının en aza indirgenmesi ve yollardaki taşıtların sera gazı emisyonunun azaltılmasıdır. Kooperatif adaptif seyir kontrolü sistemleri de araçların yollarda konvoylar halinde ilerlemesini sağlamakta böylece araç takip mesafelerinin 2 - 3 sn aralığından, 0.5 sn gibi değerlere indirilmesine olanak tanımaktadır [9]. Takip sürelerinin bu seviyelere indirilmesi yüksek hızlarda araçlar arasında güvenli bir şekilde kısa takip mesafeleri olmasını sağlar. Bu bölümde kooperatif/adaptif seyir sistemlerinin tasarımında etkili olan parametrelerden bahsedilecektir.

1.2.1 Mesafe yönetimi

Mesafe yönetimi (spacing policy), araçlarda arasında istenen mesafenin tanımlanmasında kullanılan terimdir. Mesafe yönetiminin nasıl yapıldığı sürüş karakteristiklerini, konyoy kararlılığını ve trafik akış kararlılığını gibi araç ve yol parametrelerini etkilediği gibi [10], araçtaki sürücünün güvenlik ve konfor algısını da etkiler. En çok karşılaşılan mesafe yönetim yöntemleri sabit takip aralığı ve sabit zaman aralığı yöntemleridir. Bunların yanı sıra, değişken zaman aralığı yöntemi de anlatılmıştır.

1.2.1.1 Sabit takip süresi yöntemi

Sabit takip süresi yönteminde araçlar arasında koruması istenen mesafe aracın hızı ile doğru orantılı olarak değişir. Bu yöntem basitliğinden dolayı en fazla tercih edilen mesafe yönetim yöntemidir. Ayrıca en basit insan davranışını sergiler, yani hızlandıkça öndeki araçla aradaki mesafenin açılmasını sağlar.

Bu yöntemde iki araç arasındaki mesafenin matematiksel ifadesi,

$$x_{r,d,i}(t) = d_i + h_i v_i(t) \quad (1.1)$$

olarak verilmiştir. Burada d_i araç duruyorken istenen konum farkını, $h_{d,i}$ takip süresini ve v_i i. aracın hızını göstermektedir. Takip süresi, i numaralı aracın önündeki i-1 numaralı aracın konumuna gelmesi için sabit hızla gitmesi gereken süre olarak tanımlanır. Araçlar konvoy halinde giderken sabit zaman aralığı yöntemi konvoy kararlılığını belirli bir minimum takip süresine kadar, sadece araçlar arasındaki mesafe ve bağıl hız ölçülerek sağlayabilir. Bu nedenle öndeki veya arkadaki araçla veri haberleşmesi gerekli değildir. Ancak yüksek hızlarda araçlar arasındaki mesafe çok büyüyeceğinden trafik akış kararlılığını azaltır. Bu da sürücü güvenliği dışında yolların daha verimli kullanılması ve enerji tüketiminin düşürülmesi de istendiği zaman sıkıntı yaratır [11].

1.2.1.2 Sabit takip aralığı yöntemi

Sabit takip aralığı yöntemi aslında $h_{d,i} = 0$ sn olarak kabul edilen sabit takip süresi yönteminin bir alt kümesidir. Matematiksel ifade ile,

$$x_{r,d,i}(t) = d_i \quad (1.2)$$

Bir önceki yöntemde yüksek hızlarda ortaya çıkan sorunlar sabit takip aralığı yönteminde görülmez. Ancak konvoy kararlılığını sağlamak için konvoydaki her aracın konvoy lideri ile haberleşmesi gerekmektedir [12].

1.2.1.3 Değişken takip süresi yöntemi

Hem konum hatalarını en aza indirmek hem de araçlar arası takip mesafesini mümkün olduğunca azaltmak için lineer olmayan mesafe yönetim yöntemleri geliştirilmiştir. Değişken takip süresi yöntemi de bu lineer olmayan yöntemlerdendir. Bu yöntemin diğer lineer yöntemlerden farkı, takip süresinin araçlar arasındaki bağlı hız ile değişmesidir. Yani öndeki araç arkadakinden daha hızlı gidiyorsa takip mesafesi azalacak, daha yavaş gidiyorsa da artacaktır. Bu durumda matematiksel ifade aşağıdaki gibi olacaktır, Burada $h_{0,i}$ ve $c_{h,i}$ takip süresinin hesaplanmasında kullanılan sabitlerdir [13].

$$x_{r,d,i}(t) = d_i + h_i(t)v_i(t) \quad (1.3)$$

$$h_i(t) = \text{sat} \left(h_{0,i} - c_{h,i}v_{r,i}(t) \right) = \begin{cases} 1, & h_{0,i} - c_{h,i}v_{r,i}(t) \geq 1 \\ h_{0,i} - c_{h,i}v_{r,i}(t), & 0 < h_{0,i} - c_{h,i}v_{r,i}(t) < 1 \\ 0, & h_{0,i} - c_{h,i}v_{r,i}(t) \leq 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

1.2.2 Konvoy kararlılığı

Konvoy kararlılığı, birbirlerini takip eden araçların oluşturduğu konvoyların kararlılığı ile ilgilenir. Bir konvoyun kararlı olması demek konvoy liderinin ivmelenmesinden ve yavaşlamasından kaynaklanan mesafe hatalarının trafik akışı yönünde, konvoydaki diğer araçlara aktarılırken büyümemesidir [14].

Konvoy kararlılığı homojen ve heterojen olmak üzere iki farklı dalda incelenmiştir. Homojen konvoy kararlılığı, aynı araçlardan oluşan bir konvoyun kararlılığıdır. Yani konvoydaki bütün araçların dinamikleri, mesafe yönetim yöntemleri, kontrolcülerini vs. aynıdır. Bu nedenle takip davranışını tanımlayan bir transfer fonksiyonu bütün araçlar için aynı olacaktır [15]. Heterojen konvoy kararlılığında ise isminden de anlaşılacağı üzere araçlar birbirinin aynı değildir. Yani araçların takip mesafesi yönetim yöntemleri, dinamikleri, kontrolcülerini ve karar verme algoritmaları birbirinden farklıdır. Bu farklılıklar, heterojen konvoy kararlılığı kriterinin gerçek trafik durumunu daha iyi yansıtmalarını sağlar [16].

1.2.3 Trafik akış kararlılığı

Konvoy kararlılığı, bir konvoydaki araçların arasındaki ilişkinin kararlılığını belirlerken, trafik akış kararlılığı ise trafik akış hızının ve yoğunluğunun trafiğe giren ve çıkan araçlara verdiği cevabı inceler [11]. Trafik yoğunluğu ρ ile araç hızı v arasındaki matematiksel ilişki aşağıda verilmiştir.

$$v = v_f(1 - \rho/\rho_{maks}) \quad (1.5)$$

$$Q = \rho v = \rho v_f(1 - \rho/\rho_{maks}) \quad (1.6)$$

Burada v_f serbest trafik akış hızını, ρ_{maks} maksimum trafik yoğunluğunu, Q ise bir saatte geçen araç sayısını ya da trafiğin net hızını göstermektedir. Yapılan çalışmalar $\delta Q/\delta \rho > 0$ iken trafik akışının kararlı ve $\delta Q/\delta \rho < 0$ durumunda ise kararsız olduğunu göstermektedir [17].

1.3 GCDC Yarışı

GCDC 2011 (Grand Cooperative Driving Challenge) yarışı, kooperatif sürüş sistemlerinin geliştirilmesi, denenmesi, tanıtılması ve uygulanması amacıyla organize edilmiş bir etkinliktir. Araçların birbirleriyle (V2V) ve altyapı sistemleriyle (I2V/V2I) haberleşerek kooperatif şekilde hareket etmesi amaçlanmıştır. Yarışmacı takımlar kooperatif şekilde hareket ederek, akıllı ulaşım sistemi kullanılarak yolların daha verimli kullanılabileceğini, taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azalacağını ve yolların sürücüler ve yolcular için daha güvenli hale getirilebileceğini göstermiştir [18].

Yarışma, 14 - 15 Mayıs 2011 tarihlerinde Hollanda'nın Helmond kentinde gerçekleştirilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi MEKAR takımının geliştirmiş olduğu araç dünyanın çeşitli üniversitelerinden gelen 11 takım arasında yarışı 7. sırada bitirmiştir.

1.4 Motivasyon

Mevcut yolların artan ulaşım gereksinimlerini karşılayamadığı her gün meydana gelen trafik sıkışmalarından anlaşılmaktadır. Bu sebeple akıllı ulaşım sistemlerinin hedeflerinden biri, mevcut altyapı olanaklarının verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktır.

Yapılan çalışmalar, araçlardaki sürücülerin kaza anından 1,5 sn önce uyarılabilmesi durumunda günümüzde gerçekleşen kazaların % 60'ının önlenebileceğini göstermiştir [19]. Her yıl dünya genelinde meydana gelen kazalarda 1.2 milyon kişi hayatını kaybetmektedir. Bu kazaların toplam maliyeti yaklaşık 1 trilyon \$ olarak öngörülmektedir. Bu miktar Dünya GSYİH'sının % 1,7'sine tekabül etmektedir

Çizelge 1.2'den görülebileceği üzere 2010 yılında yerleşim yeri içi ve dışında meydana gelen toplam 259.985 kazada yaklaşık 452 milyon TL maddi hasar oluşmuştur. Emniyet Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre 2000 ile 2009 yılları arasında gerçekleşen 6.536.231 kazada toplam ölü sayısı 45.188, yaralı sayısı ise 1.519.737'dir. Çizelge 1.3'te 2000-2009 yılları arasındaki kaza istatistikleri görülebilir.

Çizelge 1.2 : 2010 yılı trafik kaza istatistikleri.

	Ölümlü		Yaralanmalı		Maddi Hasarlı	
	Ölü Sayısı	Kaza Sayısı	Yaralı Sayısı	Kaza Sayısı	Maddi Hasar (MTL)	Kaza Sayısı
Yerleşim yeri	1.091	908	118.672	73.780	257	133.871
Yerleşim yeri dışı	1.647	1.213	52.803	21.511	195	28.702
Toplam	2.738	2.121	171.475	95.291	452	162.573

Çizelge 1.3 : Emniyet Genel Müdürlüğü 2004 – 2009 trafik kazası istatistikleri.

Yıl	Kaza Sayısı	Ölü Sayısı	Yaralı Sayısı
2003	455.637	3.959	117.551
2004	537.352	4.427	136.437
2005	620.789	4.505	154.086
2006	728.755	4.633	169.080
2007	825.561	5.007	189.057
2008	950.120	4.236	184.468
2009	1.034.435	4.300	200.405
Toplam	5.152.649	31.067	1.151.084

1.5 Literatür Özeti

Son yıllarda ileri sürüş destek sistemleri (ADAS:Advanced Driver Assistant Systems) araçlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler üzerindeki araştırma ve geliştirme faaliyetleri, araçlarda daha güvenli ve konforlu bir sürüş sağlama, sürücü hatalarını azaltma, mevcut yolların trafik kapasitesini artırma ve araçların yakıt tüketimini azaltma gibi amaçlarla devam etmektedir [20]. İleri sürüş destek sistemleri içerisinde araştırmalar genellikle adaptif seyir kontrol (ACC:Adaptive Cruise Control) sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. ACC sistemlerinin araçlarda ilk olarak kullanılmaya başlamasının üzerinden 15 yıl geçmiş olmasına rağmen şu anda bir çok otomotiv üreticisinin üst sınıf araçlarında bulunmaktadır. Yakın gelecekte is bu sistemin orta ve alt sınıf araçlarda da standart bir özellik olarak bulunacağı ön görülmektedir [21].

ACC sistemlerinin atası olan seyir kontrol (CC: Cruise Control) sistemleri aracın hızını gaz ve/veya frene müdahale ederek sabit tutuyordu. ACC sistemlerini CC sistemlerinden ayıran en önemli etken araca yerleştirilmiş mesafe algılayıcısı (RADAR veya LIDAR) ekipmanıdır. Bu sistemlerin ilk jenerasyonlarında uzun mesafe radar ve lidar tabanlı uygulamalar tercih edilmiştir [22]. Bu sistemler arasında karşılaştırmalar yapılmış ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları literatürde yayınlanmıştır [23-25]. Güvenliği artırmak amacıyla orta ve kısa mesafe radarlar, video kameralar ve termal algılayıcıların yeni jenerasyonlarda kullanımı öngörülmektedir [22].

ACC sistemi kullandığımız aracın önünde herhangi başka bir araç olmadığı zaman normal seyir kontrol sistemleri gibi davranarak aracın hızını, ayarlanan seyir hızına eşitler. Ancak daha yavaş bir araç çıkması durumunda, algılayıcıları sayesinde öndeki aracı algılayarak seyir hızını düşürür. Öndeki aracın algılama mesafesinden çıkması durumunda ise eski seyir hızına geri döner [26]. ACC sistemi normal seyir kontrol sistemlerine göre çok daha güvenli sürüş sağlar ayrıca uzun yollarda sürücünün yorulmasını engeller. Yapılan deneylerde aracın yakıt tüketimini düşürdüğü de gözlenmiştir [27], ancak ACC sistemi sadece öndeki araçla ilgili bilgi alabildiğinden, trafikteki diğer araçların yarattığı tehlikelere karşı sağlayacağı erken uyarı yetersizdir. Bundan dolayı araştırmacılar ACC sistemlerinin akıllı ulaşım sistemleri ile entegre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [28].

Bu bağlamda çözüm olarak sunulan kooperatif/adaptif seyir sistemleri (CACC: Cooperative ACC), araçta var olan ACC sisteminin diğer araçlardan, akıllı ulaşım sisteminin bir parçası olan yol kenarı üniteleri (RSU: Road Side Unit) ve araç haberleşme üniteleri (OBU: On-board Unit) vasıtası ile, gelen bilgileri kullanarak geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır [29]. Araçların haberleşme üniteleri ile donatılması, araçların üzerlerindeki algılayıcılar ve küresel konumlandırma sistemi (GPS: Global positioning System) vasıtası ile çevreleri hakkında edindikleri bilgiyi trafikteki diğer araçlarla paylaşabilmesini olanaklı kılar. Böylece ACC sistemi çevrede olan olaylar hakkında daha fazla bilgiye erişebilir ve tehlikeli durumlara karşı araca müdahale süresi oldukça kısalmır. Bunun yanı sıra trafik akışı düzenlenip araçların konvoy halinde ilerlemesi sağlanabilir. Konvoyun en önündeki aracın seyrinde meydana gelebilecek değişiklikler arkadaki araçlara daha hızlı iletileceğinden trafikte yaşanan şok dalgalarının sayısı azaltılabilir [30].

1.6 Tezin Ana Hatları

Bu bölümden sonra gelen Bölüm 2’de akıllı ulaşım sistemi mimarisinden bahsedilecektir. Ardından akıllı ulaşım sistemlerindeki haberleşme çeşitlerinden ve bu altyapının gerçekleştirilmesi için geliştirilen standartlar anlatılacaktır. İleri sürüş destek sistemlerinde kullanılan iletişim yöntemlerinden bahsedildikten sonra, araçlar arası ağların karakteristikleri anlatılacaktır.

Bölüm 3’te önce kooperatif/adaptif seyir kontrol sisteminin denenmesi için kurulan araç modeline kısaca değinildikten sonra senaryoları gerçekleştirmek için kurulan trafik ışığı modeli ve RSU modeline değinildikten sonra aracın ana kontrol ünitesi olan akıllı kontrol ünitesi anlatılacaktır.

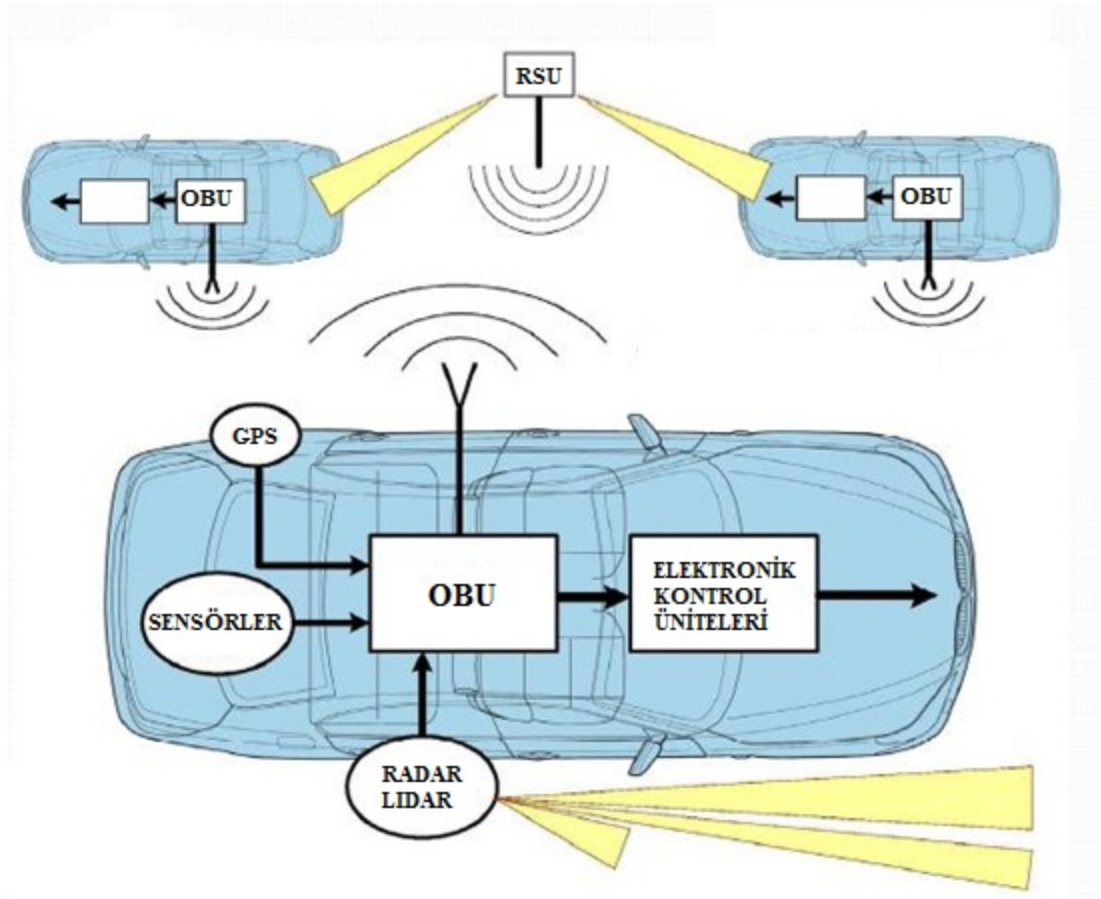
Bölüm 4’te kooperatif adaptif seyir kontrol sisteminin üst kontrolcüsünün çeşitli durumlara vereceği tepkileri görmek için tasarlanan senaryolar önce şehir içi ardından şehir dışı olmak üzere iki kısımda incelencektir.

Bölüm 5’te araç modelinin, üst kontrolcüsü ile beraber tasarlanan senaryolardaki performansını göstermek amacıyla benzetim sonuçları anlatılmıştır.

Bölüm 6’da sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. SİSTEM ALTYAPISI

Akıllı ulaşım sistemi mimarisini oluşturan temel elemanlar araçlarda bulunan araç içi ünitesi (OBU), araçların altyapı ile haberleşmesini sağlayan yol kenarı üniteleri (RSU) ve araçların çevrelerinde olan olaylardan haberdar olmasını sağlayan algılayıcılar olarak sıralanabilir. Şekil 2.1’de basit bir akıllı ulaşım sistemi mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Akıllı ulaşım sistemi mimarisi.

Araçlarda coğrafi konumu hassas bir şekilde ölçmeye yarayan küresel konumlandırma sistemi (GPS) bulunur. GPS, aracın hızını, ivmesini ölçmek ve gidiş yönünü tespit etmek için de kullanılır. LIDAR (Lazer algılayıcı) veya RADAR (Radyo algılayıcı) ile öndeki aracın hız bilgisi ve öndeki araca göre bağıl hız bilgisi elde edilebilir.

Aracın tekerleklerindeki algılayıcılar ile aracın hız bilgisi hassas şekilde ölçülebilir. Bunun yanı sıra aracın kendi aktif güvenlik sistemlerinde (ABS, ESP vs.) bulunan algılayıcıların topladığı bilgiler de (savrulma hızı, kayma vb.) eğer gerekirse diğer araçlara veya altyapıya göndermek için toplanır. Bu bilgiler aracın haberleşme ünitesine yani araç içi ünitesine gönderilir. Bu üniteye uygun protokolleri kullanarak istenilen veriyi diğer araçlara ve/veya haberleşme altyapısına araçlar arası haberleşme standartlarına uygun bir anten vasıtası ile iletir.

Çizelge 2.1 : Akıllı ulaşım sistemi uygulamalarında haberleşme tipi ve kullanılan bilgiler.

Uygulama	Haberleşme Tipi	Gönderilecek / Alınacak Bilgiler
Trafik Işığı İhlali Uyarısı	I2V, tek yönlü	Trafik ışığı durumu ve zamanı, yön, konum, hava durumu, zemin tipi
Viraj Hız Uyarısı	I2V, tek yönlü	Virajın konumu ve eğriliği, viraj eğimi, zemin tipi, hız sınırları
Acil Durum Elektronik Fren Uyarısı	V2V, tek yönlü	Konum, yön, hız, ivme
Kaza Öncesi Algılama Sistemi	V2V, çift yönlü	Araç tipi, konum, hız, ivme, yön, savrulma hızı
Sola Dönüş Asistanı	V2V, I2V, tek yönlü	Trafik ışığı durumu, zamanlama, yön, yolun şekli ve kavşağın durumu, konum, hız
Şerit İhlali Uyarısı	V2V, tek yönlü	Konum, yön, hız, ivme, dönüş sinyalinin durumu

Diğer araçlarda bulunan araç içi üniteler ve algılayıcılar ile yollardaki kritik noktalara ve otoyol üzerinde belli aralıklarla yerleştirilmiş yol kenarı üniteleri ile akıllı ulaşım sistemi kurulmuş olur. Akıllı ulaşım sistemi kullanılarak yapılan bazı uygulamalar ve bu uygulamalarda kullanılan bilgiler çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

2.1 Haberleşme Çeşitleri

Akıllı ulaşım sistemlerinde araçların dâhil olduğu haberleşme çeşitleri geneli kapsayacak biçimde V2X olarak adlandırılır. V2X uygulamaları;

- Araçlar arası (V2V),
- Araç ile yol kenarı ünitesi arası (V2I / I2V)
- Araç ile yaya arası (V2P) olmak üzere üçe ayrılır.

Araçlar arası haberleşme, iki veya daha fazla aracın birbiri ile konuşmasını sağlayan bir otomobil teknolojisi olarak düşünülebilir. Komşu araçlar birbirleriyle konum, hız ve yön gibi bilgileri paylaşarak etraflarına 360° hâkim olabilirler. Dahası diğer araçların yarattığı tehlikelerin farkına vararak kaza riskini hesaplayıp, sürücüyü uyarır hatta kazayı önlemek için tedbirler alır.

Araç ile yol kenarı ünitesi arası haberleşme, V2V teknolojisinin bir uzantısıdır ve araçların yol kenarına yerleştirilen haberleşme donanımları, trafik ışıkları ve trafik işaretleri ile haberleşmesidir. V2I / I2V ile araçlara güvenlikle ilgili mesajlar gönderilerek kazalar engellenmeye çalışılır. Bunun dışında trafik durumu ve çevresel durum ile ilgili mesajlar da gönderilebilir.

V2P ise bu teknolojilerin en yenisidir. Kaldırımdaki yayaların üzerinde bulunan taşınabilir cihazlar vasıtası ile araçların yayalar ile iletişim kurması olarak tanımlanır [31].

2.2 Standartlar

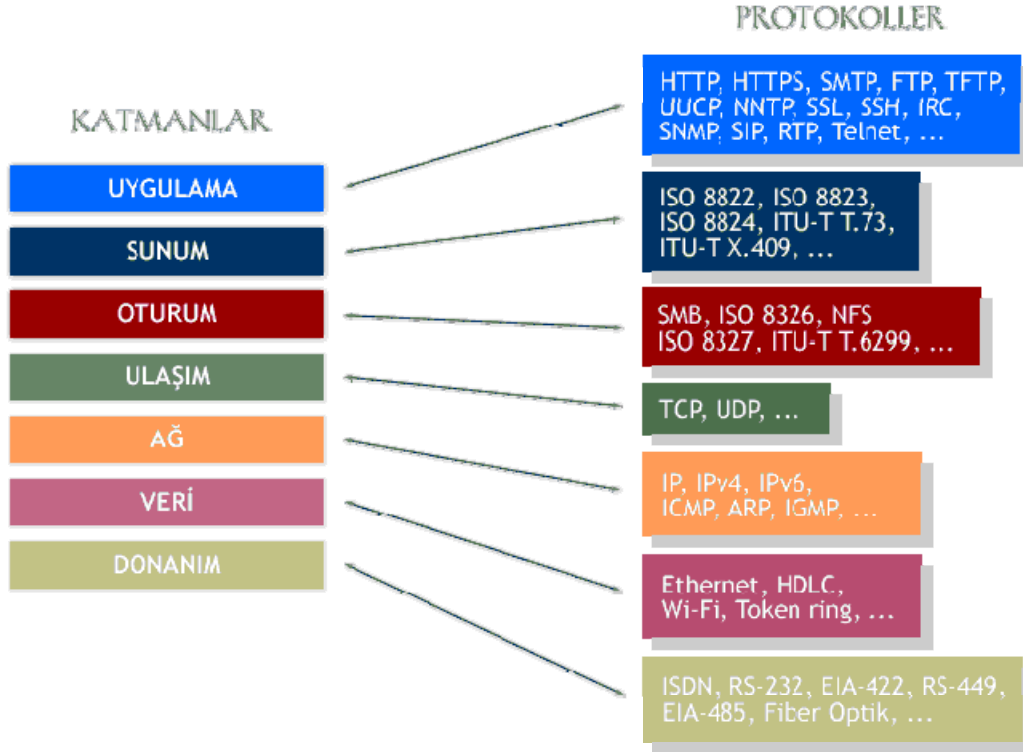
V2V, V2I ve I2V haberleşmesini gerçekleştirebilmek için günümüz bilgisayar haberleşme standartları ile bu standartların belirlediği protokollerin gözden geçirilmesi ve gereksinimlere göre yeniden düzenlenmesi gerekmiştir. OSI modelinde bulunan her katman araç haberleşmesinde aynı görevi yapmasına rağmen yeni protokollerin gerekliliği kaçınılmazdır.

2.2.1 Ağ altyapısı

Günümüzde iki bilgisayar arasındaki haberleşmenin nasıl olacağı ISO'nun tanımladığı OSI (Open System Interconnection) modeline göre belirlenmiştir.

Şekil 2.2'de OSI modeli katmanları ve her katmanda kullanılan protokolleri ile birlikte gösterilmiştir.

OSI Modeli



Şekil 2.2 : OSI modelinde katmanlar ve karşılık gelen protokoller.

2.2.2 IEEE P1609.X ve IEEE 802.11p

IEEE P1609.X ve 802.11p standart ve protokoller, OSI modeli ile tanımlanan katmanların akıllı ulaşım sistemleri için yeniden düzenlenmesi için geliştirilmiştir.

P1609.0: Mimari, çok kanallı DSRC/WAVE cihazlarının hareketli araçlar arasında haberleşebilmesi için gereken mimariyi tanımlar.

P1609.1: Kaynak Yöneticisi, komut mesajı ve veri depolama formatlarını, WAVE sistem mimarisindeki temel elemanları ve veri akışı ile kaynakları tanımlar.

P1609.2: Uygulamalar ve Mesajlar için Güvenlik Hizmetleri, mesajların güvenlik formatlarını ve işlemlerini tanımlar.

P1609.3: Ağ Oluşturma Servisleri, güvenli veri alışverişi için ağ ve ulaşım katmanlarında yapılan adresleme ve yönlendirme işlemlerini de dahil olmak üzere servisleri tanımlar.

P1609.4: Çok Kanallı İşlemler, 802.11 ortam erişim protokolünün WAVE altyapısını desteklemesi için gereken değişiklikleri sağlar.

P1609.11: Havadan Veri Alışverişi Protokolü, akıllı ulaşım sistemlerinde elektronik ödeme işlemlerinin güvenli biçimde yapılabilmesi için gerekli olan servisleri ve güvenli mesaj formatlarını tanımlar.

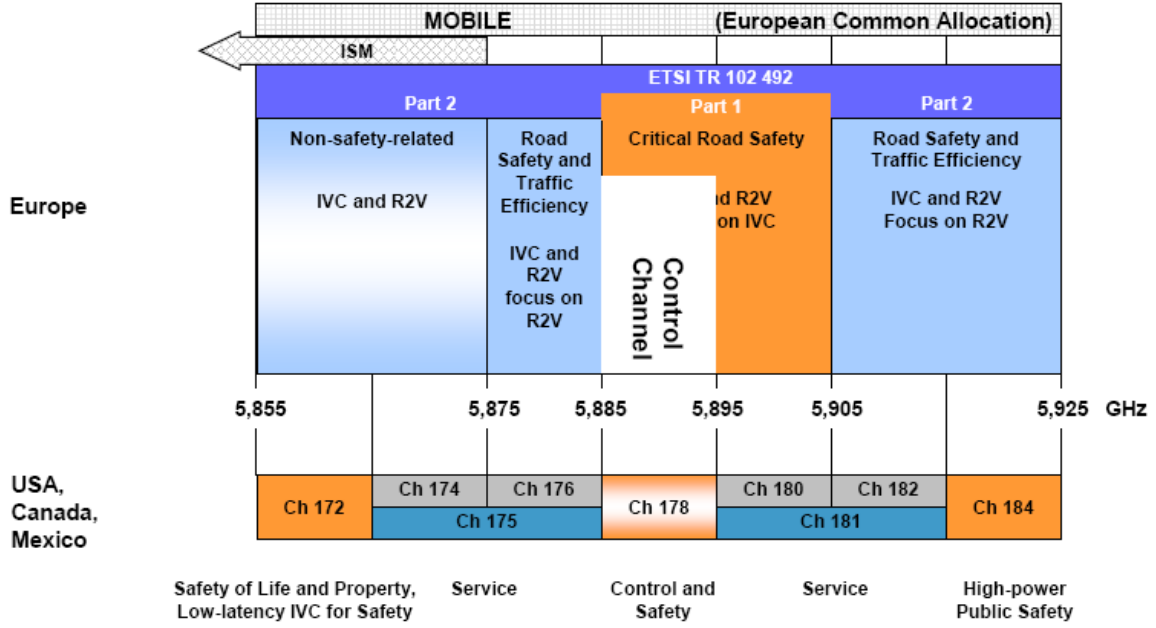
802.11p: Ortam erişim protokolünü ve fiziksel katmanı tanımlar.

2.2.3 DSRC (Dedicated Short Range Communications)

DSRC; araçlarda kullanmak için özel olarak tasarlanmış, tek yönlü veya çift yönlü, kısa ve orta menzilli kablosuz iletişim kanallarına ve buna karşılık gelen bir takım standartlara ve protokollere verilen genel isimdir. 1999 yılında Amerika Birleşik Devletleri Federal Haberleşme Komisyonu (USFCC), 5.9 GHz bandında 75 MHz bant aralığını DSRC'ye yani akıllı ulaşım sistemlerine ayırmıştır. Avrupa'da ise 2008 yılında yine 5.9 GHz bandında 30 MHz bant aralığı aynı amaç için kullanıma sunulmuştur. Araçlar arası iletişim için 5.9 GHz frekansının kullanılmasının nedeni; normal bilgisayar haberleşmesinden farklı olarak yüksek hızlarda hareket eden düğümler arasında iletişim kurulması için gereken özellikleri (hava koşullarına dayanıklı olması, yüksek hızda veri iletimi, yaklaşık 1000 metre menzil) sağlamasıdır. Bu frekans aralığı hali hazırda Avrupa ve Japonya'da elektronik gişe işlemleri için kullanılmaktadır. Şu anda Japonya, ABD ve Avrupa'da kullanılan DSRC sistemleri birbiri ile uyumlu değildir. Çizelge 2.2'de DSRC'nin genel özellikleri ve Şekil 2.3'te DSRC'nin kanal yapısı gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : DSRC özellikleri.

<i>Özellik</i>	<i>Değer</i>
Frekans	5.9 GHz
Bant Genişliği	75 MHz (5850 - 5925)
Kanal Sayısı	7 adet 10 MHz
Veri İletim Hızı	6 – 27 Mbps
Başarılı Veri İletim Oranı	%50 - 60
İletim Yöntemi	Yarı çift yönlü
Menzil	1000 m



Şekil 2.3 : AB ve ABD'de kullanılan DSRC kanalları ve kullanım amacı.

2.3 Ağ Karakteristikleri

Araçlar arası ağların (VANET) bazı karakteristik özellikleri günümüzde yaygın olarak kullanılan mobil ağlarla (MANET) farklılık göstermektedir. Bunlar; ağdaki düğümlerin hareket çeşitliliği, heterojenliği, hızı ve yoğunluğudur.

- *Hareket çeşitliliği:* MANET'lerden farklı olarak araçsal ağlarda düğümler daha önceden tanımlanmış yollarda hareket ederler. Aracın yönünde meydana gelen değişimler çoğu zaman kavşaklarda meydana gelir. Değişik yol tiplerinde (Otoyollar, şehir içi yollar vs.) ağ karakteristikleri de değişecektir.
- *Heterojenlik:* Ağda bulunan düğümler birbirinden farklı özelliklere sahip olacağından araçsal ağlar heterojen yapıdadır denilebilir. En basitinden ağda yol kenarı üniteleri ve araç içi üniteler bulunacaktır. Bunun yanı sıra araçlar, şahsi araçlar, bakım araçları ve kamu araçları gibi farklı kategorilere ayrılabilirler. Yol kenarı üniteleri ise bulundukları konuma göre sınıflandırılırlar. Örneğin bir kavşakta bulunan yol kenarı ünitesi araçlara trafik ışığı, ışık zamanlaması ve trafik durumu gibi bilgileri yollarken, otoyolda belirli aralıklarla dizilmiş RSU'lar sadece gelen mesajları arkadan gelen araçlara aktarma amacıyla kullanılırlar.

- *Düğüm hızı:* VANET’lerde göz önünde bulundurulması gereken en önemli özellik ağdaki hareketli düğümlerin yani araçların hızıdır. Ağdaki düğümlerin hızı, sabit olan RSU’lar veya trafikte sıkışan araçlar için sıfır olabilir. Ancak araçlar hareket etmeye başlayınca 180 km/s gibi hızlara da çıkmaktadır. Bu iki uç nokta, VANET’ler için farklı gereksinimler sunmaktadır. Örneğin birbirine yaklaşmakta olan iki araç arasındaki iletişim süresi, çok kısa olacaktır ve araçlar arasında kurulacak bağlantıda Doppler etkisi gibi etkenlerin de hesaba katılması gerekecektir. Dahası araçlar iletişim menzilleri için çok az bulunacaklarından ağ topolojileri çok hızlı biçimde değişecektir ki topolojiye dayalı yönlendirme algoritmaları yetersiz kalacaktır [32]. Diğer taraftan trafik sıkıştığında topoloji neredeyse çok az değişecektir fakat bu seferde bir aracın menzili içinde yüzlerce düğüm olacağından yüksek miktarda girişim olacaktır.
- *Düğüm yoğunluğu:* Araçların neredeyse durma noktasına geldiği trafik sıkışıklığı gibi durumlarda düğümlerin sayısı çok fazla olacağından girişim gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Aynı şekilde çok ıssız yollarda ise düğüm sayısı çok az olacağından mesajların iletilmesi için daha karmaşık yöntemlere başvurulması gerekecektir. Düğüm yoğunluğu sadece yol tipi ile değil zamanla da ilgilidir. Yani gündüz çok yoğun olan şehir içindeki yollar gece düşük yoğunluklu yollar haline gelebilir. Bu da gündüz kullanılan yönlendirme yöntemlerinin işe yaramaz hale gelmesine neden olur.

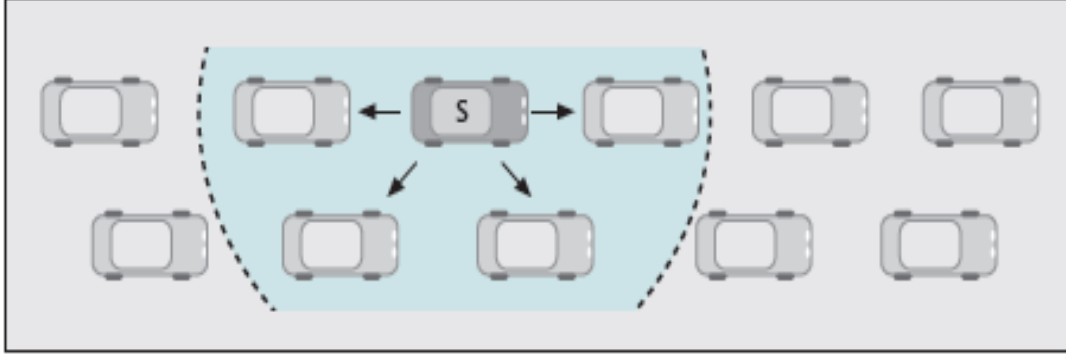
2.4 İletişim Yöntemleri

VANET’lerde yapılacak uygulamalar ve ağ karakteristikleri çeşitlilik göstermektedir. Bu sebeple bütün uygulamalar, kullanılacak iletişim yöntemine göre gruplandırılmıştır. Kullanılan iletişim yöntemi bilgi paketinin içeriğinin önemine ve aciliyetine, dağıtılacağı alanın büyüklüğüne gibi parametrelerle belirlenir. Bu iletişim yöntemleri, işaret paketi yöntemi, yöresel yayın yöntemi, tek yöne yayın yöntemi, gelişmiş bilgi dağıtım yöntemi ve bilgi birleştirme yöntemidir.

2.4.1 İşaret paketi yöntemi

İşaret paketi yönteminde, gönderilen veri paketi aracın algılayıcılarının topladığı verilerden oluşur. Komşu araçlara gönderilen veriler tek sekme ile gönderilir.

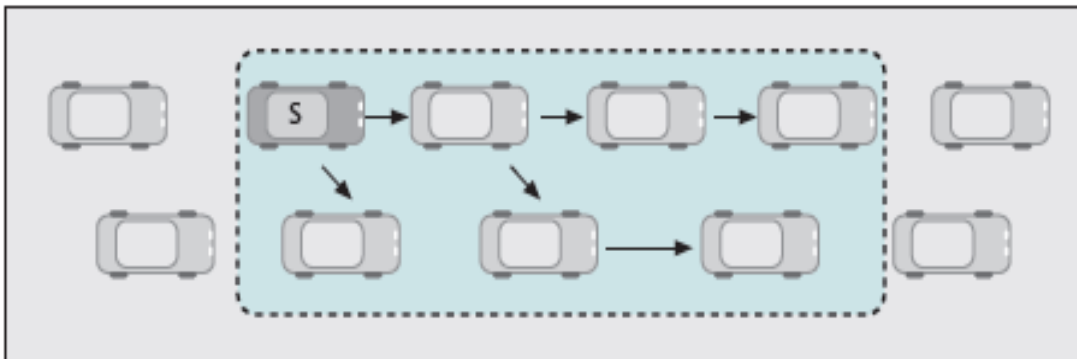
Gönderilen veriler periyodik olarak güncellenir. Bu yöntemde tek yönlü iletişim yapılır. Viraj hız uyarısı, şerit ihlali uyarısı, trafik akış kontrolü, kaza öncesi algılama istemi gibi orta dereceli gecikmeleri tolere edebilecek uygulamalar için uygundur. Şekil 2.4'te işaret paketi yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : İşaret paketi yöntemi.

2.4.2 Yöresel yayın yöntemi

Bu yöntem geniş bir alanda verinin çok hızlı biçimde dağıtılmasını sağlar. Sürekli olarak yayınlanmaz ve çift yönlü haberleşme yapılıır. Mesajın kaynağı, mesajın içine hedef bölgenin konum bilgilerini girer, böylece mesaj hedefe ulaşana kadar ağdaki diğer araçlar ile taşınır. Bu yöntemin kullanıldığı bazı uygulamalarda düşük gecikme istenirken, bazen de bilginin hedefe en düşük kayıpla ulaşması amaçlanır. Acil durum elektronik fren sistemi, kaza sonrası acil yardım uygulamalarında bu yöntem kullanılabilir. Şekil 2.5'te yöresel yayın yöntemi gösterilmiştir.

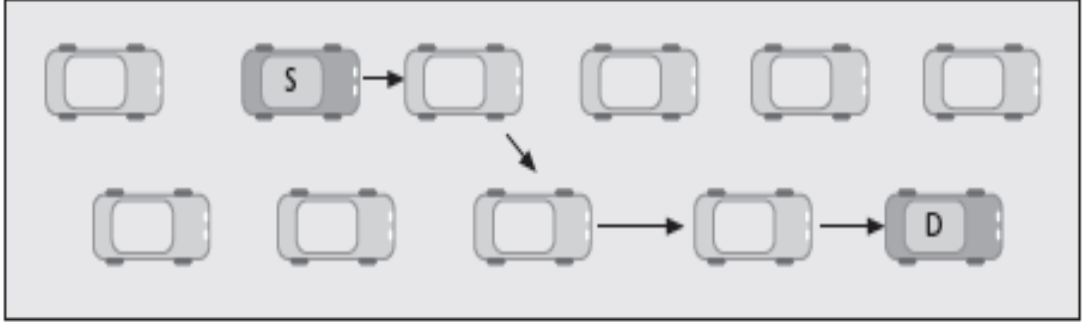


Şekil 2.5 : Yöresel yayın yöntemi.

2.4.3 Tek yöne yayın yöntemi

Bilgiyi sadece belirlenen hedefe taşımak için kullanılır. Hedef düğümün konumuna göre bilgi paketi tek sekmeli veya çok sekmeli (multi hop) olarak gönderilebilir.

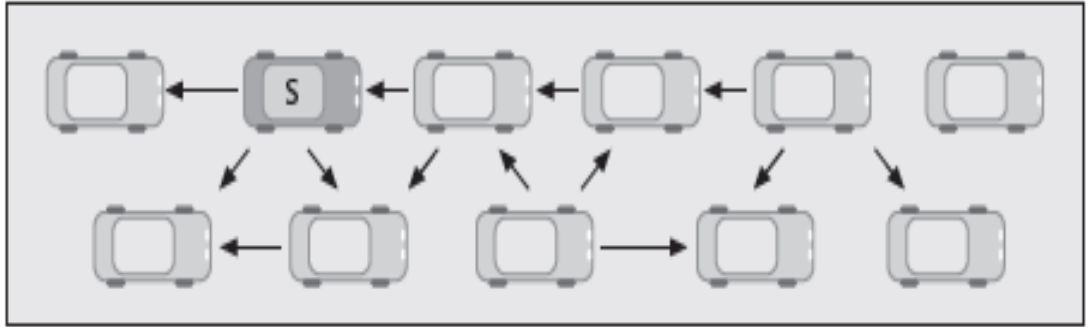
İletişim tek yönlü veya çift yönlüdür. Güvenlik uygulamaları için tercih edilmediğinden bilgi paketlerinin iletim önceliği düşüktür. Yol durumu uyarısı, park yeri bulma sistemi, harita güncelleme gibi uygulamalarda kullanılır. Şekil 2.6’da tek yöne yayın yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Tek yöne yayın yöntemi.

2.4.4 Gelişmiş bilgi dağıtım yöntemi

Bu yöntemde ağ parçaları arasında köprü oluşturmak ve bilgiyi belirli zaman aralığında dağıtmak ayrıca ağ parçalanmasından dolayı gerekli bilgiye ulaşamayan araçları bilgilendirmek amacıyla kullanılır. Duruma / olaya göre oluşturulan mesajlar depolanır ve belirli zamanlarda veya durumlarda yayınlanır. İletişim tek yönlüdür. Yol durumu / çalışması uyarısı, kaza uyarısı ve navigasyon uygulamalarında kullanılır. Şekil 2.7’de gelişmiş bilgi dağıtım yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Gelişmiş bilgi dağıtım yöntemi.

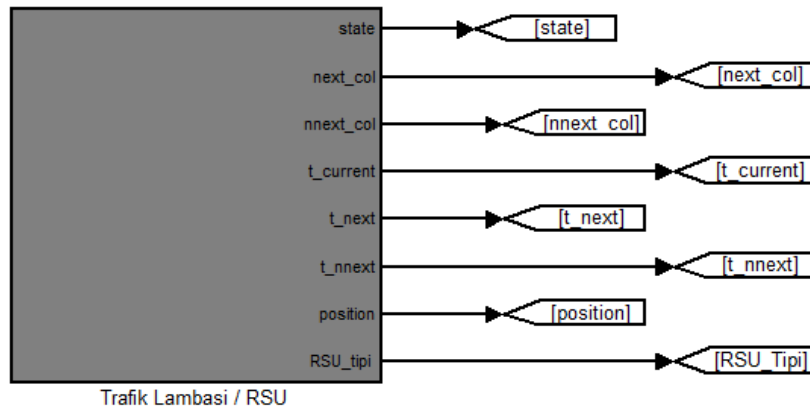
2.4.5 Bilgi birleştirme yöntemi

Bu yöntem, bir çok araç tarafından algılanan bir olay bilgisinin birleştirilerek araçlara bu şekilde dağıtılmasını amaçlar. Araçlara gelen mesajlar dağıtılmadan önce yeni bilgiler eklenir. Mesaj trafiği az olacağından paket düşmesi ve veri bozulma ihtimali en aza iner. Bilginin kalitesi önemli olduğundan zamana duyarlı uygulamalarda kullanılmaz.

Tekerlek modeli olarak, tekerlek dinamiğinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ve hem doğrusal ve yanal tekerlek kuvvetlerini hem de bu iki kuvvetin birbiri ile ilişkisini hesaba katan Dugoff tekerlek modeli seçilmiştir [34]. Motor modeli olarak, GCDC yarışmasında kullanılan Fiat Linea marka aracın motor haritası kullanılmıştır. Motor haritası gaz açıklığı ve motor devrini giriş olarak almakta ve motor torkunu çıkış olarak vermektedir. Vites modeli olarak da GCDC yarışması için İsmail Meriç Can UYGAN'ın hazırlamış olduğu vites modeli ve bu aracın vites oranları kullanılmıştır. Fren ve gaz alt kontrolcülerinde GCDC yarış ekibinin çıkarmış olduğu ters motor haritası ve yine yarış için hazırlanan kontrolcüler kullanılmıştır.

3.2 Trafik Işığı Modeli

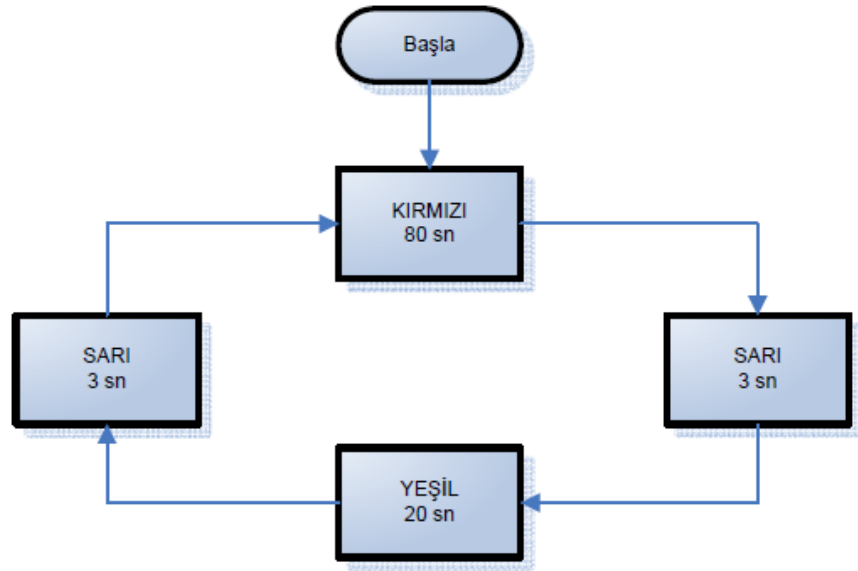
Şehir içi benzetimlerinde kullanılan trafik ışığı modeli için MATLAB/Simulink/Stateflow programında çizilen akış diyagramı kullanılmıştır. Trafik ışığı modeli kırmızı, yeşil ve sarı ışıklardan oluşacak şekilde tasarlanmış ve ışık sırası kırmızı-sarı-yeşil-sarı-kırmızı olarak düşünülmüştür. Trafik ışığı modeli içinde bulunduğu durumu (rengi), bir sonraki durumunu ve daha sonraki durumu ayrıca içinde bulunacağı durumun ne kadar süreceğini, bir sonraki duruma geçmesinin ne kadar süreceğini ve daha sonraki duruma geçmesinin ne kadar zaman süreceğini, ayrıca konumunu ve yol kenarı ünitesinin tipini (şehir içi / otoyol) yaklaştırmakta olan araca göndermektedir. Şekil 3.2'de trafik ışığı Simulink modeli, Çizelge 3.1'de trafik ışığı modelinde kullanılan parametrelerin açıklamaları ve Şekil 3.3'de ise Stateflow'da kurulan akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Trafik lambası MATLAB/Simulink modeli.

Çizelge 3.1 : Trafik ışığı modelinde kullanılan parametreler ve açıklamaları.

Parametre	Açıklama
<i>state</i>	Trafik ışığının hangi durumda (yeşil/sarı/kırmızı) olduğunu gösterir.
<i>next_col</i>	Trafik ışığının hangi duruma geçeceğini belirtir.
<i>nnext_col</i>	Trafik ışığının bir sonraki durumunu belirtir.
<i>t_current</i>	Trafik ışığının sonraki duruma ne zaman geçeceğini gösterir.
<i>t_next</i>	Trafik ışığının bir sonraki duruma ne zaman geçeceğini gösterir.
<i>t_nnext</i>	Trafik ışığının iki sonraki duruma ne zaman geçeceğini gösterir.
<i>position</i>	Trafik ışığının konumunu belirtir.
<i>RSU_tipi</i>	Trafik ışığının hangi tip yolda (Şehir içi / Otoyol) bulunduğunu belirtir.



Şekil 3.3 : Trafik lambası akış diyagramı.

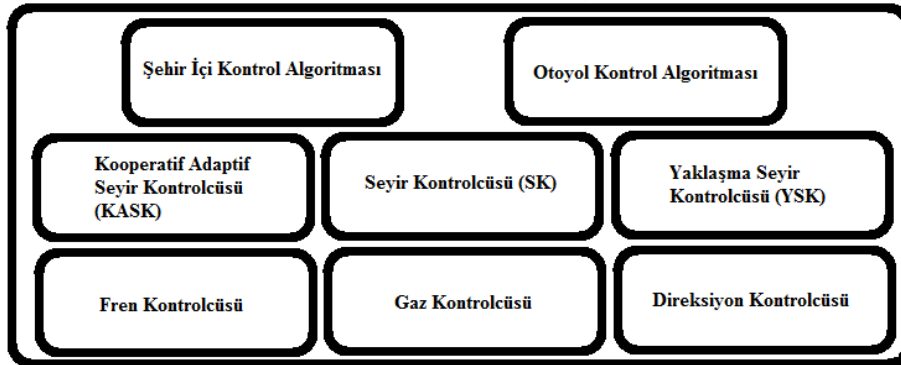
3.3 Yol Kenarı Ünitesi Modeli

Yol kenarı ünitesi modeli aracın gittiği yola uygun parametrelerin üst kontrolcü tarafından seçilmesini sağlar. *RSU_tipi* parametresi "1" olduğunda araç şehir içi durumuna uygun, "0" olduğunda ise otoyol durumuna uygun hız limitlerini ve güvenlik mesafesi değerlerini kullanmaktadır. Hız limitleri şehir içi için 60 km/s, otoyol için ise 120 km/s olarak, güvenlik mesafesi ise şehir içi senaryolar için 4 m, otoyol senaryoları için ise 20 m olarak seçilmiştir.

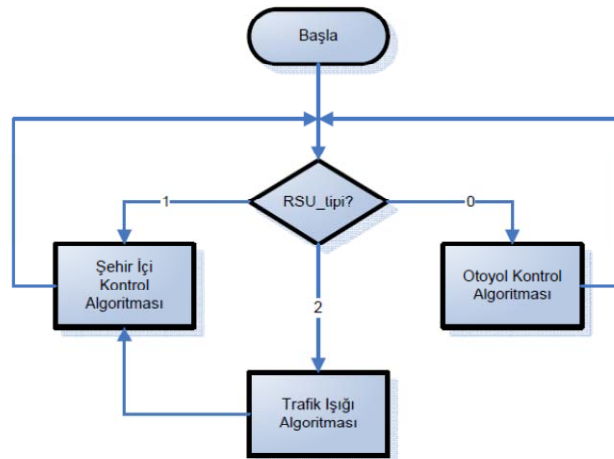
RSU_Tipi parametresi "2" olduğunda ise araç yaklaştığı yol kenarı ünitesinin bir trafik ışığı olduğunu algılar ve davranışını buna göre ayarlar. Bu durumda hız limiti ve güvenlik mesafesi, şehir içi senaryolarındaki ile aynıdır.

3.4 Akıllı Kontrol Ünitesi

Akıllı kontrol ünitesi veya başka bir deyişle üst kontrolcü aracın seyir sistemi, kooperatif adaptif seyir sistemi, şerit değiştirme, trafik ışığının durumuna göre durma veya kalkış yapma durumları arasındaki geçişleri sağlar. Seyir sistemi ve kooperatif adaptif seyir sistemi ile şerit değiştirme sistemini trafikteki araçlardan, trafik ışığından ve yol kenarı ünitelerinden gelen bilgilere göre devreye sokar ve çıkarır. Üst kontrolcü, şehir içi ve otoyol olmak üzere iki temel algorithmadan oluşur. Akıllı kontrol ünitesinin genel yapısı Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekil 3.5'te akıllı kontrol ünitesinin üst yapısının akış diyagramı görülebilir. Çizelge 3.2'de ise akıllı kontrol ünitesinde kullanılan parametreler ve açıklamaları verilmiştir.



Şekil 3.4 : Akıllı kontrol ünitesinin genel yapısı.



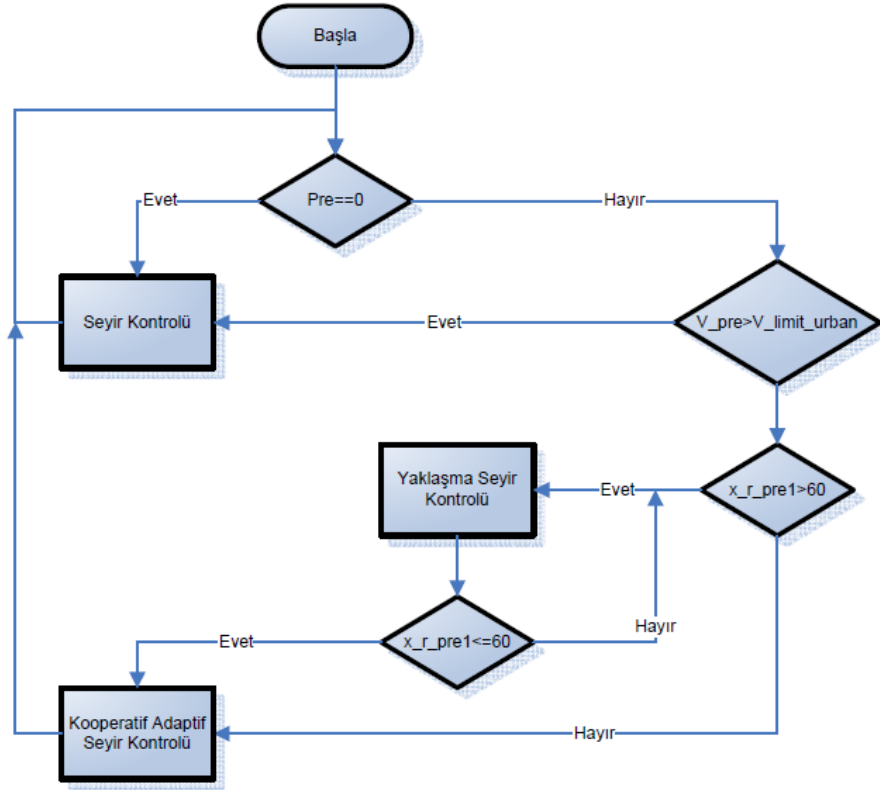
Şekil 3.5 : Akıllı kontrol ünitesi üst yapısının akış diyagramı.

Çizelge 3.2 : Akıllı kontrol ünitesinde kullanılan parametreler ve açıklamaları.

Parametre	Açıklama
x_safe	Aracın şerit değiştirmesi için geçeceği şeritte önünde ve arkasında olması gereken güvenlik mesafesi [m]
$x_r_pre1(2)$	Sağ (sol) şeritte trafik akış yönünde öndeki araca olan mesafe [m]
$V_pre1(2)$	Sağ (sol) şeritte trafik akış yönünde öndeki aracın hızı [m/sn]
V_cc_ref	Seyir kontrolü için referans hız değeri [m/sn]
V_act	Aracın anlık hız değeri [m/sn]
V_lim	Yol durumuna göre (şehir içi veya otoyol) üst hız limiti [m/sn]
V_low	Yol durumuna göre (şehir içi veya otoyol) alt hız limiti [m/sn]
$V_threshold$	Üst hız limiti ile alt hız limiti arasındaki fark [m/sn]
V_app_ref	Yaklaşma seyir kontrolü için referans hız değeri [m/sn]
Pre	Sağ ve/veya sol şeritte haberleşme mesafesi içerisinde araç olması durumu (0:Her iki şeritte de yok, 1: Sağ şeritte var, 2: Sol şeritte var, 3: Her iki şeritte de var)
mod	Aracın kendisine ait ve dışarıdan gelen verilere göre kontrolcü seçim parametresi (1:Seyir kontrolü, 2:Yaklaşma seyir kontrolü, 3:Kooperatif adaptif seyir kontrolü, 4:Trafik ışığı kontrolü)
cc	Seyir kontrolü için açma/kapama parametresi
app	Yaklaşma seyir kontrolü için açma kapama parametresi
$lane$	Aracın bulunduğu şerit (1:Sağ, 2:Sol)
$lane_change$	Aracın şerit değiştirdiğini belirten parametre (1: Sol şeritten sağ şeride, 2: Sağ şeritten sol şeride)
$lane_ref$	Otoyolda şeritlerin ortalarının y eksenindeki konumu [m] (Sağ şerit:0 m, Sol şerit:4 m)
$delta_ref$	Şerit değiştirme manevrası sırasında olması gereken referans ön tekerlek açısı [rad]

3.4.1 Şehir içi algoritması

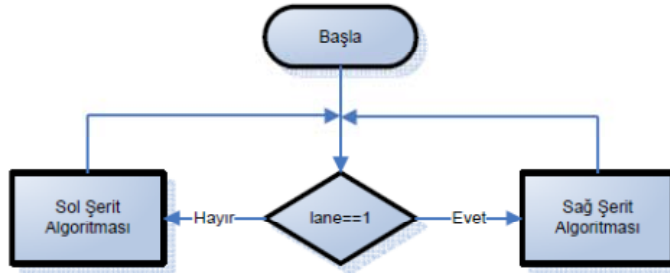
'RSU_Tipi' bilgisi 0 olduğunda devreye girer. Şehir içi algoritması seyir kontrolü (SK), kooperatif adaptif seyir kontrolü (KASK) ve bu ikisi arasındaki geçişi sağlayan yaklaşma seyir kontrolü (YSK) olmak üzere üç farklı moddan oluşur. Şekil 3.6'da şehir içi kontrol algoritmasının akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Şehir içi kontrol algoritmasının akış diyagramı.

3.4.2 Otoyol algoritması

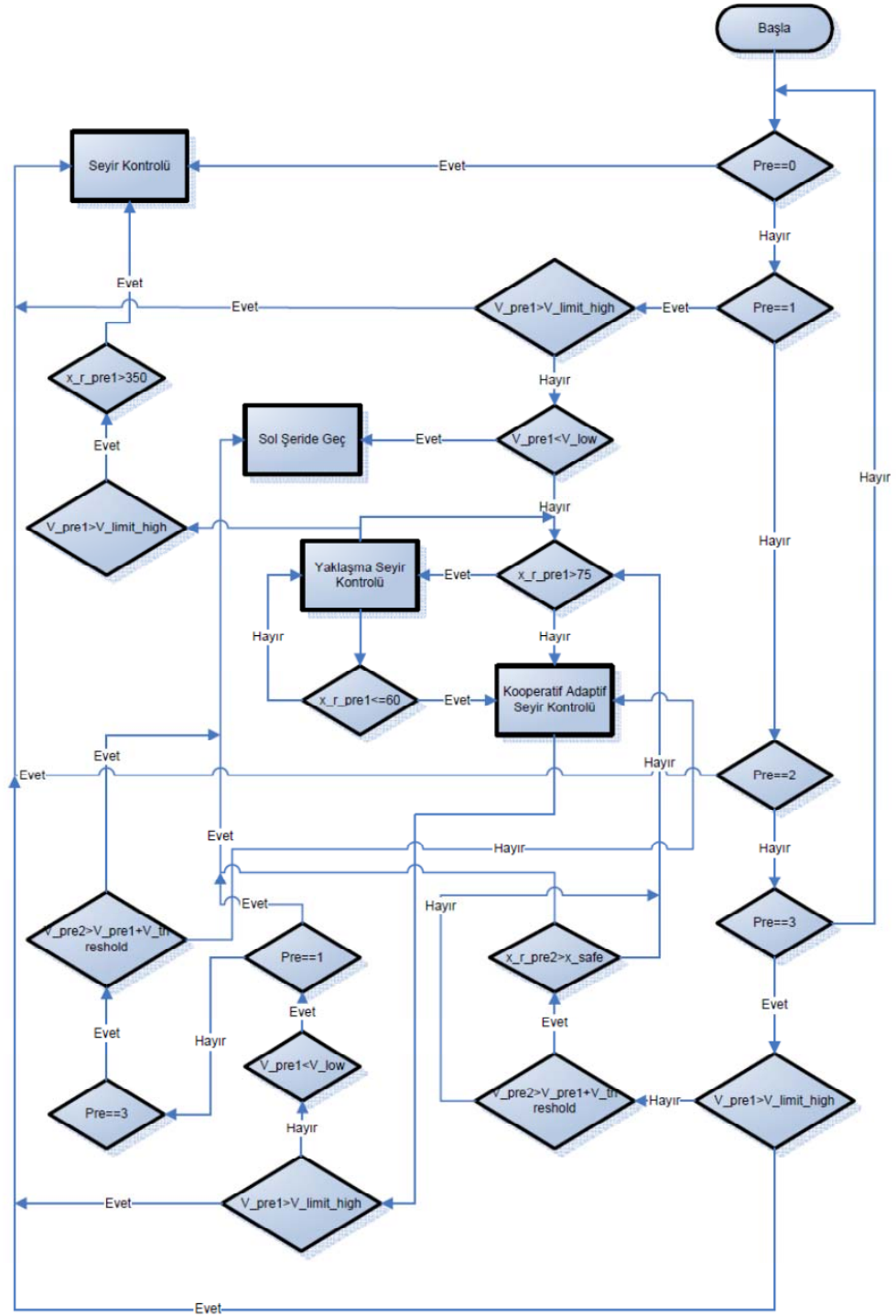
Yol kenarı ünitesinden gelen *RSU_Tipi* bilgisi "0" olduğunda üst kontrolcü otoyol algoritmasını devreye sokar. Otoyol algoritmasında seyir kontrolü, kooperatif adaptif seyir kontrolü, yaklaşma seyir kontrolüne ek olarak şerit değiştirme kontrolü de eklenmiştir. Bu sebeple kontrol kolaylığı bakımından aracın y eksenindeki konumu dikkate alınarak algoritma sağ ve sol şerit algoritması olarak ikiye bölünmüştür. Şekil 3.7'da aracın sağ ve sol şerit algoritmaları arasındaki geçişini gösteren akış diyagramı görülebilir.



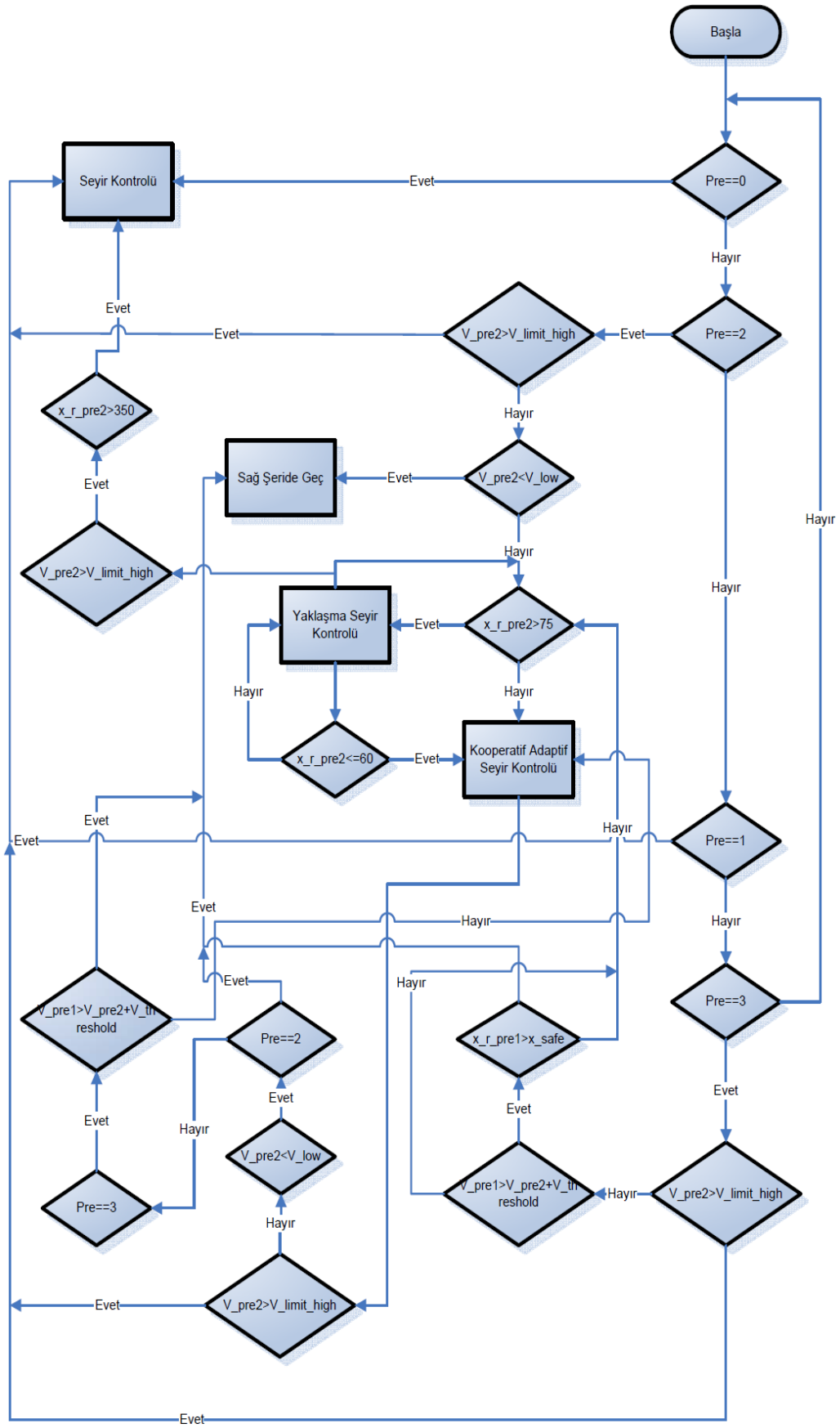
Şekil 3.7 : Sağ ve sol şerit algoritmaları arasındaki geçiş akış diyagramı.

3.4.2.1 Sağ ve sol şerit algoritmaları

Otoyol algoritması sağ ve sol şerit algoritmaları olmak üzere iki farklı durum makinesi olarak tasarlanmıştır. Kontrol algoritmasının bu şekilde tasarlanmasının nedeni durumlar arasındaki geçişlerdeki karmaşıklığı azaltmaktır. Şekil 3.8'de sağ şerit algoritması, Şekil 3.9'da ise sol şerit algoritması gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Sağ şerit algoritmasının akış diyagramı.



Şekil 3.9 : Sol şerit algoritmasının akış diyagramı.

3.4.3 Akıllı kontrol ünitesi kontrolcöleri

Akıllı kontrol ünitesinde seyir kontrolcüsü (SK), yaklaşma seyir kontrolcüsü (YSK), kooperatif adaptif seyir kontrolcüsü (KASK), trafik ışığı yaklaşma kontrolcüsü (TYK) ve şerit değıştirme/koruma kontrolcüsü (ŞDK) olmak üzere 5 farklı kontrolcü bulunmaktadır. Bu kontrolcölerin tasarımında Simulink Control Design, Simulink PID Tuner ve Ziegler/Nichols yöntemi kullanılmıştır.

Seyir kontrolcüsü, senaryodaki aracın önünde herhangi bir başka araç bulunmadığı zaman devreye girerek, yol kenarı ünitesinden gelen hız limiti bilgisine göre aracın hızını kontrol eder. Yaklaşma seyir kontrolcüsü ise araç trafik akış yönünde ilerisinde bulunan bir araç ile iletişime geçtiğinde, seyir kontrolünden kooperatif adaptif seyir kontrolüne yumuşak bir geçiş gerçekleşmesini sağlar. Bu kontrolcü devreye girdiğinde aracın hızı öndeki aracın seyir hızına bağılı olarak değışir (3.1).

$$V_{app_ref} = \left(V_{act} / V_{pre} \right) + V_{pre} + 1 \quad (3.1)$$

Bu denklemde V_{app_ref} yaklaşma seyir kontrolcüsüne gönderilen referans hızı, V_{act} aracın hızını, V_{pre} öndeki aracın hızını belirtmektedir. Seyir ve yaklaşma seyir kontrolcülerinde PID kontrol yöntemi kullanılmıştır.

Kooperatif adaptif seyir kontrolünde araçlar artık referans hız değerlerine değil araçlar arası mesafeye ve/veya zaman farkına bağılı olarak hızlarını değıştirirler. Simölasyonlarda bölüm 1.2.1'de anlatılan mesafe yönetimi yöntemlerinden sabit takip süresi yöntemi seçilmiş ve PD kontrolcü kullanılmıştır.

Trafik ışığı yaklaşma kontrolcüsü, iki alt kontrolcöden oluşmaktadır. Birincisi aracın önünde lider araç bulunmaması durumunda devreye giren seyir kontrolcüsü (PID), diğeri ise lider araç araç bulunması durumunda devreye giren kooperatif adaptif seyir kontrolcüsüdür (PD).

Şerit değıştirme/koruma kontrolcüsünün tasarımında Özgür TUNÇER'in yüksek lisans tez çalışmasında [35] kullandığı PD kontrolcü ve Prof Dr. Levent GÜVENÇ'in 'Vehicle Control Systems' ders notlarında [33] anlatılan model regölätöründen faydalanılmıştır.

4. SENARYOLAR VE BENZETİM SONUÇLARI

Bir önceki bölümde anlatılan üst kontrolcü algoritmalarını denemek için iki adet şehir içi ve dört adet otoyol senaryosu oluşturularak benzetim sonuçları sunulmuştur.

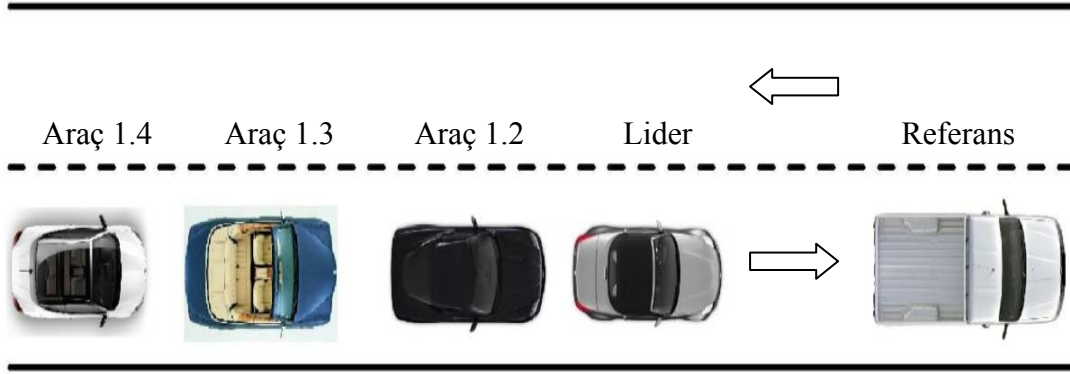
4.1 Şehir İçi Senaryoları

Şehir içi senaryoların seçiminde dikkat edilen husus senaryoların trafik ışığında ve şehir içi trafikte sık karşılaşılan durumlardır. şehir içi durumlar için iki adet senaryo düşünülmüştür. Bunlardan ilki şehir içi konvoy halinde ilerleyen araçların birbirini takibi, diğeri trafik ışığına gelen bir konvoyun önce kırmızı ışıktaki durması ardından hep birlikte kalkış yapmasıdır. Şehir içi senaryolarında hız limiti olarak 60 km/s (16.67 m/sn) değeri baz alınmıştır. Araçlar arasındaki asgari mesafenin 4 m olmasına izin verilmektedir ve takip süresi 0.5 sn'dir. Şehir içi senaryolarındaki varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- Senaryodaki araçların hepsinde seyir kontrolü, adaptif seyir kontrolü ve yaklaşma seyir kontrolü sistemlerinin bulunduğu varsayılmıştır.
- Araçların otomatik olarak şerit değiştirmedeği, şerit değiştirme işleminin aracın sürücüsü tarafından gerçekleştirildiği ve bu eylemin de aracın otonom moddan çıkmasına neden olduğu varsayılmıştır.
- Bütün araçlarda haberleşme sistemi bulunduğu ve bağlantının hiç kesilmediği yani veri alışverişinin hiç kopmadığı varsayılmıştır.
- Araçların yol kenarı ünitesinden devamlı olarak yol tipi ve trafik ışığına ait bilgileri aldığı ve bağlantının hiç kopmadığı varsayılmıştır.
- Araçların konvoyla katılma, ayrılma gibi prosedürleri otomatik olarak gerçekleştirdiği varsayılmıştır. Gerçekte araçların birbirlerine yollaması gereken konvoyla katılma isteği veya konvoydan ayrılma isteği gibi mesajların otomatik olarak gönderildiği varsayılmıştır.

4.1.1 Senaryo - 1: Şehir içi takip

Şehir içi takip senaryosunda konvoyda bir lider araç, 3 adet araç takipçi araç ve bir referans aracı olduğu varsayılmıştır. Senaryonun görsel tasarımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

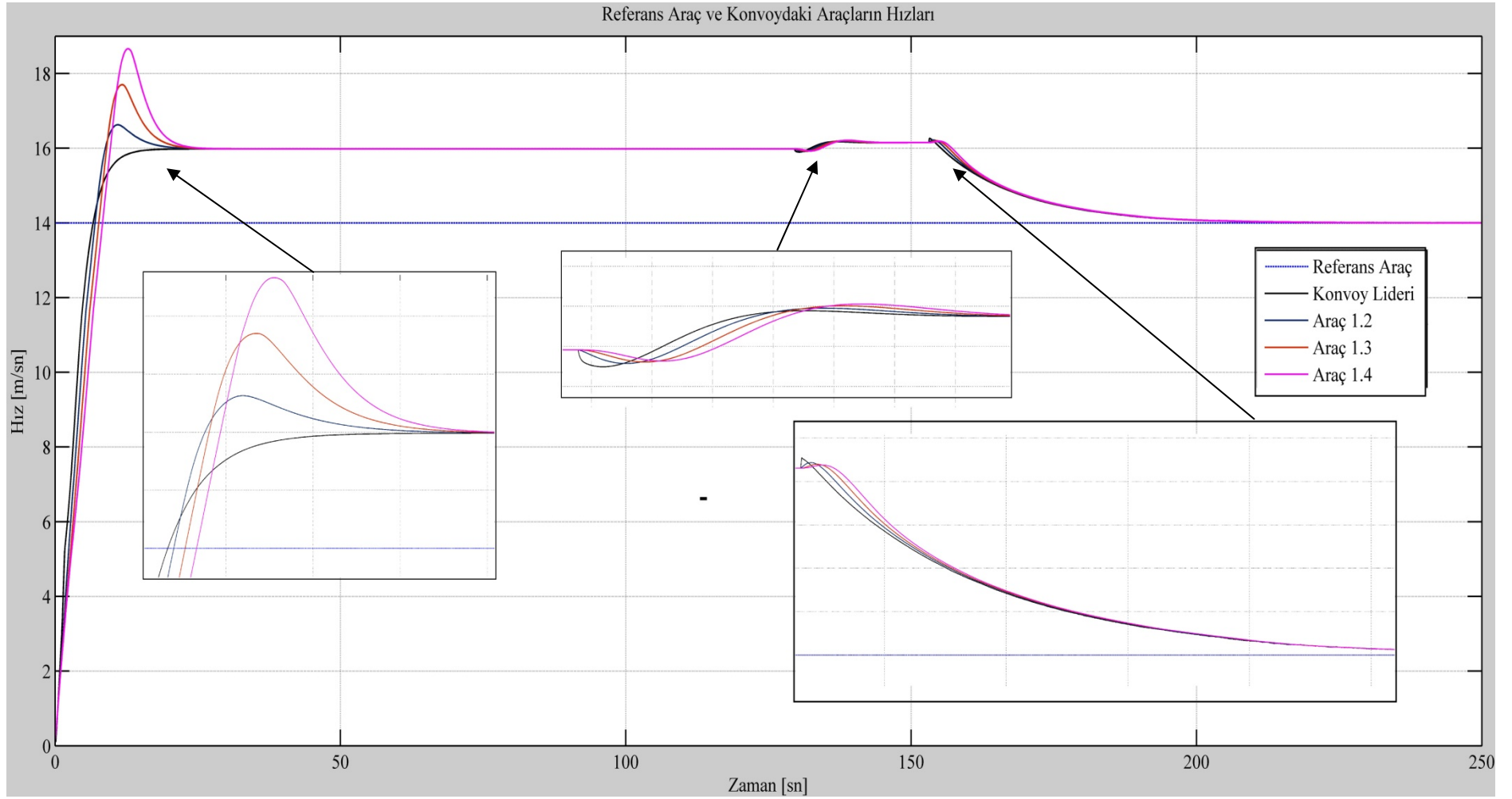


Şekil 4.1 : Şehir içi takip senaryosu.

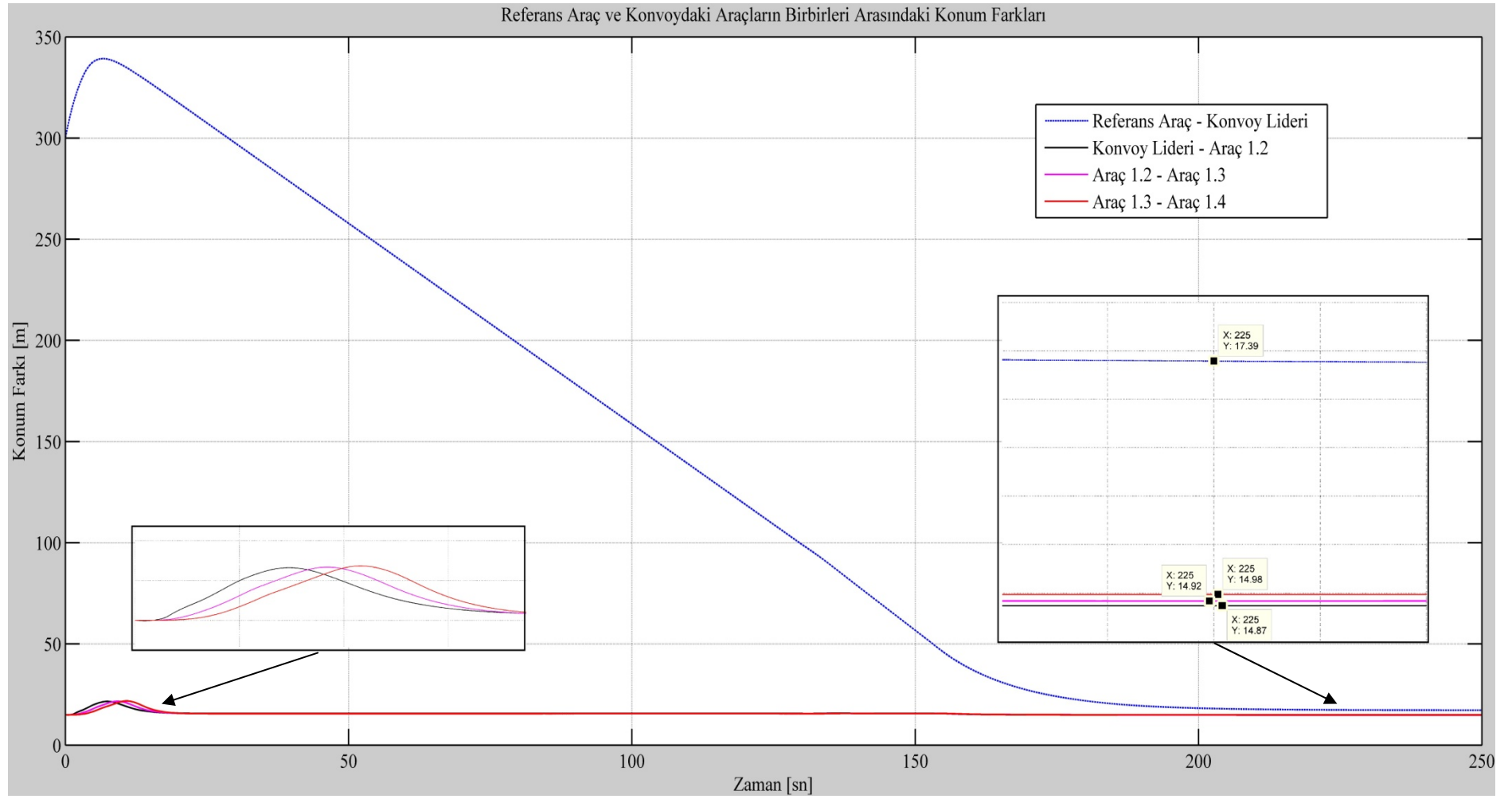
Senaryoda lider araç ve 3 adet takipçi, belirli bir ilk konum ve ilk hızla başlayarak kendi aralarında konvoy oluşturur. Lider araç, sabit bir hızla ilerleyen referans araçla bağlantı kurduğunda, önce aradaki mesafeyi kapatmak için YSK moduna geçer. Mesafe KASK moduna geçmek için gereken sınır değer altına düştüğünde ise liderliği referans araca bırakır. En son durumda referans araç artık lider araçtır ve arkasındaki 4 adet takipçi ile toplam 5 araçlık bir konvoy halinde ilerlemektedirler. Şehir içi takip senaryosunda araçların ilk konum ve hızları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği üzere referans araç yolun 400. metresinde 14 m/sn sabit hızla ilerlemekte konvoy ise lideri 100. metrede ve arkasındaki araçlarda 15 metre farkla dizilmiş şekilde durağan haldedirler. Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'te sırasıyla senaryodaki araçların hız, konum farkı ve ivme grafikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Şehir içi takip senaryosunda araçların ilk konum ve hızları.

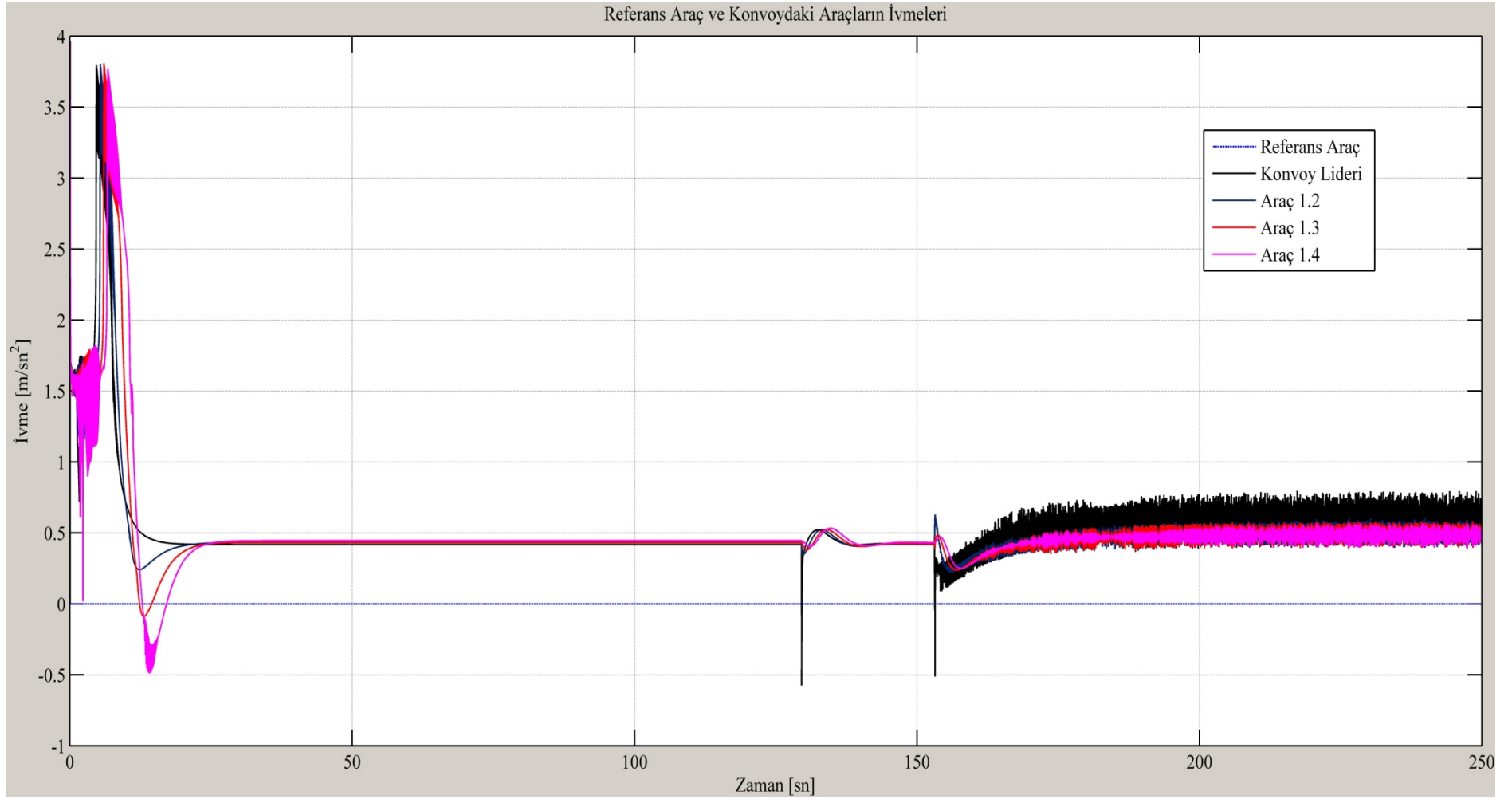
Araç	Konum [m]	Hız [m/sn]
Referans Araç	400	14
Konvoy Lideri (Araç 1.1)	100	0.1
Araç 1.2	85	0.1
Araç 1.3	70	0.1
Araç 1.4	55	0.1



Şekil 4.2 : Senaryo 1 - Araçların hızları.



Şekil 4.3 : Senaryo 1 - Araçlar arasındaki konum farkları.

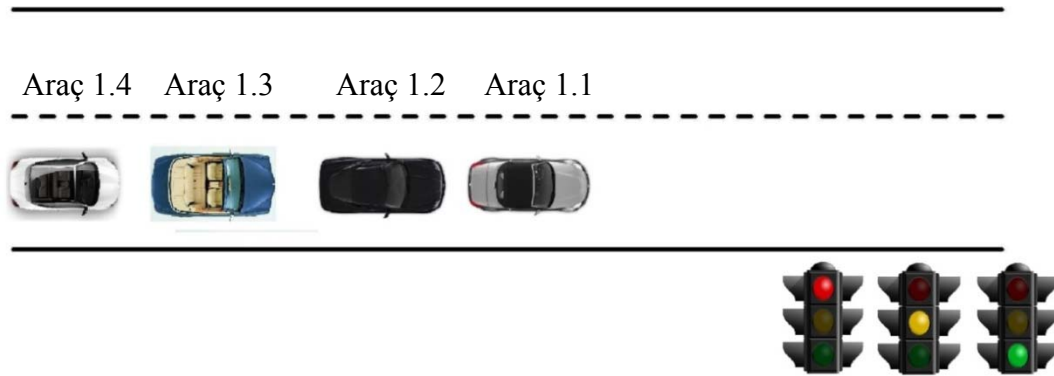


Şekil 4.4 : Senaryo 1 - Araçların ivmeleri.

Grafiklerden görülebileceği üzere lider araç harekete geçtiğinde algılama ve haberleşme mesafesi içinde herhangi bir araç olmadığından seyir kontrolü (SK) moduna geçmekte ve şehir içi hız limiti olan 16.67 m/sn (60 km/s) değerini referans hız değeri olarak belirlemektedir. Araç 1.2, 1.3 ve 1.4 ise lider aracın arkasında takip süresine göre 15.5 m takip mesafesi ile liderin arkasından ilerlemektedirler. Lider araç, 14 m/sn (50 km/s) sabit hızla seyir etmekte olan referans araç ile iletişim kurmaya başladığında, önce aradaki mesafeyi azaltmak için yaklaşma seyir kontrolü (YSK) moduna geçmektedir. Referans araç ile lider arasındaki mesafe 60 m'nin altına indiğinde lider araç artık KASK moduna geçerek liderliği referans araca bıraktığı ve konvoydaki diğer araçların ise KASK modundan hiç çıkmadan takip mesafesini koruyarak yollarına devam ettiği görülmektedir.

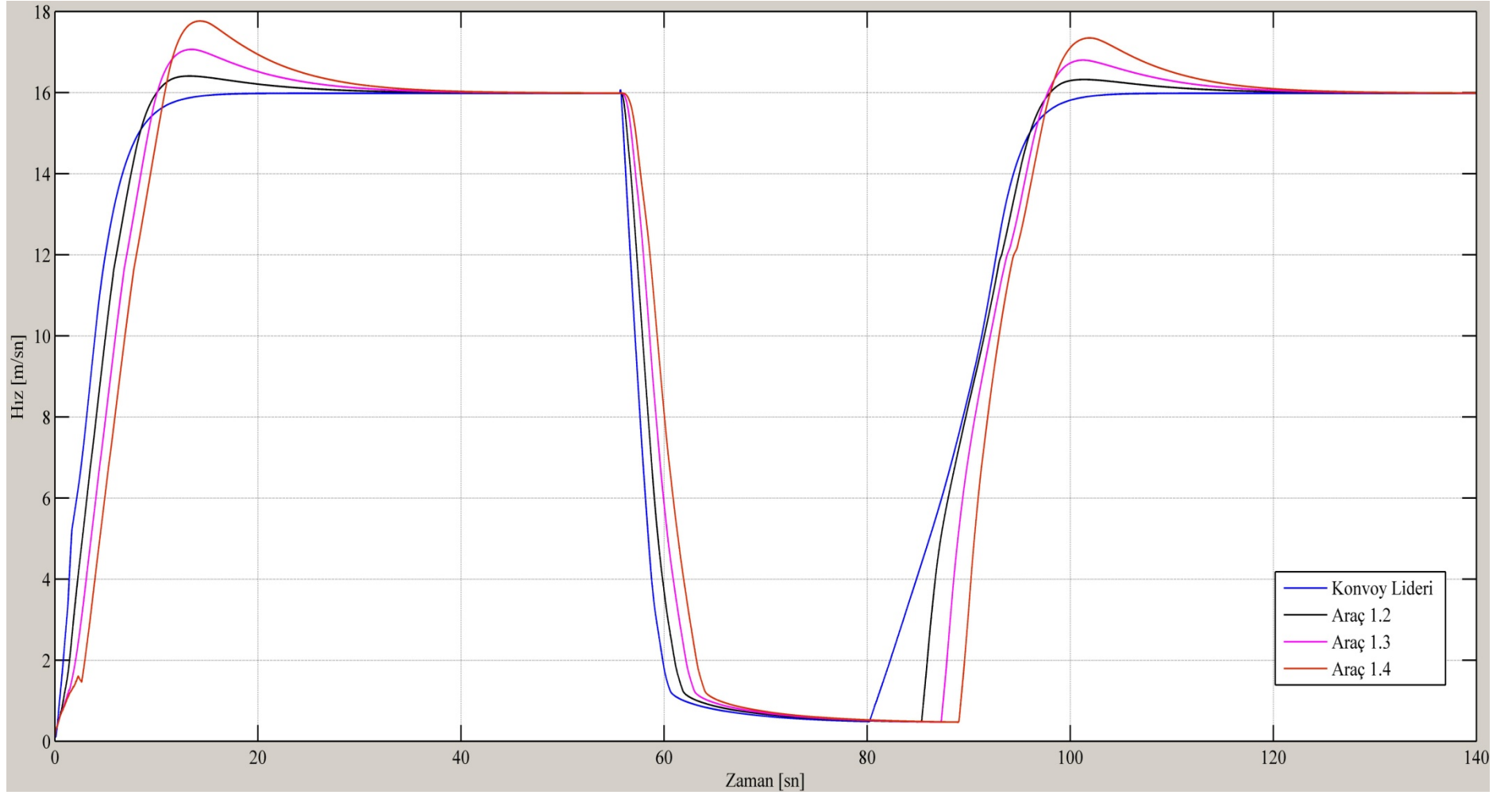
4.1.2 Senaryo - 2: Trafik Işığı Dur/Kalk

İkinci senaryoda konvoy halinde giden araçların, şehir içinde trafik ışığı ile karşılaşmaları durumunda konvoy liderinin ışığın durumuna göre vereceği kararlar (hızlanma/yavaşlama) ve takipçilerin davranışları incelenmiştir. Bu senaryoda istenen, konvoydaki araçların trafik ışığına sürücü konforunu bozmayacak şekilde yaklaşmasıdır. Şekil 4.5'te Senaryo 2'nin görsel hali gösterilmiştir.

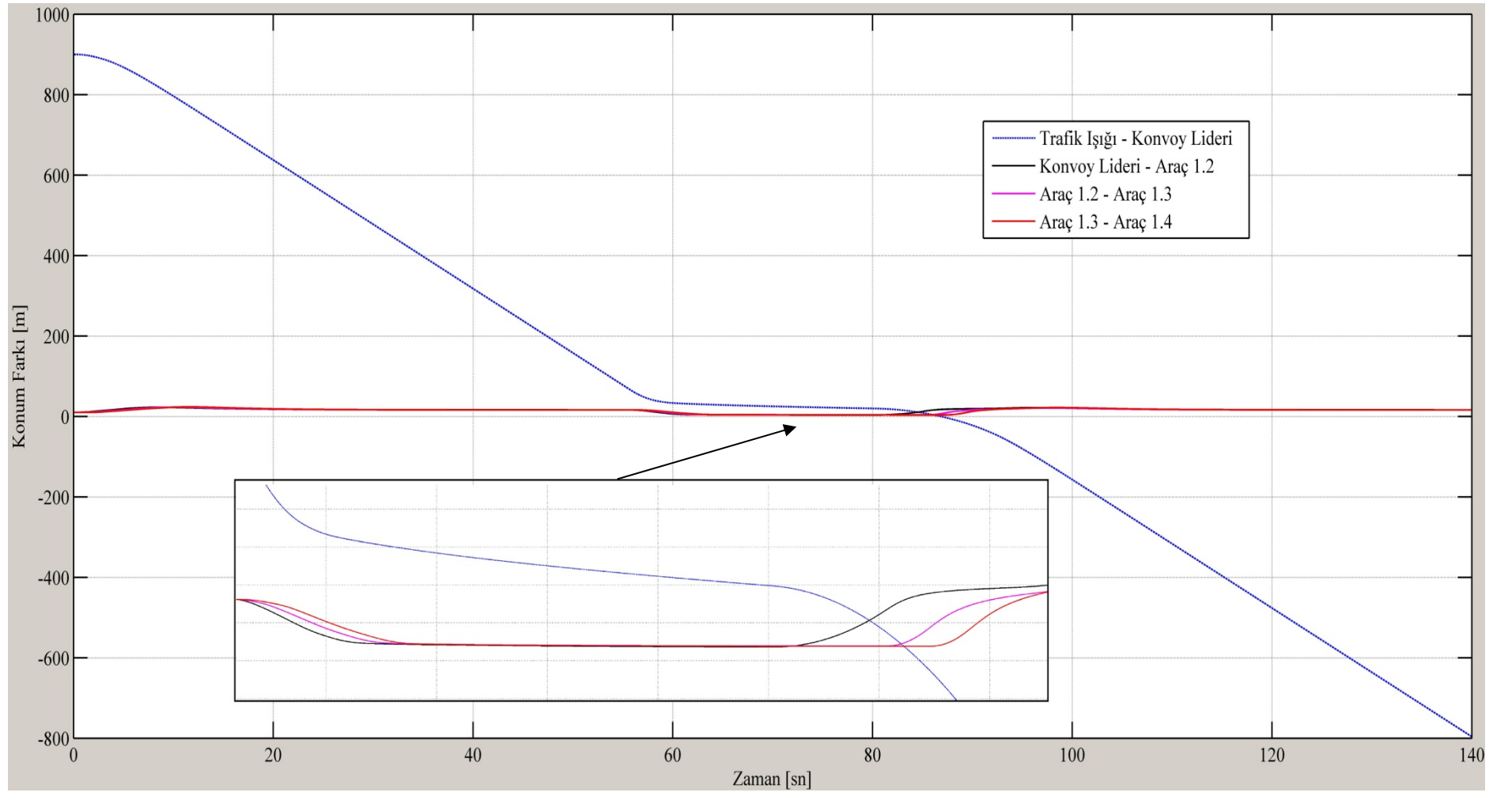


Şekil 4.5 : Trafik ışığı dur/kalk senaryosu.

Senaryoda konvoydaki araçlar aralarında 10 m fark varken durağan halden harekete geçerek yolun 1. kilometresinde bulunan trafik ışığına yaklaşmaya başlar. Trafik lambası ile lider aracın arasındaki mesafe güvenlik mesafesinin altına düştüğünde, lider araç fren yapması ve trafik ışığına 4m mesafe kaldığında durması planlanmıştır. Takipçilerde aynı şekilde önlerindeki araçla aralarındaki takip mesafesini yavaşladıkça azaltarak birbirlerine yaklaşırlar. Şekil 4.6 ve 4.7'de sırasıyla senaryodaki araçların hızları ve aralarındaki konum farkları görülebilir.



Şekil 4.6 : Senaryo 2 - Araçların hızları.



Şekil 4.7 : Senaryo 2 - Araçların arasındaki konum farkları.

4.2 Otoyol Senaryoları

Otoyol senaryoları, otonom otoyol sistemlerinin (AHS: Automated Highway System) kullanılmaya başlaması durumunda otoyollarda meydana gelebilecek durumlar düşünülerek oluşturulmuştur. Toplamda 4 adet Senaryo tasarlanmıştır. İlk senaryoda (Senaryo 3) otoyolda 4 araçlık bir konvoyun, lider aracın yönetiminde konvoy hareketidir. İkinci senaryoda otoyolda tek başına ilerleyen bir aracın, önüne istenen konvoy hızından düşük bir araç çıktığı zaman yapacağı şerit değiştirme işlemi tasarlanmıştır. Üçüncü senaryoda otoyolda aynı şeritte giden iki konvoyun birleşmesi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Dördüncü ve son otoyol senaryosu ise yoldaki her iki şeritte birden araç olması durumunda aracın katılacağı konvoyu seçmesi ve buna bağlı olarak şerit değiştirerek sol şeritteki konvoya veya değiştirmeden sağ şeritteki konvoya katılımıdır.

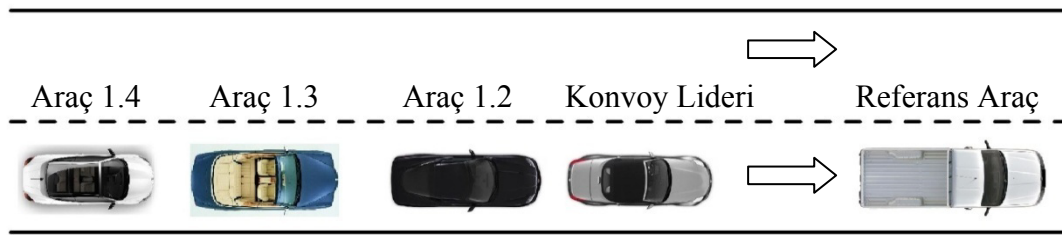
Otoyol senaryolarında hız limiti 120 km/s (33.34 m/sn) seçilmiştir. Araçlar arasındaki güvenlik mesafesi (iki araç arasında mümkün olabilecek minimum mesafe) ise 20 m olarak seçilmiştir. Otoyol senaryolarındaki varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Senaryodaki araçların hepsinde seyir kontrolü, adaptif seyir kontrolü ve yaklaşma seyir kontrolü sistemleri ile şerit değiştirme sistemi bulunduğu varsayılmıştır.
- Otoyol, duble yol olarak yani iki şerit geliş - iki şerit gidiş yönü olarak tasarlanmıştır. Ancak senaryolarda sadece aracın gidiş yönündeki şeritler dikkate alınmıştır. Karşı şeritlerden araç gelmediği varsayılmıştır.
- Otoyol senaryolarında bütün kontrolün üst kontrolü ve buna bağlı olan alt kontrolcülerde olduğu, araçtaki sürücünün hiç bir şekilde müdahale etmediği varsayılmıştır.
- Senaryolardaki mesafeler boyunca otoyola katılım veya otoyoldan çıkış olmadığı varsayılmıştır.
- Bütün araçlarda haberleşme sistemi bulunduğu ve bağlantının hiç kesilmediği yani veri alışverişinin hiç kopmadığı varsayılmıştır.
- Araçların yol kenarı ünitesinden devamlı olarak yol tipi ve trafik ışığına ait bilgileri aldığı ve bağlantının hiç kopmadığı varsayılmıştır.

- Araçların konvoyla katılma, ayrılma gibi prosedürleri otomatik olarak gerçekleştirdiği, gerçekte araçların birbirlerine yollaması gereken konvoyla katılma isteği veya konvoydan ayrılma isteği gibi mesajların otomatik olarak gönderildiği varsayılmıştır.

4.2.1 Senaryo - 3: Otoyol takip

Otoyol senaryolarının ilki otoyolda seyir halinde bulunan 4 araçlık bir konvoydaki her aracın lider aracın ivmesinde ve buna bağlı olarak hızında meydana gelen değişimlere verdikleri cevaplar ve konvoy kararlılığı incelenmiştir. Senaryo 3'ün görsel hali Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Otoyol takip senaryosunun özellikleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Bu senaryonun 1 numaralı senaryodan farkı, araçların otoyolda hareket etmesi ve bu nedenle hız limitinin 120 km/s olması ile başlangıçta araçların arasında 25 m mesafe farkı olmasıdır.

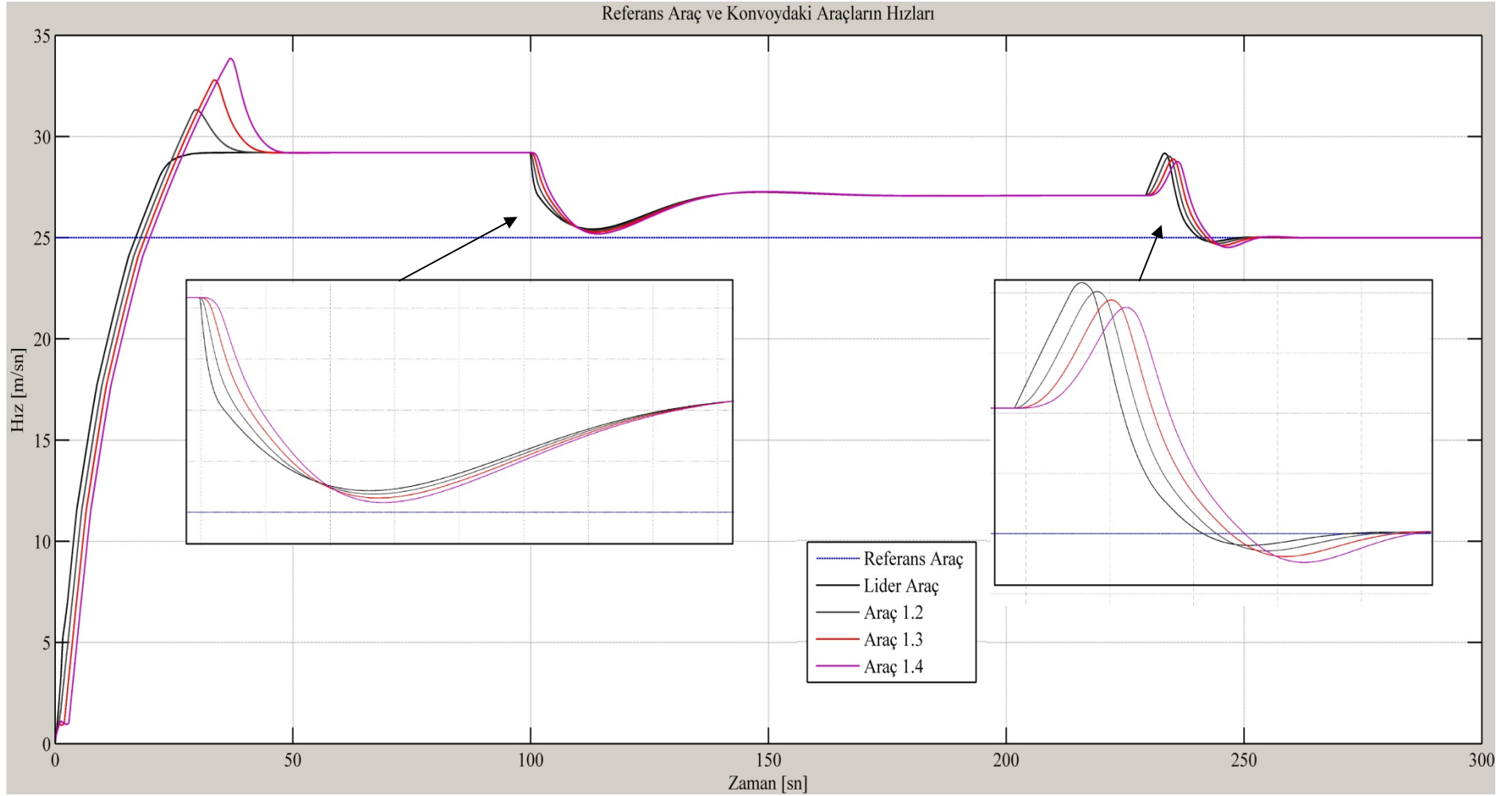


Şekil 4.8 : Otoyol takip senaryosu.

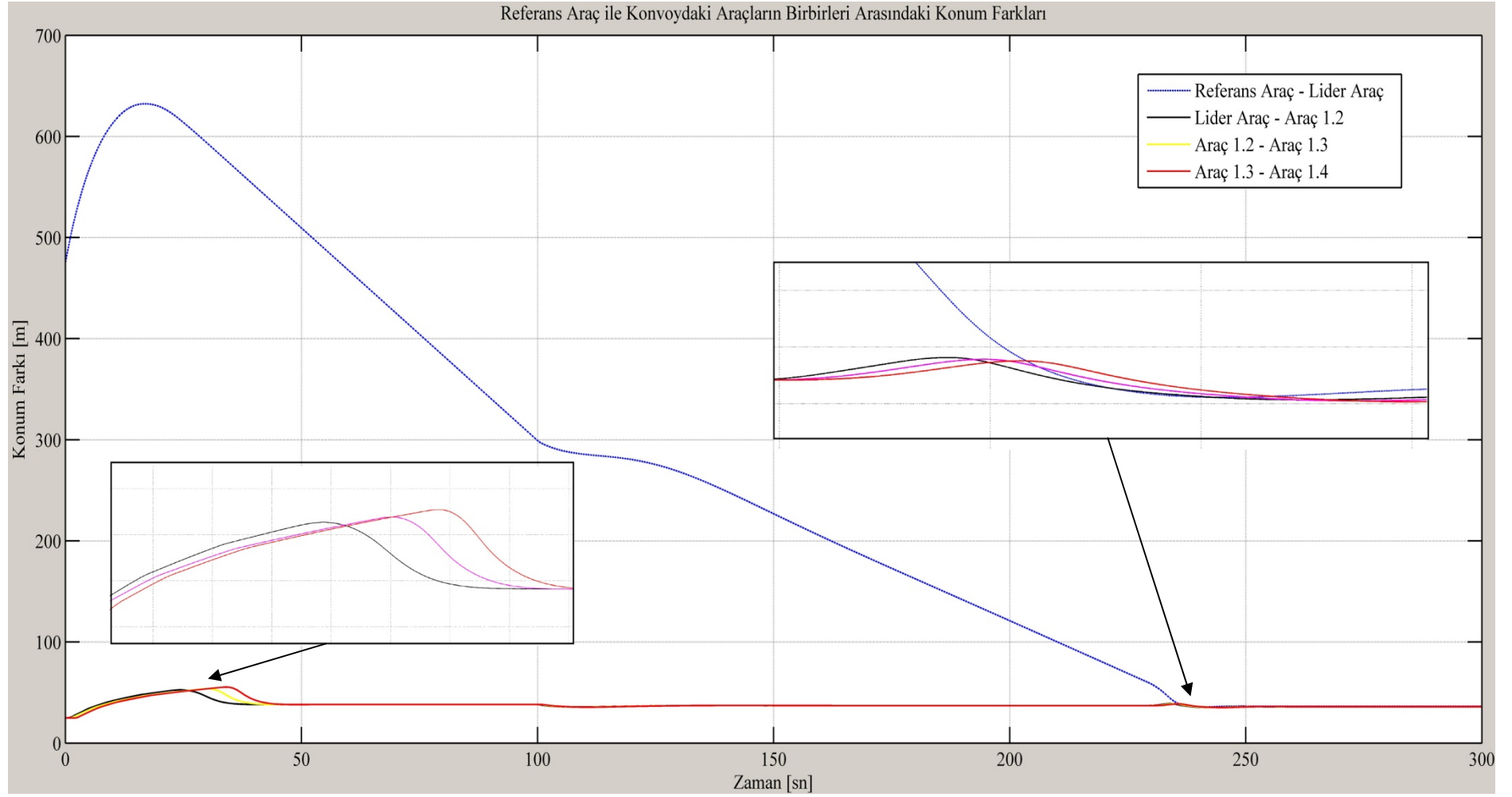
Araçlar birinci senaryodakine benzer şekilde hareket edeceklerdir. Ancak takip süresi 0.5 sn olduğundan ve güvenlik mesafesi şehir içi senaryolarından farklı olarak 20 m seçildiğinden, araçların arasındaki takip mesafesi de bu değerlere göre değişmiştir. Lider araç 90 km/s hızla seyir halinde olan referans araca yaklaştığında liderliği bırakıp konvoydaki ikinci araç konumuna geçmiştir. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de sırasıyla senaryodaki araçların hız, konum farkı ve ivme grafikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Otoyol takip senaryosu özellikleri.

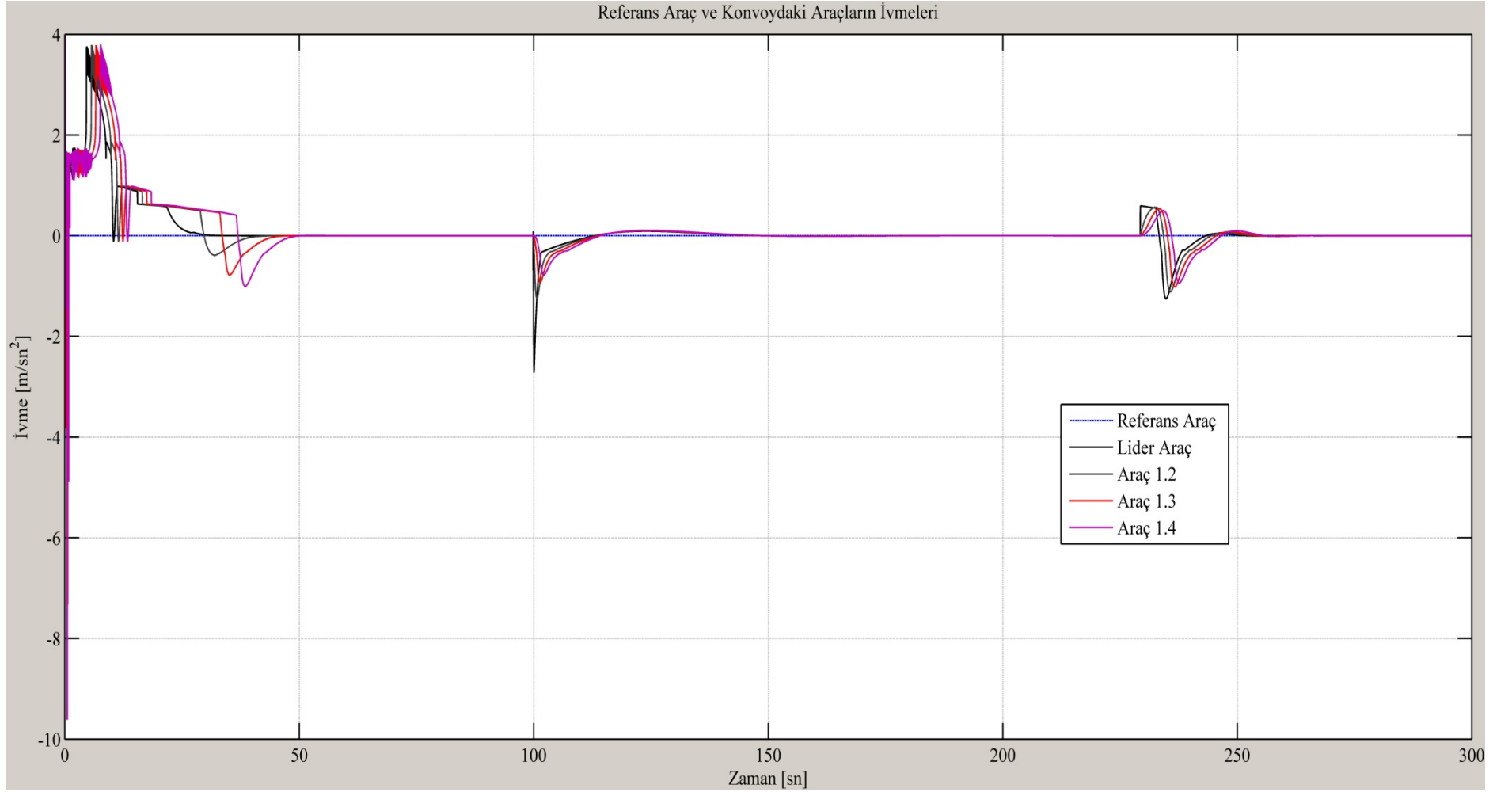
Araçlar	Konum [m]	Hız [m/sn]
Referans Araç	600	25
Lider Araç (Araç 1.1)	125	0.1
Araç 1.2	100	0.1
Araç 1.3	75	0.1
Araç 1.4	50	0.1



Şekil 4.9 : Senaryo - 3: Araçların hızları.



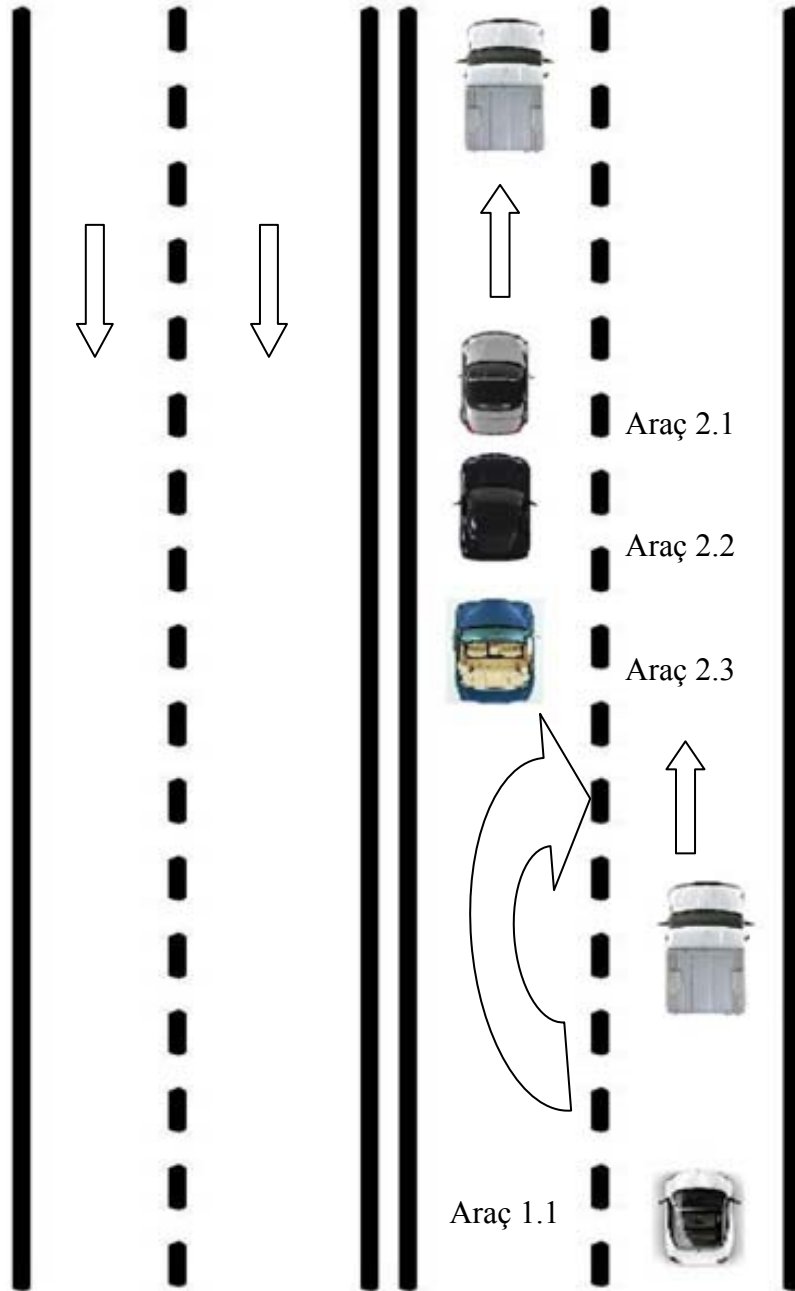
Şekil 4.10 : Senaryo - 3: Araçlar arasındaki konum farkları.



Şekil 4.11 : Senaryo - 3: Araçların ivmeleri.

4.2.2 Senaryo - 4: Otoyol şerit değiştirme

İkinci otoyol senaryosunda sağ şeritte giden bir aracın, gidiş yönünde, seyir halinde sağ ve sol şeritlerde bulunan araçların konumuna göre yapacağı konvoy oluşturma, konvoydan ayrılma ve şerit değiştirme hareketleri incelenmiştir. Sağ şeritte araç 1.1 ile 1 numaralı referans araç ile sol şeritte toplamda 3 adet araçtan oluşan 2 numaralı konvoy ve 2 numaralı referans araç bulunmaktadır. Şekil 4.12'de bu senaryonun görsel hali gösterilmiştir.



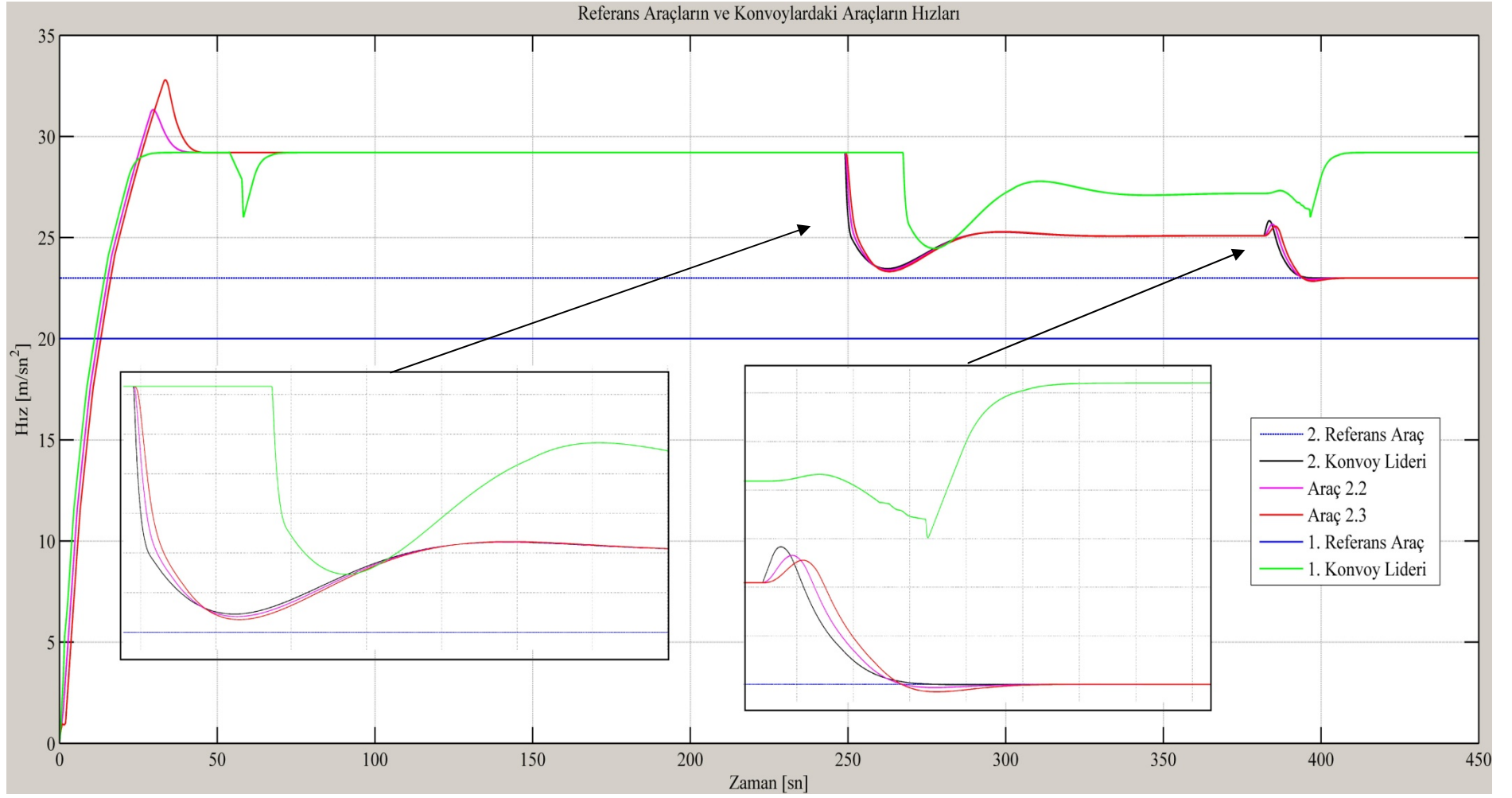
Şekil 4.12 : Otoyol şerit değiştirme senaryosu.

Senaryoda sağ şeritte tek araçtan oluşan bir konvoy, sol şeritte ise u araçtan oluşan ikinci bir konvoy bulunmaktadır. sağ şeritte bulunan aracın trafik akış yönünde ilerisinde bulunan referans aracı geçmek için sol şerite geçmesi, ardından sol şeritteki konvoyu katılması daha sonra tekrar sağ şeritten yoluna devam etmesi beklenmektedir. Bu senaryodaki araçlar bulundukları şeritlere göre (sağ şerit / 1 numara, sol şerit / 2 numara olarak) numaralandırılmıştır. Araçların ilk konum ve ilk hız bilgileri izelge 4.3'te gösterilmiştir.

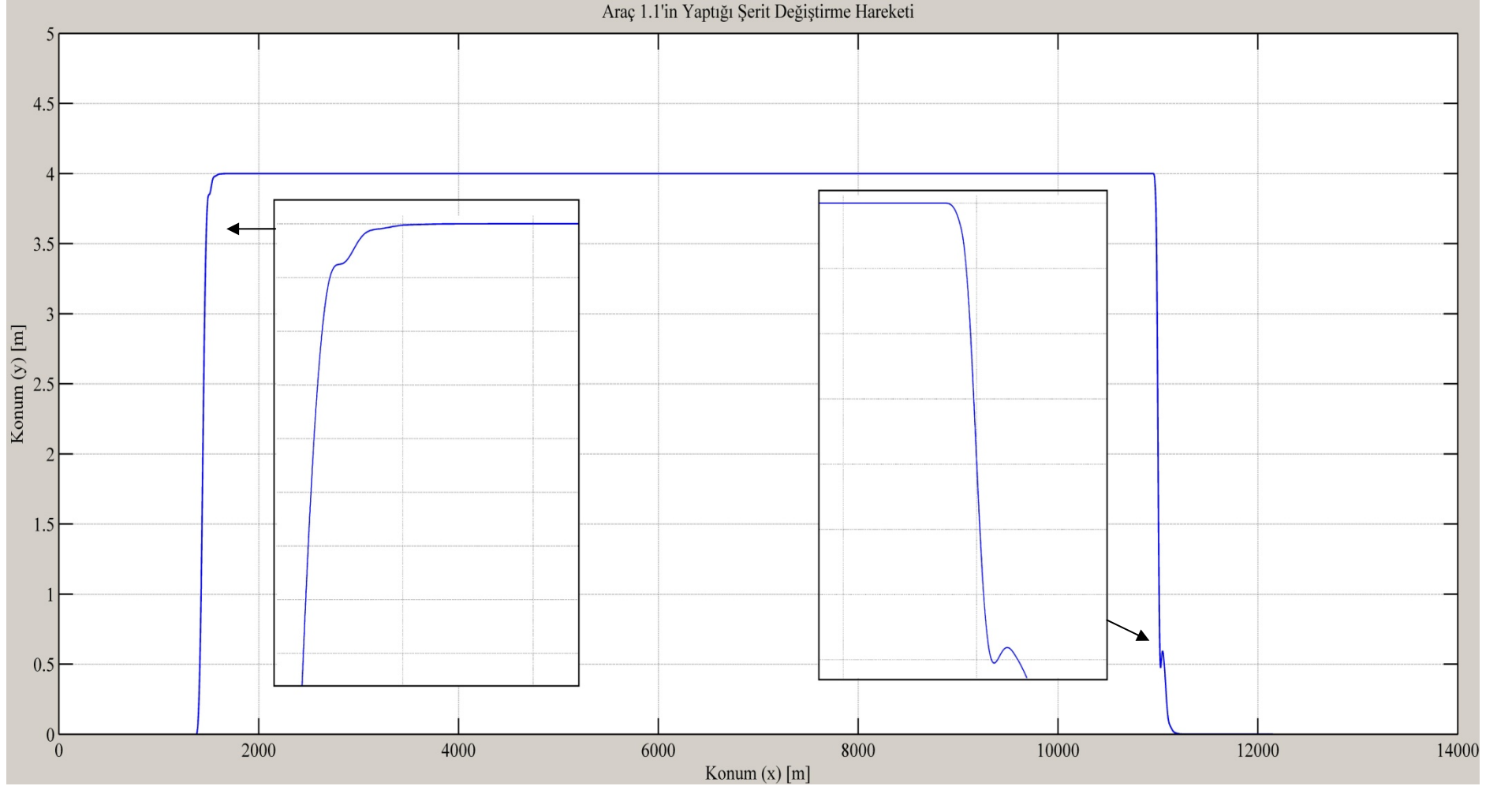
Çizelge 4.3 : Otoyol şerit değiştirme senaryosu zellikleri.

Araçlar	Konum [m]	Hız [m/sn]
1. Referans Araç (Sağ şerit)	600	20
1. Konvoy Lideri (Araç 1.1)	50	0.1
2. Referans Araç (Sol şerit)	2100	23
2. Konvoy Lideri (Araç 2.1)	500	0.1
Araç 2.2	475	0.1
Araç 2.3	450	0.1

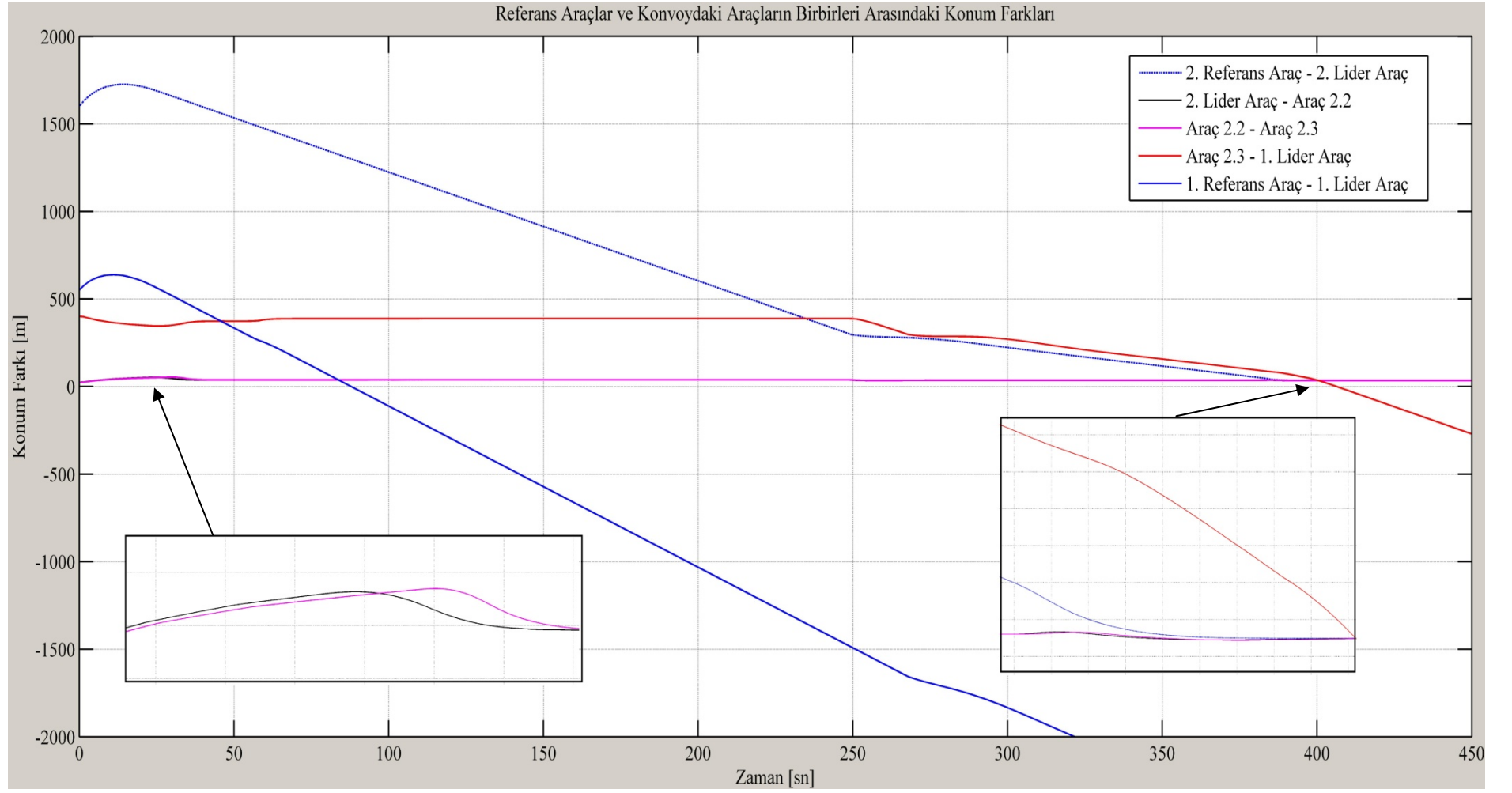
Bu senaryoda birinci konvoyun lideri ile ikinci konvoyun lideri sırasıyla sağ ve sol şeritlerde, SK modunda, harekete başlıyor ve otoyol hız limitine ulaşıyorlar. İkinci konvoydaki araçlar da KASK modunda lideri takip ediyorlar. Araç 1.1, 72 km/s hızla seyir halinde olan 1 numaralı referans araca yaklaştığında diğer şeritin durumuna göre şerit değiştiriyor. Ardından 2 numaralı konvoyu katılmak için YSK moduna geçiyor. Bu sırada ikinci konvoyun lideri araç 2.1 de 83 km/s seyir hızına 2 numaralı referans araç ile iletişim kurarak YSK moduna geçiyor. İkinci konvoyun lideri KASK moduna geçtiğinde hızını referans aracın hızı ile eşitlediğinden araç 1.1 için ikinci konvoyun hızı limit hızın altına düşmüş oluyor. Bu durumda araç 1.1 sağ şerit, şerit değiştirmek için müsait olduğu anda şerit değiştiriyor ve sağ şeritte SK modunda ilerlemeye devam ediyor. Araç 1.1'in şerit değiştirme manevrası şekil 4.14'te, senaryodaki araçların hız, konum farkı ve ivme grafikleri sırasıyla şekil 4.13, 4.15 ve 4.16'da gösterilmiştir.



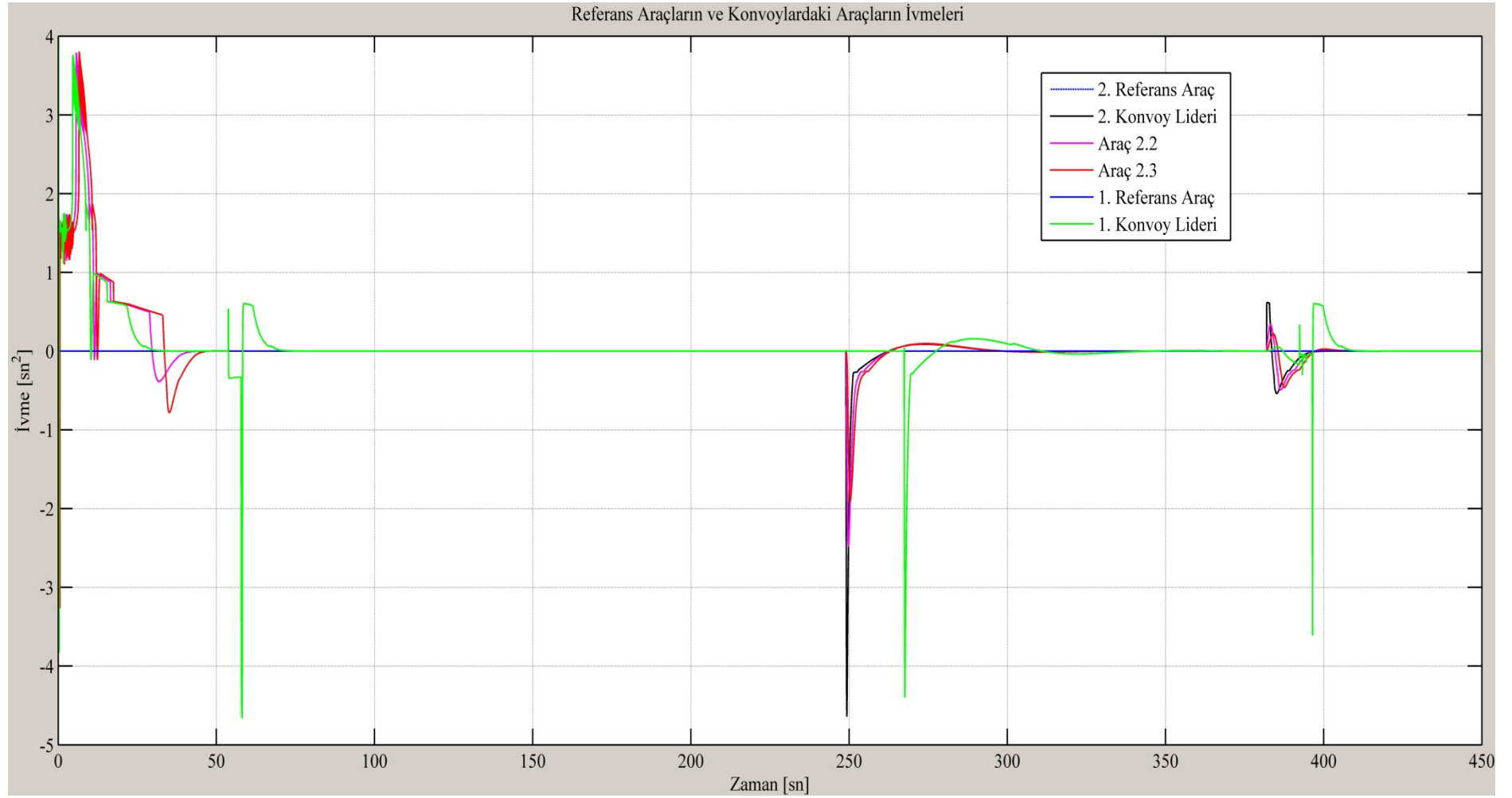
Şekil 4.13 : Senaryo 4 - Araçların hızları.



Şekil 4.14 : Senaryo 4 - Araç 1.1'in yaptığı şerit değiştirme manevraları.



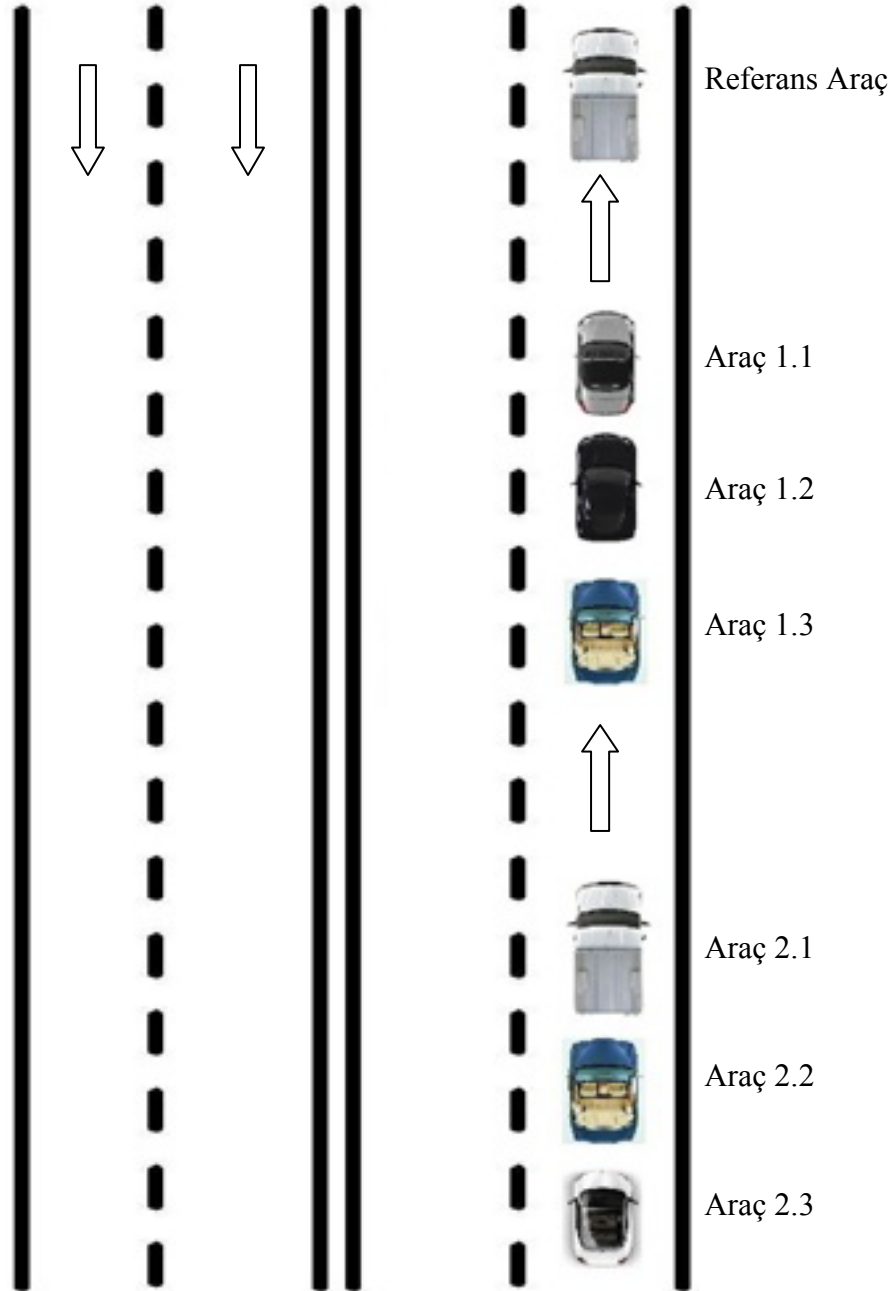
Şekil 4.15 : Senaryo 4 - Araçlar arasındaki konum farkları.



Şekil 4.16 : Senaryo 4 - Araçların ivmeleri.

4.2.3 Senaryo - 5: Otoyol konvoy birleşmesi

Bu senaryoda otoyolda iki adet konvoyun birleşme işlemi tasarlanmıştır. Konvoylar sağ şeritte hareket etmektedirler ve sol şerite geçmeden konvoy birleşmesi işlemini gerçekleştireceklerdir. Senaryoda sağ şeritte üçer araçtan oluşan iki adet konvoy bulunmaktadır. Trafik akış yönünde geride bulunan konvoydaki araçlar, ileride bulunan konvoy ile aynı anda harekete geçerek 6 araçtan oluşan tek bir konvoy oluşturmaları tasarlanmıştır. Şekil 4.17'de Senaryo 5'in görsel hali gösterilmiştir.



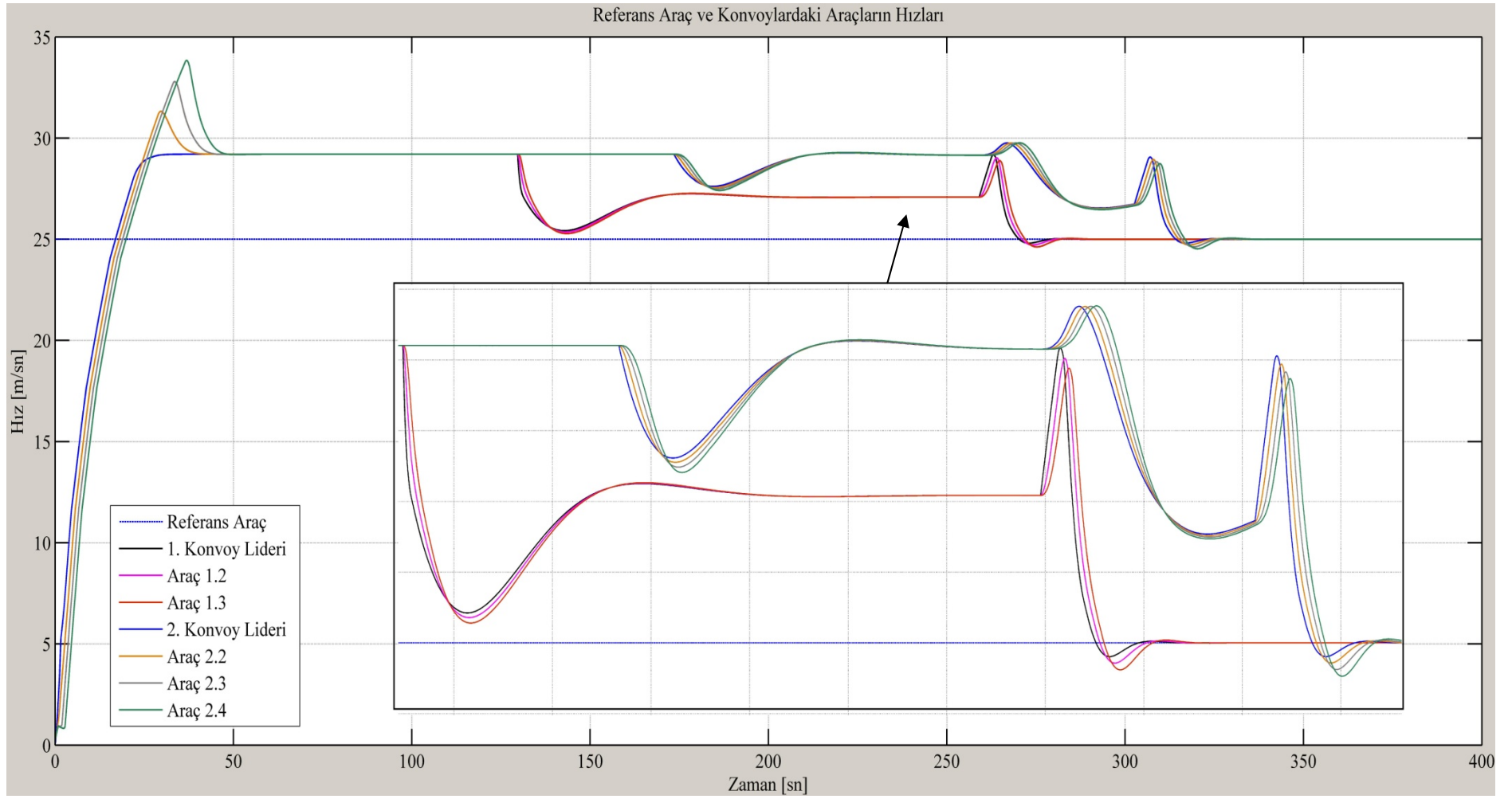
Şekil 4.17 : Otoyol konvoy birleşmesi senaryosu.

Konvoylardan trafik akış yönüne göre geride bulunan konvoy 2 numara, ileride bulunan konvoy 1 numara ile numaralandırılmıştır. Referans araç konvoyların ilerisinde yolun 1200. metresinde, 25 m/sn (90 km/s) sabit hızla ilerlemektedir. 1 numaralı konvoyun lideri yolun 600. metresinde durmaktadır. 1 numaralı konvoydaki diğer araçlar ise önlerindeki araçla aralarında 25 m aralık olacak şekilde dizilmişlerdir. 2 numaralı konvoyun lideri yolun 100. metresinde bulunmaktadır. 2 numaralı konvoydaki takipçiler ise bir önlerindeki araçla aralarında 25 m mesafe olacak şekilde dizilmişlerdir. Referans araç dışındaki araçlar, yani her iki konvoyun liderleri ve bunların takipçileri senaryonun başında durağan haldedirler. Araçların ilk konum ve ilk hız bilgileri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

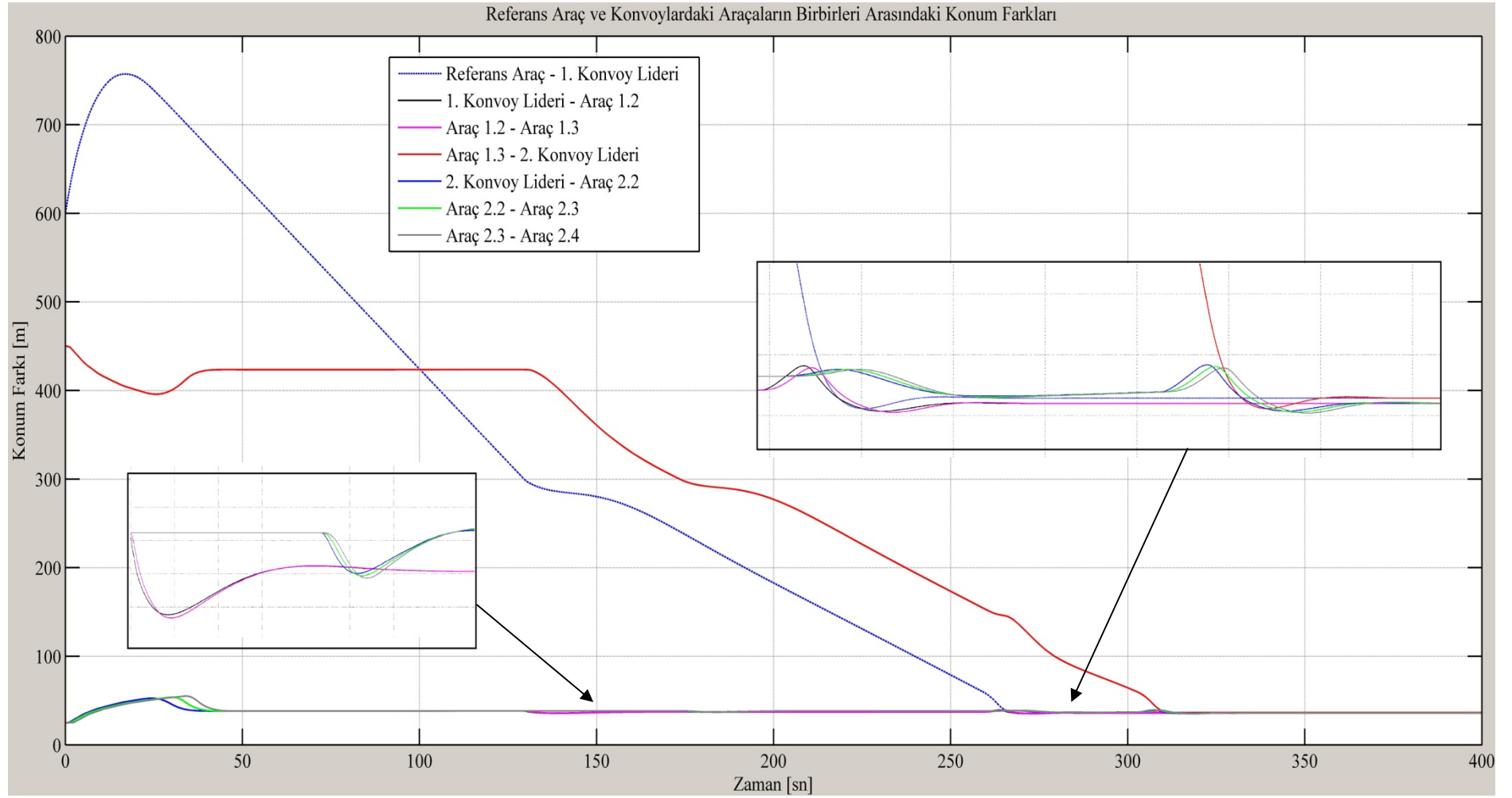
Çizelge 4.4 : Otoyol konvoy birleşmesi senaryosu özellikleri.

Araçlar	Konum [m]	Hız [m/sn]
Referans Araç	1200	25
1. Konvoy Lideri	600	0.1
Araç 1.2	575	0.1
Araç 1.3	550	0.1
2. Konvoy Lideri	100	0.1
Araç 2.2	75	0.1
Araç 2.3	50	0.1

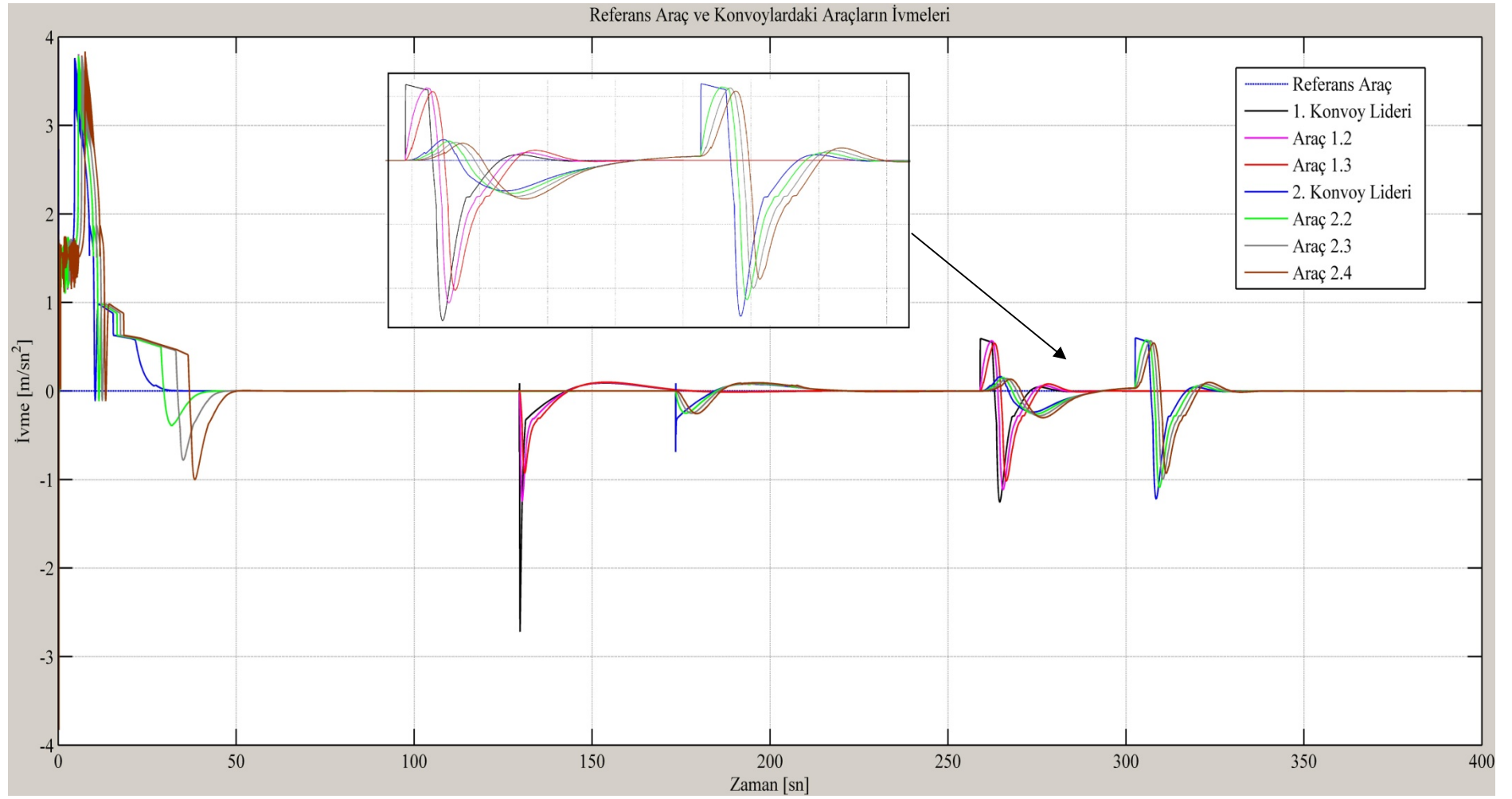
Senaryo 5'te birinci konvoyun lideri ile ikinci konvoyun lideri aynı anda, SK modunda, harekete başlar ve otoyol hız limitine ulaşırlar. Birinci ve ikinci konvoydaki takipçi araçlar ise harekete başladıklarında kooperatif adaptif seyir kontrolü moduna geçerek lider araçları takip ederler. 1 numaralı lider araç, 90 km/s hızla seyir halinde olan referans araca yaklaştığında yaklaşma seyir kontrolü moduna geçerek referans araçla arasındaki mesafeyi kapatmaya başlar. 2 numaralı konvoyun lideri, araç 1.3 ile iletişim kurmaya başladığında YSK moduna geçer ve öndeki konvoya yaklaşmaya başlar. Konvoylar arasındaki takip mesafesi, ikinci konvoyun KASK moduna geçmesi için gereken limit mesafenin (60 m) altına indiğinde iki konvoy birleşerek altı araçtan oluşan tek bir konvoy meydana getirir. Senaryonun sonunda referans aracın liderlik ettiği toplamda 7 adet araç bulunan bir konvoy oluşmuş olur. Senaryodaki araçların hız, konum farkı ve ivme grafikleri sırasıyla Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18 : Senaryo 5 - Araçların hızları.



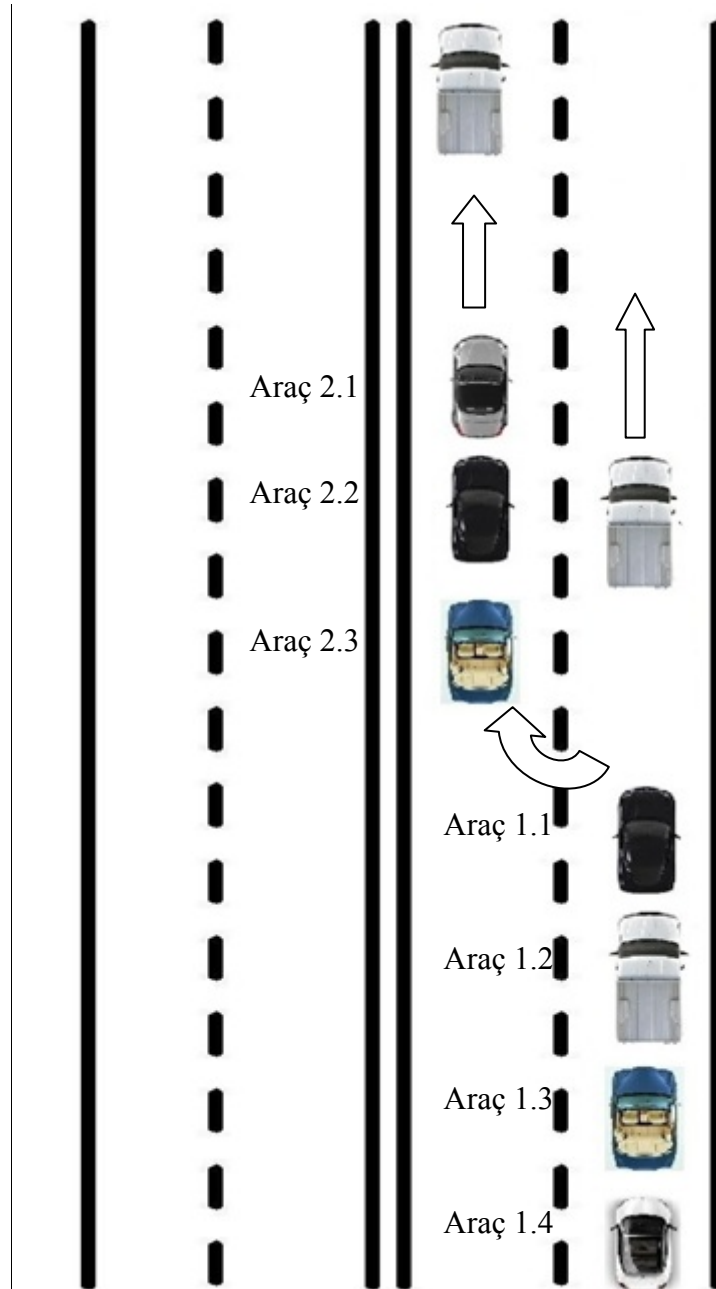
Şekil 4.19 : Senaryo 5 - Araçlar arasındaki konum farkları.



Şekil 4.20 : Senaryo 5 - Araçların ivmeleri.

4.2.4 Senaryo - 6: Konvoy halinde şerit değiştirme

Bu son otoyol senaryosunda sağ şeritte bulunan 4 araç harekete başlayarak konvoy oluşturur. Aynı anda bu konvoyun trafik akış yşnünde ilerisinde fakat sol şeritte bulunan 3 araçlık bir konvoy da harekete başlar. Sağ şeritteki konvoyun lideri, şnündeki referans aracın hızına ve sol şeritteki konvoyun durumuna göre şerit değiştirme ve konvoya katılma işlemlerini gerçekleştirecektir. şekil 4.21'de Senaryo 6'nın gşrsel hali gşsterilmiştir. Senaryoya katılan araçların başlangıç hız ve konum özellikleri izelge 4.5'te verilmiştir.

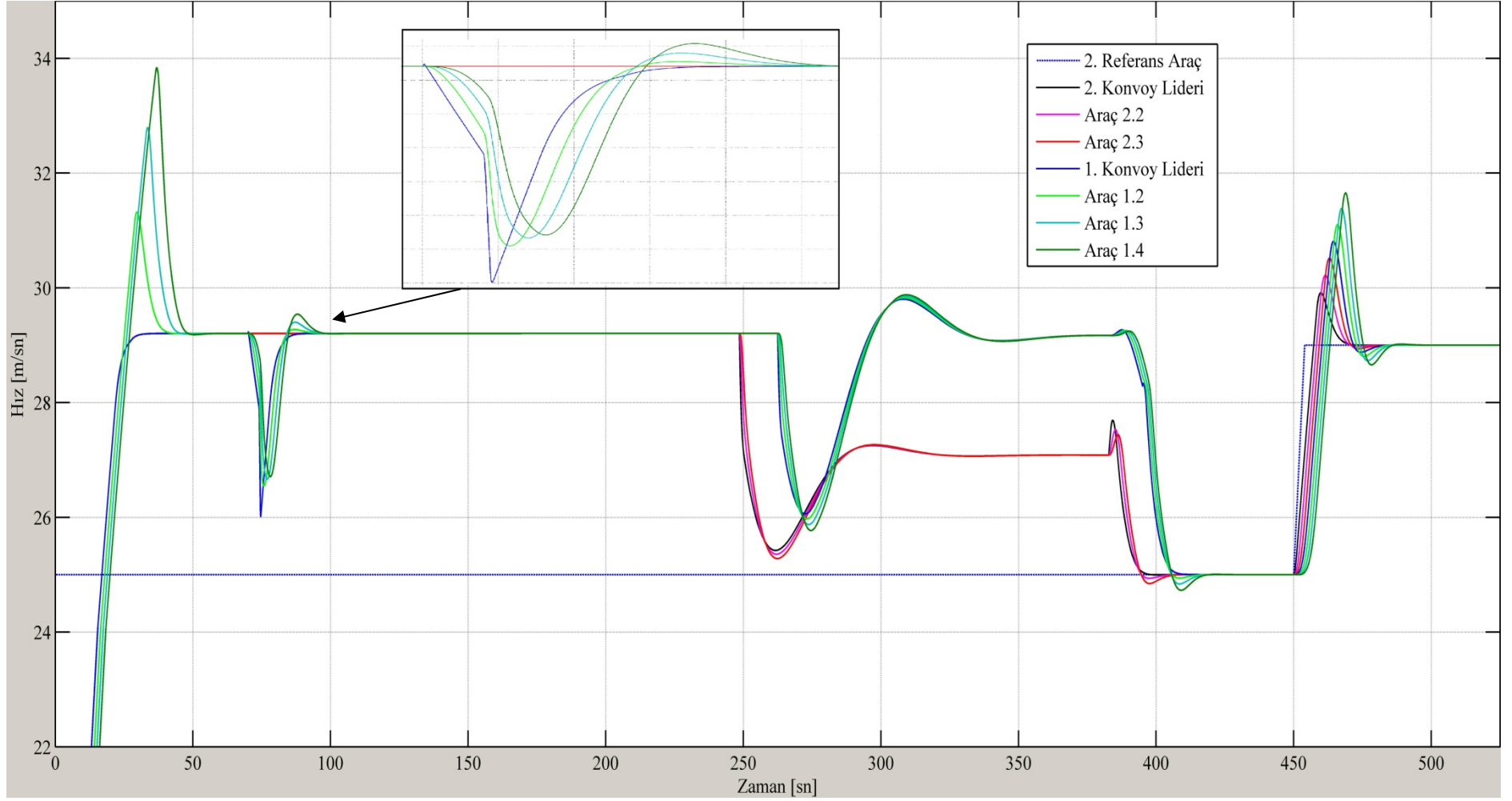


şekil 4.21 : Konvoy halinde şerit değiştirme senaryosu.

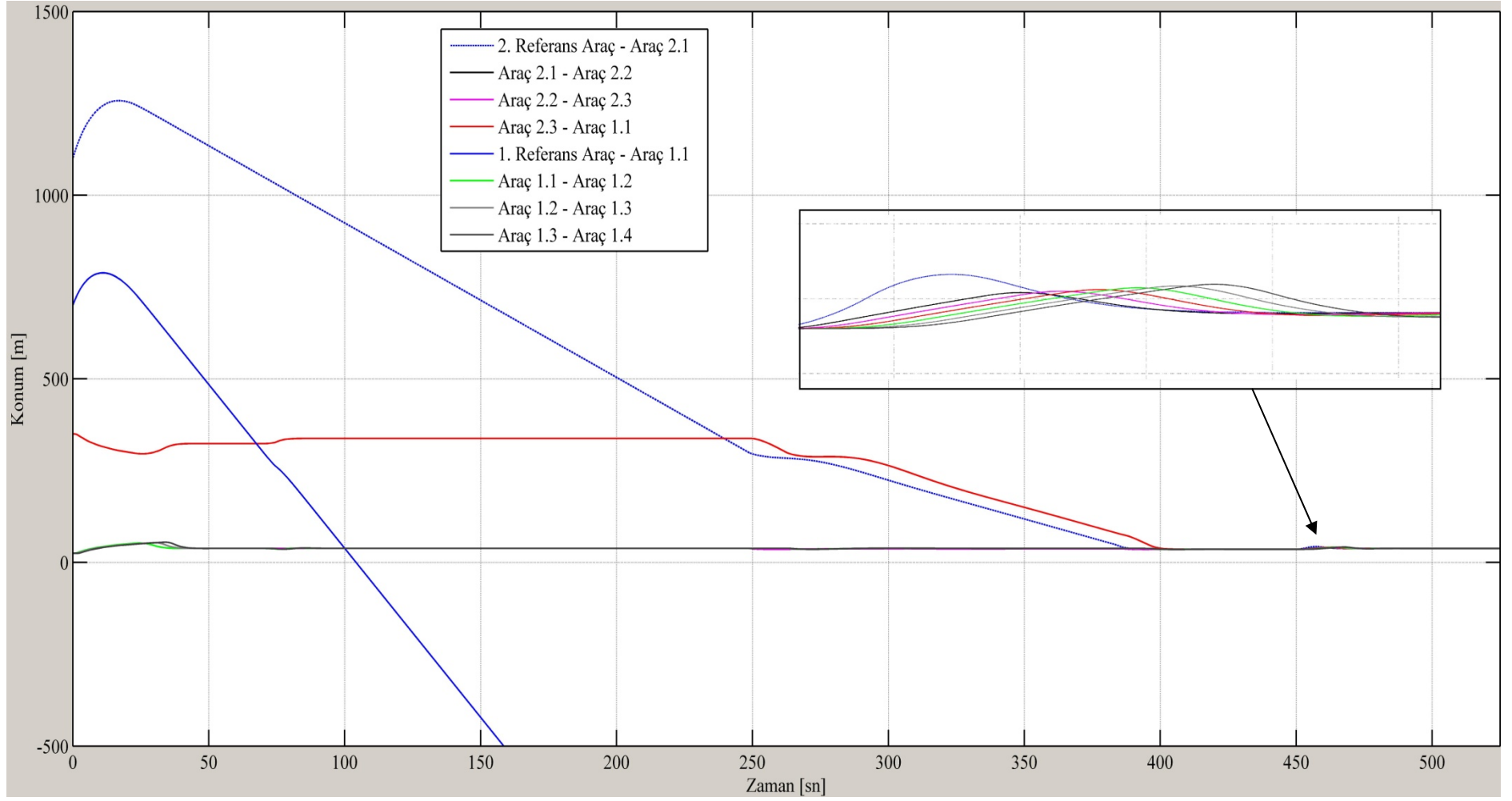
Çizelge 4.5 : Otoyol konvoy birleşmesi senaryosu özellikleri.

Araçlar	Konum [m]	Hız [m/sn]	Şerit
1. Referans Araç	800	20	Sağ
1. Konvoy Lideri	100	0.1	Sağ
Araç 1.2	75	0.1	Sağ
Araç 1.3	50	0.1	Sağ
Araç 1.4	25	0.1	Sağ
2. Referans Araç	1600	20	Sol
2. Konvoy Lideri	500	0.1	Sol
Araç 2.2	475	0.1	Sol
Araç 2.3	450	0.1	Sol

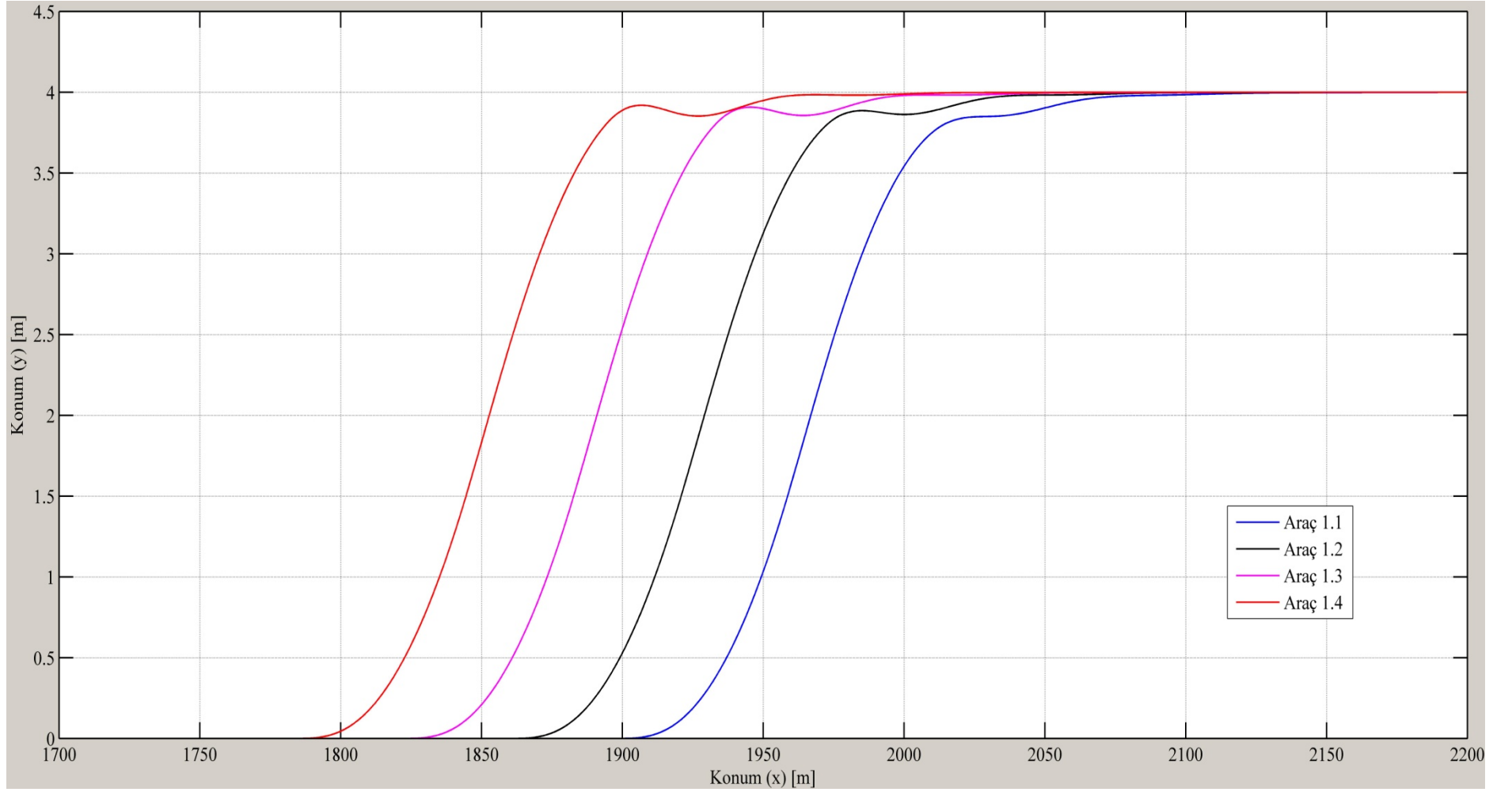
Senaryo 6'da birinci konvoyun lideri ile ikinci konvoyun lideri aynı anda harekete başlayıp, seyir kontrolü modunda otoyol hız limitine ulaşmaktadırlar. Birinci ve ikinci konvoydaki takipçi araçlar da KASK modunda harekete başlayarak lider araçları takip ederler. 1 numaralı konvoyun lideri, trafik akış yönünde ilerisinde bulunan ve 72 km/s seyir hızına sahip 1 numaralı referans araç ile iletişime geçer, fakat sol şerit açık olduğundan konvoy oluşturmaz, bunun yerine şerit değiştirir. Konvoydaki diğer araçlar da lidere uyararak şerit değiştirme manevrasını gerçekleştirirler. Bu sırada 2 numaralı konvoy da 2 numaralı referans araç ile iletişim kurarak YSK moduna geçer. Arkadan yaklaşan konvoyun lideri, 2 numaralı konvoyun en sonundaki araç 2.3 ile iletişime geçtiğinde YSK moduna geçer ve öndeki konvoya yaklaşmaya başlar. Bu esnada 1 numaralı konvoydaki diğer araçlar yani takipçiler ise KASK modunda ilerlemeye devam ederler. 2 numaralı konvoy lideri ile araç 2.3 arasındaki mesafe, KASK moduna geçmek için gereken sınır değerın altına indiğinde konvoyların birleşmesi gerçekleşmiş olur. Sol şeritte bulunan 2 konvoy benzetimin 420. saniyesinde tek bir konvoy haline gelir ve 2 numaralı referans aracı takibe başlar. Araçlar arasındaki takip süresi 0.5 sn olduğundan, 25 m/sn (90 km/s) hızla 7 araçlık konvoy oluştuğunda araçların arasında 35.1 m fark olması gerekir ki benzetimlerde bu farkın 35.8 m olduğu görülebilir. Senaryodaki araçların hız, konum farkı ve ivme grafikleri sırasıyla Şekil 4.22, 4.23 ve 4.25'te, 1 numaralı konvoyun yaptığı şerit değiştirme hareketi Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



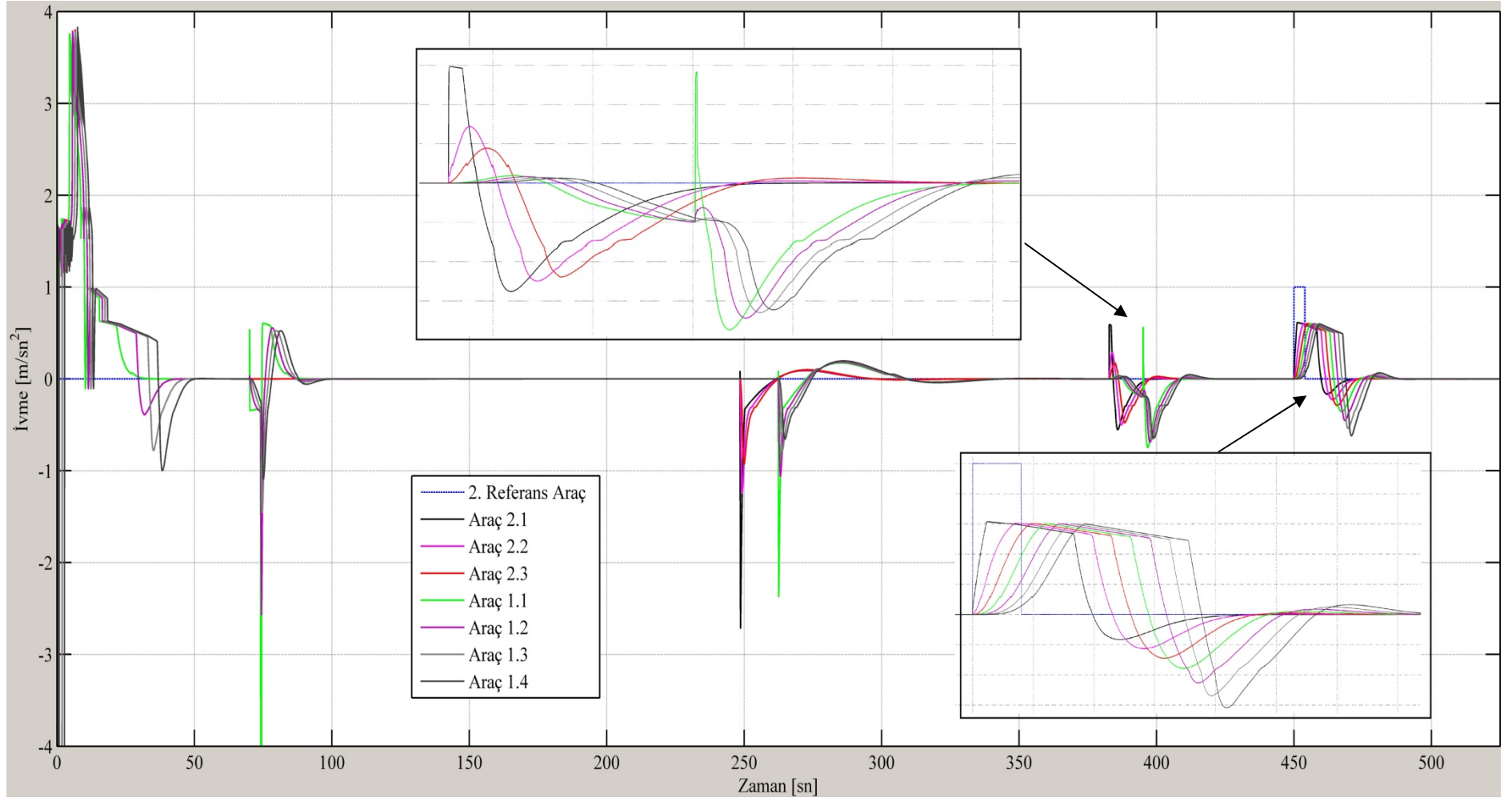
Şekil 4.22 : Senaryo 6 - Araçların hızları.



Şekil 4.23 : Senaryo 6 - Araçlar arasındaki konum farkları.



Şekil 4.24 : Senaryo 6 - Konvoy 1'deki araçların şerit değiştirme manevrası.



Şekil 4.25 : Senaryo 6 - Araçların ivmeleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında akıllı otoyol sistemleri bulunan yollarda kullanılmak üzere bir akıllı kontrol ünitesi, üst seviye kontrolcüsü ve orta seviye kontrolcülerini ile birlikte tasarlanmıştır. Üst seviye kontrolcünün tasarımı için Simulink / Stateflow yazılımı, orta seviye kontrolcüler için Simulink / Control Design Toolbox kullanılmıştır.

Üst seviye kontrolcüsü farklı durumlar (seyir kontrolü, şerit değiştirme vs.) için farklı kontrolcülerini aktif hale getirecek ve referans değerleri bu durumlara göre ayarlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuçta elde edilen 'akıllı' kontrolcüyü denemek için ikisi şehir içi, dördü otoyol olmak üzere toplam 6 adet senaryo oluşturulmuştur. Senaryolarda mesafe yönetim yöntemi olarak sabit takip süresi kullanılmış ve takip süresi 0.5 sn olarak alınmıştır. Bu zaman farkına bağlı olarak araçlar arasındaki mesafe hız ile değişmektedir. Hem şehir içi hem de otoyol senaryolarında kooperatif adaptif seyir kontrolü modunda iken araçların arasındaki mesafenin hız değişimlerine uygun olarak azaldığı ya da arttığı görülmüştür. Senaryo 2'deki gibi kısa zamanda gerçekleşen büyük hız değişimlerinde bile araçların arasındaki güvenlik mesafesinin ihlal edilmediği gözlenmiştir.

Bütün senaryolarda araçların farklı kontrol modlarına (örneğin yaklaşma seyir kontrolü - kooperatif adaptif seyir kontrolü) geçişte, hızlarında üst aşım ve alt aşım olduğu görülmektedir. Bu durum her kontrol modunun farklı bir kontrolcü ile kontrol edilmesinden kaynaklanmaktadır.

İleriki çalışmalarda senaryoların daha detaylı ve çeşitli hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca her araçta bir kontrolcü olması yerine konvoyun belirli sayılarda araçları içeren alt konvoy şeklinde düşünülerek bir kaç aracı kontrol eden merkezi kontrolcüler tasarlanması düşünülmektedir. Benzetimlerde kullanılan modellerde otomatik gerçekleştiği varsayılan konvooya katılma / ayrılma gibi işlemlerin de haberleşme altyapısının modele eklenmesi ile daha gerçekçi hale getirilmesi düşünülmektedir. Ayrıca bilgisayar ortamında hazırlanan algoritma ve kontrolcülerin de gerçek bir araçta veya HIL simulatöründe denenmesi amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Adler, J.L., and Blue, V.J.**, 1998. Toward the Design of Intelligent Traveler Information Systems. *Transportation Research*, **6**, 157 - 172.
- [2] **Shah, A.A., and Dal, L.J.**, 2007. Intelligent Transportation Systems in Transitional and Developing Countries. *IEEE A&E Mag.*, 27 – 33.
- [3] **Regan, M.A., Oxley, J.A., Godley, S.T. and Tingvall, C.**, 2001. Intelligent Transport Systems: Safety and Human Factors Issues. Royal Automobile Club of Victoria Research Report 01/01. RACV: Melbourne, Australia.
- [4] **Bertozzi, M., Cellario, M., Fascioli, A.L., and Porta, M.**, 2006. Artificial Vision in Road Vehicles. *Proceedings of The IEEE*, **90**(7), 1258-1271.
- [5] **Jian-Da, W. and Tuo-Rung, C.**, 2008. Development of a Drowsiness Warning System Based on the Fuzzy Logic Image Analysis. *Journal of Expert System with Application*, **34**, 1556-1561.
- [6] **Gartner, N., Pooran, F.J., and Andrews, C.M.**, 2001. Implementation of OPAC Adaptive Control Strategy in a Traffic Signal Network. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference 2001 Proceedings*, 195-200.
- [7] **Espana, C., Pastor, G., Munoz, O., Gozalvez, J., and Olivieri, M.**, 2010. Cooperative Vehicular ITS Safety Tests in Proving Ground. *FISITA 2010*, May 30 - June 4, Budapest, Hungary.
- [8] **USDOT National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)**, 2000. Intersection Collision Avoidance Using ITS Countermeasures. Final Report.
- [9] **Wolterinki, W.K., Heijenk, G., and Karagiannis, G.**, 2011. Automated Merging in Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) Applications. *Fifth ERCIM Workshop on E-mobility*, 23-26.
- [10] **Swaroop, D. and Huandra, R.**, 1999. Intelligent Cruise Control Sytem Design Based on a Traffic Flow Specification, Technical Report, California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH), 1999.
- [11] **Swaroop, D. and Rajagopal, K. R.**, 1999. Intelligent Cruise Control Systems and Traffic Flow Stability. *Transportation Research, Part C, Emerging Technologies*, **7**(6), 329-352.
- [12] **Swaroop, D. and Hedrick, J.K.**, 1999. Constant Spacing Technologies for Platooning in Automated Highway Systems. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, **121**(3), 462-470.
- [13] **Yanakiev, D. and Kanelalkopoulos, I.**, 1998. Nonlinear Spacing Policies for Automated Heavy-duty Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **47**(4), 1365-1377

- [14] **Swaroop, D. and Hedrick, J.K.**, 1994. Direct Adaptive Longitudinal Control of Vehicle Platoons, *Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control*, **1**, 684-689.
- [15] **Klinge, S. and Middleton, R.H.**, 2009. String Stability Analysis of Homogeneous Linear Unidirectionally Connected Systems with Nonzero Initial Conditions, *IET Irish Signals and Systems Conference (ISSC 2009)*, 17-23.
- [16] **Shaw, E. and Hedrick, J.K.**, 2007. String Stability Analysis for Heterogenous Vehicle Strings, *Proceedings of the ACC'07*, 3118-3125.
- [17] **Santhanakrishnan, K. and Rajamani, R.**, 2000. On Spacing Policies for Highway Vehicle Automation, *Proceedings of the ACC'00*, **3**, 1509-1513.
- [18] **Url-1** < *www.gcdc.net* >, alındığı tarih 22.09.2011.
- [19] **National Highway Traffic Safety Admin**, 2006. Vehicle Safety Communications Project Final Report.
- [20] **Blythe, T. and Curtis, M.**, 2004. Advanced driver assistance systems: Gimmick or reality?. *11th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services*, October, 2004, Nagoya, Japan.
- [21] **Bishop, R.**, 2005. Intelligent Vehicle Technology and Trends, Artech House, Boston.
- [22] **Jurgen, K.**, 2006. Adaptive Cruise Control, SAE International, PA.
- [23] **Widmann R. and Daniels, K.**, 2000. Comparison of lidar-based and radar-based adaptive cruise control systems. SAE International.
- [24] **Feldman, E.**, 2002. Development And Integration Of A Vision-Based Sensor for Adaptive Cruise Control, University of California, *M.sc Thesis*, Berkeley.
- [25] **Russell, E. and Crain, A.**, 1997. Millimeter-wave radar sensor for automotive intelligent cruise control (ICC). *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **45**, 2444–2453.
- [26] **Rajamani, R.**, 2006. Vehicles Dynamics and Control, Springer, NewYork.
- [27] **Luo, L., Liu, H., Li, P., and Wang, H.**, 2010. Model predictive control for adaptive cruise control with multi-objectives: comfort, fuel-economy, safety and car-following. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, **11**(3), 191-201
- [28] **Knoll, P. and Brookhuis, K.**, 2006. Adaptive cruise control – current state and future aspects, in Adaptive Cruise Control. R. Jurgen (ed.), SAE International, Warrendale, PA.
- [29] **MacNeill, P. and Miller, R.**, 2003. A new technology for a cruise control system. IEEE 58th Vehicular Technology Conference, **5**, 3341–3345.
- [30] **Dik, B., Joris, J., and Drew, M.**, 2004. Design and test of a cooperative adaptive cruise control system. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2004)*, June 14 - 17, 2004, Parma, Italy.

- [31] **Nianbo, L., Ming, L., Jiannong, C., Guihai, C., and Wei, L.,** 2010. When Transportation Meets Communication: V2P over VANETs. *The 30th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2010)*, June 21-25, 2010, Genoa, Italy.
- [32] **Blum, J. J., Eskandarian, A., and Hoffman, L. J.,** 2004. Challenges of Intervehicle Ad Hoc Networks, *IEEE Trans. Intell. Transport. Sys.*, **5**(4), 347–51.
- [33] **Güvenç, L.,** 2009. Vehicle Control Systems Lecture Notes.
- [34] **Dugoff, H., Fancher, P.S. and Segal, L.,** 1969. Tyre Perf. Charecteristics Affecting Vehicle Response to Steering and Braking Control Inputs, Final Report, Contract CST-460, Office of Vehicle Systems Research, US National Bureau of Standards.
- [35] **Tunçer, Ö.,** 2010. Gerçek Zamanlı Şerit Takip Desteği Sisteminin Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 71 sf, İstanbul.
- [36] **Junaid, K.M., Shuning, W., Pervaiz, A., and Iqbal, R.N.,** 2006. Autonomous Cruise Control with a Minimal Quasi-Linear Controller, *IEEE International Conference on Control Applications*, October 4-6, 2006, Munich, Germany.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Murat Can TURAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Erzurum / 13.08.1984

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yayın Listesi:

- Senturk M., **Turan M. C.**, Tekin A., Sonmez U., Kahraman K., and Bozkurt E., 2010, Magnetic Pulse Driven Semi Compliant Four Bar Mechanism, *ASME 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA 2010)*, March 12-14, 2010, Istanbul, Turkey.

