

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GMR SENSÖRLER İLE TRAFİK VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim DELİBAŞOĞLU

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2013

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GMR SENSÖRLER İLE TRAFİK VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim DELİBAŞOĞLU
(105105012)

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ

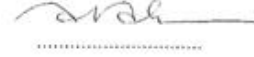
ŞUBAT 2013

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 105105012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İbrahim DELİBAŞOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**GMR SENSÖRLER İLE TRAFİK VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ**" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ
Yalova Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Osman Hilmi KOÇAL
Yalova Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Kayhan İNCE
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi : 17 Ocak 2013
Savunma Tarihi : 12 Şubat 2013

Aileme,

ÖNSÖZ

Tüm yaşamım boyunca benden desteklerini esirgemeyen aileme, öğrenim hayatım boyunca üzerimde emekleri bulunan bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Şubat 2013

İbrahim Delibaşoğlu

Araştırma Görevlisi

İÇİNDEKİLER

<u>Sayfa</u>	
	ÖNSÖZ..... vii
	İÇİNDEKİLER ix
	KISALTMALAR xi
	ÇİZELGE LİSTESİ..... xiii
	ŞEKİL LİSTESİ..... xv
	ÖZET..... xvii
	SUMMARY xix
	1. GİRİŞ 1
	1.1 Motivasyon:AUS..... 2
	1.2 Trafik Ölçme ve Değerlendirme..... 3
	1.3 Tezin Amacı 4
	1.4 Literatür Özeti 6
	1.5 Tezin İçeriği 8
	2. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ 9
	2.1 Gelişim Süreci 10
	2.2 AUS Sektörleri ve Hizmet Alanları 12
	2.2.1 Trafik Sinyal Kontrol Sistemi 13
	2.2.2 Transit Yollar Yönetim Sistemi 14
	2.2.3 Kaza/Olay Yönetim Sistemi..... 14
	2.2.4 Toplu Taşıma Yönetim Sistemi 14
	2.3 Türkiye'deki Uygulamalar 15
	2.3.1 Trafik Kameraları..... 15
	2.3.2 Yol Sensörleri 16
	2.3.3 Trafik Yoğunluk Haritası 17
	2.3.4 Değişken Mesaj Sistemleri(DMS) 18
	2.3.5 Mobil Bilgi Sistemi 19
	2.3.6 Trafik Kural İhlali Tespit Sistemi 19
	2.4 Trafik Akımlarına İlişkin Temel Değerlendirmeler 19
	2.4.1 Model Tabanlı Değerlendirmeler 20
	2.4.2 Değişken Hız Sınırı Denetimi 23
	2.4.3 Katılım Denetimi..... 24
	2.5 Trafik Akımlarının Gerçek Zamanlı Ölçümü..... 24
	3. TRAFİK PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİNE YÖNELİK KULLANILAN BAZI SİSTEMLER 29
	3.1 Loop Dedektörler 29
	3.1.1 Çalışma Prensibi 29
	3.1.2 Loop Dedektörle İlgili Bazı Çalışmalar 30
	3.2 Ağırlık Tabanlı(Weigh-In-Motion) sistemler..... 31
	3.3 Mikrodalga Radar..... 32
	3.4 Ultrasonik Sistemler 33
	3.5 Görüntü İşleme Teknikleri 33

3.5.1 Görüntü İşleme Teknikleri ile Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar	34
3.6 Manyetik Sensörler	36
4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM	39
4.1 GMR Sensörlü Ölçme Sistemi	40
4.1.1 Giriş	40
4.1.2 Baskılı Devre Tasarımı	41
4.1.3 Sayısal İşaret İşleme	45
4.2 PC Arayüz Tasarımı	49
4.3 Seri Port Bağlantısı	49
4.3.1 Verilerin Depolanması	51
4.3.2 Grafik Ekranı	52
4.3.3 Raporların Oluşturulması	53
4.4 Gerçekleştirilen Ölçüm Sonuçları	55
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	59
5.1 Sonuç	59
5.2 Tavsiyeler ve Gelecek Çalışmalar	60
KAYNAKLAR	61
6. ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

- AUS** : Akıllı Ulaşım Sistemleri
GMR : Giant Magneto-Resistance
İTYS : İleri Trafik Yönetim Sistemleri
İYBS : İleri Yolcu/Sürücü Bilgilendirme Sistemleri
İTTS : İleri Toplu Taşıma Sistemleri
TTO : Ticari Taşıt Organizasyonları
İTKS : İleri Taşıt Kontrol Sistemleri
TGD : TeknoGirişim Desteği
GPS : Küresel Konumlandırma Sistemi
AMR : Anisotropic Magneto Resistor
GMI : Giant Magneto-Impedance
SDT : Spin Dependent Tunnelling
DMP : Değişken Mesaj Panoları
DMİ : Değişken Mesaj Sistemleri
GIS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
TYS : Trafik Yönetim Sistemleri
FHWA: Federal Highway Administration
MEVL: Ortalama Etkin Taşıt Uzunluğu
TEVL : Karakteristik Etkin Taşıt Uzunluğu
GDI : Grafik Aygıt Arabirimi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Korelasyon Sonuçları	56
Çizelge 4.2 : Hız Tespit Sonuçları.....	56
Çizelge 4.3 : Taşıt Uzunluğu Tespit Sonuçları.....	57
Çizelge 4.4 : Taşıt Takip Mesafeleri	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : AUS Kullanıcı, Yol ve Taşıt Birimlerini Bilgi Teknolojileri ile Birbirine Bağlar	9
Şekil 2.2 : AUS Haberleşme Altyapısı	11
Şekil 2.3 : İstanbul Belediyesi Trafik Yoğunluk Haritası Uygulaması	16
Şekil 2.4 : Loop Dedektör.....	16
Şekil 2.5 : Yol kesmeyen (non-invasive) sensör	17
Şekil 2.6 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Yoğunluk Haritası Uygulaması..	18
Şekil 2.7 : Makroskopik Trafik Akımı Parametreleri.....	20
Şekil 2.8 : Makroskopik Parametreler Arasındaki İlişkiler	21
Şekil 2.9 : Katılım Denetimi Mekanizması	24
Şekil 2.10 : Bir Trafik Akımının $t=t_0$ Anındaki Görüntüsü.....	25
Şekil 2.11 : Şekil 2.10'da Gösterilen Taşıt Kompozisyonu İçin P1 ve P2 Dedektörlerinden Elde Edilen İşaretlerin Değişim Şekli	26
Şekil 3.1 : Loop dedektör genel yapısı	29
Şekil 3.2 : Loop dedektör ölçüm örnekleri	30
Şekil 3.3 : Weigh-in-Motion Sistem	31
Şekil 3.4 : Mikrodalga radar sistem kurulumu.....	32
Şekil 3.5 : Ultrasonik Sistem	33
Şekil 3.6 : Unkapalı köprüsü görüntüsü.....	34
Şekil 3.7 : Hareket eden cisimlerin tespiti	35
Şekil 3.8 : Traficam veri toplama sensörü	35
Şekil 3.9 : Otomatik kaza ve ters yön tespiti	36
Şekil 3.10 : Araçlarda alan etkili sensörlerin kullanımı.....	37
Şekil 3.11 : M-Gage Sensör	37
Şekil 3.12 : Örnek bir taşıt alt kısmı ve GMR sensör konumlandırılması.....	38
Şekil 4.1 : Sistem Blok Diyagramı	39
Şekil 4.2 : Taşıt geçişi esnasında yerin manyetik alan vektörlerinin uğradığı değişim	41
Şekil 4.3 : Sistemin baskılı devre resmi (üst görünüş)	41
Şekil 4.4 : GMR sensörlü Ölçüm Sistemi.....	42
Şekil 4.5 : Gerçekleştirilen donanımın görüntüsü	43
Şekil 4.6 : Gerçekleştirilen donanımın örnek bir konumlandırılması	44
Şekil 4.7 : Gerçekleştirilen donanımın konumlandırılması-yakın görünüm	44
Şekil 4.8 : GMR Sensörlerden elde edilen örnek işaretler.....	46
Şekil 4.9 : Çapraz korelasyon algoritması	47
Şekil 4.10 : Taşıt uzunluğu hesabı.....	49
Şekil 4.11 : Seriport bağlantı ayarları	50
Şekil 4.12 : Veritabanı tablo içeriği.....	52
Şekil 4.13 : Masaüstü programı grafik ekranı	53
Şekil 4.14 : Masaüstü programı istatistik ekranı (gün).....	54
Şekil 4.15 : Masaüstü programı istatistik ekranı (saat-saat)	55

GMR SENSÖRLER İLE TRAFİK VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

ÖZET

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), bilişim teknolojilerinin sağladığı kolaylıklardan yararlanarak güvenli ve etkin bir ulaşım altyapısının oluşturulmasını amaçlar. Bu kapsamdaki uygulamaların bir çoğu, gerçek zamanlı trafik yönetim ve denetim süreçleri ile ilgilidir. Günümüzde yaşanan trafik sıkışıklıklarının gündeme taşıdığı sürdürülebilir ulaşım kavramı, bu süreçlerin artan önemine dikkat çekmektedir.

Buna göre; sürdürülebilir bir ulaşım sistemi, ancak trafik akımlarının dinamiğini yansıtan parametrelerin gerçek zamanlı olarak ölçülüp değerlendirilmesi suretiyle yürütülen teknolojik trafik yönetim ve denetim süreçleri ile gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, anılan parametrelerin ölçümü, izlenmesi, kaydı ve değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar literatürde önemli bir yer tutmaktadır.

Diğer taraftan, teknolojik araçlar vasıtasıyla elde edilen mikroskopik ölçümlerin kayıt altına alınması ile, uzun süreli trafik gözlem bilgilerini kapsayan bir veri tabanı da oluşturulabilir. Böyle bir veri tabanı, ulaşım planlama çalışmaları için gerekli olan ulaşım taleplerinin ve makroskopik akım bilgilerinin belirlenmesi açısından önemli katkılar sağlayabilir. Günümüzde hızla gelişen yarı-iletken esaslı sensör teknolojileri ve işlem gücü yüksek gömülü sistem çözümleri, bu amaçla kullanılacak bir veri kayıt sisteminin (trafik data-logger) esnek bir şekilde tasarlanmasına imkân sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında gerçek zamanlı trafik verilerinin üretilmesi ve kayıt edilmesi amacıyla kullanılacak böyle bir gömülü sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu gömülü sistem vasıtasıyla elde edilen mikroskopik akım bilgilerini bilgisayar ortamındaki veri tabanına aktaran ve bu veri tabanını sorgulayarak çeşitli istatistiksel analiz işlemlerini gerçekleştiren uygulamalarla, bu uygulamalara eşlik eden arayüzler gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen tasarım mikroskopik akım bilgilerini bir kartın iki ucuna yerleştirilen GMR (Giant Magneto-Resistance) sensörlerin ürettiği işaretlerin işlenmesi suretiyle belirlemektedir. Bu kapsamda taşıt hızları, sensörler arasındaki sabit mesafenin bu iki sensörün ürettiği işaretlerin çapraz korelasyon yöntemi ile hesaplanan faz (süre) farkına bölünmesi suretiyle hesaplanmaktadır. Sistemde ayrıca, referans sensörün taşıtlar tarafından meşgul edilme süresi (meşgulliyet süresi) ve birbirini takip eden taşıtların bu sensör üzerinden geçiş anları arasındaki süreye karşılık gelen ‘taşıt takip süresi’ parametreleri de ölçülerek kayıt altına alınmaktadır. Sistemde taşıt boyları ve trafik akımının makroskopik özelliklerini yansıtan parametreler, bu ölçümlere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Yapılan testler, sistemde taşıt boylarının ve 10-70 km/saat aralığındaki taşıt hızlarının $\pm\%5$ hassasiyetle belirlenebildiğini göstermiştir. Aynı zamanda taşıt takip mesafeleri ve taşıt uzunlukları ile ilgili elde edilen veriler de tablo halinde verilmiştir.

TRAFFIC DATA ACQUISITION BY USING GMR SENSORS

SUMMARY

Intelligent Transportation Systems (ITS) aim to create a safe and efficient transportation infrastructure by utilizing computer and telecommunication technologies known as information technologies. One of the major applications of ITS is the real time traffic management and control process. The concept of sustainable transportation emerging from the traffic congestion that we encounter in modern days has raised a growing concern about traffic management and control processes.

Thus, a sustainable transportation system can be achieved only by technological traffic management and control processes that measure and assess the parameters reflecting dynamics of traffic flows in real-time. In literature, a significant amount of research have been performed on measuring, monitoring, recording, and interpreting of the parameters.

On the other hand, a data infrastructure enabling flexible production of long-term traffic observation information can be attained with the record of microscopic parameters obtained by this mean and macroscopic flow information derived from these parameters. Such an infrastructure can be regarded as having a database with indispensable importance in transportation planning activity's perspective. Today, rapidly growing semiconductor technologies and embedded system solutions with high processing power enable small volume and low power (battery powered) systems to be developed.

In this thesis, an embedded system design has been implemented with the intent of producing and recording real time traffic data depending on the facts stated above. Besides, applications, transferring data obtained through the embedded system into the database residing on the computer and implementing database management and analysis, and the interfaces accompanying these applications have been developed.

Designed embedded system determines the microscopic flow information by means of processing signals produced by GMR (Giant Magneto Resistive) sensors located two-side of a circuit. The division of constant distance between sensors (15 cm) by phase difference calculated by the cross-correlation method of signals produced by these two sensors yields the speed of each vehicle. Also, the parameters of duration of the first sensor in the direction of the vehicles being occupied by vehicles (holding time) and the time between each subsequent vehicle passing over the first sensor are measured and recorded. The parameters reflecting macroscopic properties of traffic flow and vehicle lengths are calculated depending on these measurements.

Test results present that vehicle speeds between 10 and 70 km/h can be calculated with an error less than $\pm 5\%$ and vehicle lengths can be identified. Also data reflecting length of vehicles and time headway are given in the table.

1. GİRİŞ

Günümüzde karayollarının birçok kesimlerinde yaşanan trafik sıkışıklıkları, giderek artan ulaşım sorunlarına neden olmaktadır. Özellikle nüfus ve özel taşıt kullanımının hızla artma eğiliminde olduğu kentsel yerleşim bölgelerinde karşılaşılan bu durum, bir yandan yolların hizmet düzeyini azaltırken; diğer yandan trafik kazaları, zaman kaybı ve çevre kirliliği gibi istenmeyen sonuçlara yol açmaktadır (L. Ünal, 1998).

Bütün bu olumsuz sonuçların nedeni olan trafik sıkışıklıkları, esasen ulaşım talebinin sınırlı yol kapasitelerini aşacak durumlara ulaşmasının doğal bir sonucu olarak gelişmektedir. Yol kapasitelerinin etkin bir şekilde kullanılmasına engel olan ve trafik güvenliğini tehdit eden bu olumsuz sonuçlar, doğal olarak bu sorunlarla karşı karşıya bulunan bütün ülkelerde 'ulaşımın sürdürülebilirliği' kavramını temel gündem maddelerinden birisi haline getirmektedir (Sussman, 2005).

Bu durumda, trafik sıkışıklıklarını ve bundan kaynaklanan olumsuz sonuçları azaltmak ve sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı oluşturmak için; öncelikle, yapılması gereken işlemleri doğru tespit etmek ve ardından bu tespitler doğrultusunda uygun eylem planlarını hazırlayarak hayata geçirmek gerekir. Bu amaçla trafik sıkışıklığı sorununun çözümü konusunda başarı elde etmiş ülkelerin ulaşım ile ilgili strateji ve eylem planlarını incelemek yeterli bir fikir vermektedir (Akbaş, 2010).

Buna göre, trafik sıkışıklığı sorununun çözümü için ilk yapılması gereken şey, trafik yönetiminde çok başlı bir yönetim modeli yerine hiyerarşik bir yönetim modelinin benimsenmesi ve bu modelin gerekli yasal düzenlemelerle birlikte hayata geçirilmesidir. İkinci sırada yapılması gereken şey, toplu ulaşım öncelik veren bir ulaşım planlamasının yapılması ve uygulanmasıdır. Bunlardan sonra yapılması gereken şey de, teknolojik bir trafik yönetim ve denetim sisteminin kurulması ve işletilmesidir. Trafik akımlarının dinamiğine etki eden çok sayıda çevresel faktörün oluşturduğu ve çoğu kez önceden tahmin edilemeyecek şekilde gelişen sorunlar, böyle bir trafik yönetim ve denetim sistemini zorunlu kılmaktadır (Sussman, 2005).

Buna göre, trafiğin uygun teknolojik araçlar vasıtasıyla yönetimi ve/veya denetimine ilişkin süreçler, trafik sıkışıklıklarının tıkanma noktasına ulaşmadan önlenmesi için gerekli müdahalelerin zamanında yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bu amaçla trafik sıkışıklıklarının önceden tahmin edilmesi de yapılan gerçek zamanlı ölçümler sayesinde mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin oluşturulabilmesi için, yol kapasitelerinin daha etkin ve daha verimli kullanılmasına imkân sağlayan teknolojik araçların kullanımı vazgeçilmez bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu yolla oluşturulan bir trafik yönetim ve/veya denetim sistemi, düzgün bir trafik akışını sağlayarak yol kapasitelerinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına, trafik sıkışıklıkları ve bundan kaynaklanan sorunların azaltılmasına önemli boyutlarda katkı sağlayabilmektedir (Gazis, 2002).

1.1 Motivasyon:AUS

Bu kapsamda sunulan teknolojik çözümler, günümüzde gelişmiş ülkelerin başını çektiği bir çok ülkede Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS; orijinal ismiyle Intelligent Transportation Systems, ITS) kavramı ile sunulan çeşitli uygulamalarla hayata geçirilmektedir. AUS, gerçek zamanlı ve güncel veri tabanlarını kullanan, ulaştırma konusundaki etkinliği, güvenliği ve hizmet kalitesini geliştirmek amacıyla daha çok işletme, kontrol ve yönetim problemlerinin çözümüne yönelik hizmet veren uygulamaların ortak adıdır. Bu uygulamalar, kısaca ‘bilgi’ veya ‘bilişim’ teknolojileri olarak da bilinen elektronik, bilgisayar ve haberleşme teknolojilerinin gücünden yararlanarak, güvenli ve etkin bir ulaşım altyapısının oluşturulmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Çapalı B., 2009).

AUS uygulamalarıyla elde edilmek istenen yararlar, esas olarak ulaşım ve/veya trafik bilgilerinin elde edilmesi ve bunların ulaşım sürecinin temel bileşenleri olan kullanıcı (sürücü, yolcu ve yaya), yol ve taşıt birimleri arasında paylaşılması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla kullanılan haberleşme sistemi, günümüzde AUS’ne özel veri yolları(CAN bus v.b.) üzerinden yerel haberleşme ağlarına, oradan internet omurgasına bağlanan altyapısı ile evrensel bir boyuta ulaşmıştır (Vlacic, 2001).

AUS uygulamaları literatürde genellikle ‘ileri (advanced)’ nitelemesi ile verilen belirli temel konu başlıkları altındaki fonksiyonları yerine getirirler. Buna göre, AUS uygulamaları esas olarak şu ana başlıklar altında toplanır: İleri Trafik Yönetim Sistemleri (İTYS: Advanced Traffic Management Systems, ATMS), İleri Yolcu/Sürücü Bilgilendirme Sistemleri (İYBS: Advanced Traveller Information Systems, ATMS), İleri Toplu Taşıma Sistemleri (İTTS: Advanced Public Transportation Systems, APTS), Ticari Taşıt Organizasyonları (TTO: Commercial Vehicle Organisations, CVO), İleri Taşıt Kontrol Sistemleri (İTKS: Advanced Vehicle Control Systems, AVCS) (Sussman, 2005).

1.2 Trafik Ölçme ve Değerlendirme

Temel AUS alanlarından birisi olan İTYS kapsamındaki uygulamalar esas olarak gerçek zamanlı trafik yönetim ve denetim süreçleri ile ilgili fonksiyonları kapsar. Günümüzde yaşanan trafik sıkışıklıklarının gündeme taşıdığı sürdürülebilir ulaşım kavramı, bu süreçlerin artan önemine dikkat çekmektedir. Buna göre; sürdürülebilir bir ulaşım için, trafik akımlarının dinamiğini yansıtan parametrelerin gerçek zamanlı olarak ölçümü ve değerlendirilmesine dayalı teknolojik trafik yönetim ve denetim süreçlerinin yürütülmesi şarttır (Sussman, 2005).

Bu amaçla ulaşım planlamave trafik güvenliği ile ilgili çalışmalarda temel veri kaynağı olarak kabul edilen makroskopik akım parametreleri kullanılır. Trafik akımlarının dinamiğini yansıtan bu parametrelerin elde edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan taşıt ve yolcu sayımlarının insan veya uygun sayıcı araçlar vasıtasıyla elde edilmesi esasına dayanan geleneksel yöntemler; pahalı, zaman alıcı ve özel olarak eğitilmiş personele ihtiyaç duyulan yöntemler olduğundan, gerçek zamanlı uygulamalar için elverişli değildir (Tercan Ş. H., 2003).

Bu nedenle, günümüzde makroskopik trafik parametrelerinin geleneksel yöntemler yerine gerçek zamanlı ölçümlere dayalı olarak belirlenmesini esas alan yöntemler öne çıkmaktadır. Bu amaçla uygun yöntemlerin belirlenmesi üzerine yapılan araştırma çalışmaları literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda; kamera, loop dedektör, lazer dedektör, ultrasonik dedektör, infrared dedektör gibi çeşitli sensörler vasıtasıyla elde edilen kayıtların analizi, bunlardan yararlı ulaşım/trafik bilgilerinin (enformasyon) üretilmesi ve değerlendirilmesine ilişkin çok sayıda çalışma vardır (Sussman, 2005).

Günümüzde bu amaçla kullanılabilir ölçme ve değerlendirme düzenleri, hızla gelişen yarı-iletken esaslı sensör teknolojileri ve işlem gücü yüksek gömülü sistem çözümleri sayesinde esnek bir şekilde tasarlanabilmektedir. Bu tür ürünlerde aranan küçük hacim ve düşük güç harcaması gibi özellikler, bu çözümler sayesinde kolayca hayata geçirilebilmektedir. Bu kapsamda çeşitli manyeto-rezistif materyallerin kullanıldığı veri elde etme düzenleri son yıllarda üzerinde çalışılan ilgi çekici konulardan birisi haline gelmiştir.

Bu tez çalışması, literatürde konu ile ilgili yapılan son çalışmaların değerlendirilmesine bağlı olarak, mikroskopik trafik akımı parametrelerinin ölçümü ve değerlendirilmesi için GMR sensörlerin kullanıldığı bir gömülü sistem tasarımının gerçekleştirilmesi amacıyla başlatılmıştır.

1.3 Tezin Amacı

Yukarıda belirtildiği gibi, bu tez çalışmasının amacı, mikroskopik trafik akımı parametrelerinin ölçümü ve değerlendirilmesi için GMR sensörlerin kullanıldığı bir gömülü sistem tasarımının gerçekleştirilmesi şeklinde belirlenmiştir. Buna göre, geliştirilecek gömülü sistemin temel fonksiyonu, trafik akımlarının dinamiğini yansıtan mikroskopik akım parametrelerini ölçmek ve trafik denetim süreçlerinde kullanılacak olan makroskopik akım verilerini üretebilmek için bir ön çalışma gerçekleştirmek olacaktır.

Bununla beraber, geliştirilecek olan tasarım, GMR sensörler vasıtasıyla elde ettiği mikroskopik akım parametrelerini kayıt altına almak suretiyle, uzun süreli trafik gözlem bilgilerini kapsayan bir veri tabanının oluşturulmasına da katkı sağlayacaktır. Buna göre gömülü sistem tarafından sahadaki ölçümlerle elde edilerek kayıt altına alınan bu veriler, uygun bir veri tabanına aktarılarak ulaşım planlama açısından önem arzeden istatistiksel analizlerin yapılmasına imkân sağlayacaktır. Bu kapsamda taşıt takip süresi ve meşguliyet süresi gibi mikroskopik akım parametrelerinin yanı sıra, taşıt hızları ve taşıt boyları da hesaplanarak veri tabanına aktarılabilir.

Böylece, tasarlanacak gömülü sistemin, hem geleneksel loop dedektörler yerine kullanılabilir bağımsız bir sensör sistemi olarak, hem de bir bölge içerisindeki trafik bilgilerinin elde edilip değerlendirilmesine imkân sağlayan bir ‘veri toplama

sistemi' (trafik data-logger) olarak kullanılması mümkün olabilecektir. Bu nedenle, sistem kapsamlı bir 'trafik bilgi sistemi'nin temel bileşeni olarak değerlendirilebilir.

Sistemde mikroskopik akım parametre ölçümlerinin esas olarak son yılların en önemli keşiflerinden biri olan GMR sensörler vasıtasıyla yapılması planlanmıştır. Buna göre, sistemde sabit bir manyetik alan şiddetinin yoldan geçen her taşıtın ferromanyetik kompozisyonuna göre nasıl değiştiğini gösteren işaretler GMR sensörler tarafından; akım parametreleri ise, bu işaretlerin uygun filtreleme ve yükseltme işlemlerinin ardından, amaca uygun bir mikrodenetleyici üzerinde çalıştırılan programlar vasıtasıyla değerlendirilmesi suretiyle elde edilmektedir.

Sistemde bu yolla elde edilen ölçümler mikroskopik akım parametrelerinin yanı sıra her taşıtın sensör üzerinden geçiş anını belirleyen gerçek zaman saati (real time clock, RTC), taşıt hızı ve taşıt boyu bilgileriyle birlikte kayıt altına alınmaktadır. Ulaşım ve trafik analizi ile ilgili değerlendirmelerde kullanılacak makroskopik akım parametreleri ise, bu verilerin veri tabanına aktarılmasının ardından bilgisayar ortamında hesaplanabilmektedir. Bilgisayarda bu amaçla kullanılacak bütün uygulamalar ve bunlara ilişkin arayüzlerin yine bu tez çalışması kapsamında geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Genel çerçevesi yukarıda verildiği gibi belirlenen tez çalışması, tamamlandığında ülkemizde trafik teknolojisi ilgili yapılan araştırma-geliştirme çalışmalarına destek sağlayacak olması itibarıyla önemli bir görevi yerine getirmiş olacaktır. Böylece bu tez çalışması AUS kapsamında ülkemizde geliştirilebilecek bir çok projenin başlatılması ve yürütülmesi için gerek sanayi gerekse akademi çevrelerine olumlu bir örnek teşkil edecektir.

Nitekim, bu tez çalışmasının konusu ile ilgili bir ürün geliştirme fikrinin Sanayi Bakanlığı'nın TGD (TeknoGirişim Desteği) kapsamında desteklenmiş olması bu beklentiyi haklı çıkarmaktadır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının amacı öncelikle bu desteği haklı çıkaracak şekilde, yukarıda çerçevesi çizilen ve bir trafik bilgi sisteminin temel bileşeni olarak kullanılacak olan veri toplama sistemine ilişkin ürün prototipinin gerçekleştirilmesi olarak özetlenebilir.

Bununla beraber, amaçlanan ürün prototipinin gerçekleştirilmesi, sağlayacağı bilgi birikimi ve tecrübe ile birlikte, AUS kapsamındaki yeni bilişim ürünlerinin

araştırılması ve geliştirilmesi için bir potansiyel olacaktır. Bu husus belki de tez çalışması ile elde edilecek en önemli yarar olacaktır.

1.4 Literatür Özeti

Trafikteki taşıtların hızı trafiğin durumunu belirleyebilmek için en önemli parametrelerden birisidir ve AUS çalışmalarında kritik bir rol oynar. İTYS’de taşıt tespiti ve trafik parametreleri ölçümleri için yollara gömülü olarak yerleştirilmiş loop dedektörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca araç tespitindeki yüksek doğruluğundan dolayı loop dedektörlere ilaveten pnömاتيkyol tüpleri, piezoelektrik kablolar ve hareket halinde ağırlık ölçen (weigh-in-motion) sensörler de kullanılmaktadır (Url-1).

Ancak, anayollarda kullanılan tek bir loop dedektör trafik hız ölçümlerini yeterince doğrulukla sağlayamaz. Bu probleme çözüm olarak tek bir loop dedektör yerine çift loop dedektör kullanmak gerekmektedir. Bununla beraber, bu durum sistemin karayollarına kurulumu ve maliyet açısından önemli bir dezavantaj getirmektedir. Tüm bu dezavantajları minimuma indirmek için tek bir loop dedektör kullanarak hız tahmin edilmesine yönelik çalışmalar gündeme gelmiştir (L.Zhu ve diğ.).

Bu sistemlerin taşınabilirliğinin olmaması, kurulum zorluğu ve kurulum maliyetlerinden dolayı loop dedektörler ile oluşturulan sistemler lokal ölçümler için uygun olmakla birlikte, bölgesel bazda bir trafik sisteminin dinamiğini belirlemeye yönelik gerçek zamanlı veri toplama uygulamaları için elverişli değildir.

Ayrıca, bu sistemlerin çalışması için gerekli enerjinin fazla olması ve gereken enerjinin pil gibi sabit bir kaynaktan sağlanamaması da önemli bir dezavantaj olarak göze çarpmaktadır. Tüm bu sınırlamalar, alternatif sensör sistemlerinin araştırılıp geliştirilmesine yönelik çalışmaları gündeme taşımıştır (Delibaşoğlu İ. ve diğ., 2011).

Hız tespiti amacıyla kullanılan yöntemlerden radyo dalgalarının yansıması prensibine dayalı olanlar uzaktaki nesnelerin tespit edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu prensibine göre çalışan radarlar da araç tespiti için kullanılmaktadır. Buna göre, radyo dalgaları ile taşınan enerji ses dalgalarının yansıma özelliğine benzer şekilde hedef nesneye ulaşır ve yansıyarak geri döner. Az miktarda da olsa yansıyan bu yankı yansıtan nesnenin yön ve mesafesini tespit etmek için kullanılır. Aynı mantık ile ultrasonik sensörler de taşıt tespitinde kullanılabilir (Url-2).

Trafik parametrelerinin elde edilmesi için kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise görüntü işleme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalardır (Lu ve diğ.,1993; Çavdar ve diğ., 2009). Her alanda kullanılmaya başlanan bu yöntem ile video ve kamera görüntüleri geliştirilen analiz programlarıyla işlenebilmekte ve istenilen parametreler geçerli bir güvenilirlik düzeyinde elde edilebilmektedir (Agganval ve diğ., 1988).

Trafik kameralarıyla trafik parametrelerine yönelik çalışmaların bazılarında özellik tabanlı bir araç izleme algoritması uygulanmış ve çevre faktörlerinin etkileri azaltılmaya çalışılmıştır (Beymer ve diğ., 1997). Kamera görüntüleri kullanılarak geliştirilen bir başka çalışmada görüntü analizi ile kural tabanlı bir trafik izleme sistemi geliştirilmiştir (Cuchiara ve diğ., 2000).

Tüm bu sistemlerin dışında yol altına ya da kenarına herhangi bir donanım kurulumu yapmadan kullanılabilen (off-roadway) sistemler de mevcuttur. Bu sistemler küresel konumlandırma sistemi (global positioning system, GPS) veya cep telefonları aracılığıyla hareket halindeki taşıtların izlenmesine dayalı bir çalışma prensibine sahiptir. GPS vasıtasıyla elde edilen hız ve pozisyon bilgileri TYS'ne iletilir. Bunun diğeri sistemlerden en temel farkı, gözlem yapılabilmesi için araçların GPS sistemine sahip olması zorunluluğudur.

Bu zorunluluk bu tip sistemlerin anılan diğeri tüm sistemlerden (loop dedektör, radar, video işleme...) tamamen farklı bir yöntem olarak ele alınmasına, dolayısıyla trafikteki mevcut taşıtların bir çoğunun sistem için gerekli olan GPS cihazını içermemesinden dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmamasına ve diğeri sistemlere bir alternatif olamamasına sebep olmaktadır.

Trafik kameraları ile elde edilen görüntüler üzerinden görüntü işleme yöntemleri kullanılarak trafik parametrelerinin elde edilmesinin dışında, son yıllarda yarı-iletken teknolojisinde yaşanan gelişmeler, yarı-iletken teknolojisinin AUS çalışmalarında kullanılabilmesi için itici bir rol oynamaya başlamıştır. Bu gelişmeler; daha küçük, hassas ve ucuz taşıt algılama ve trafik ölçüm sistemlerinin geliştirilmesine imkân vermektedir. Bu kapsamda Anisotropic Magneto Resistors (AMR), Giant Magneto-Impedance (GMI) ve Spin Dependent Tunneling (SDT), GMR gibi çeşitli manyetik sensörler trafik ölçüm sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (T. Uchiyama ve diğ., 2000 ; K. Mohri ve diğ., 2001 ; P. Ripka, 1999 ; J.P. Sebastia ve diğ., 2007).

Bunlardan GMR sensörler, son yılların en dikkat çeken buluşlarından birisi olan manyeto-rezistif malzemelerle çok küçük boyutlu yapılar olarak üretilebilmektedir. Bu sensörler, yüksek duyarlılık ve düşük güç harcaması gibi özellikleri ile yer kürenin oldukça homojen bir dağılıma sahip olan manyetik alan vektörleri üzerindeki değişimleri algılayabilecek hassasiyete sahiptir. GMR sensörlerden elde edilen sinyal sadece manyetik alan değişiminin büyüklüğüne bağlıdır.

GMR sensöre ferromanyetik bir cisim yaklaştırıldığında oluşan manyetik alan değişimi GMR sensör tarafından algılanacaktır. Taşıtların aksamalarında bulunan yoğun metalgeçtiği bölgelerde manyetik alan değişimine sebep olmaktadır. Taşıtların bu özelliğinden yararlanılarak, GMR sensörler ile taşıt tespiti ve taşıt hızının hesaplanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir(J.P. Sebastia ve diğ., 2007).

1.5 Tezin İçeriği

Tezin çalışma alanının tanımlanmasına, tezin amacı ve kapsamına ilişkin bilgilerin verildiği bu bölümden sonra devam eden bölümleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

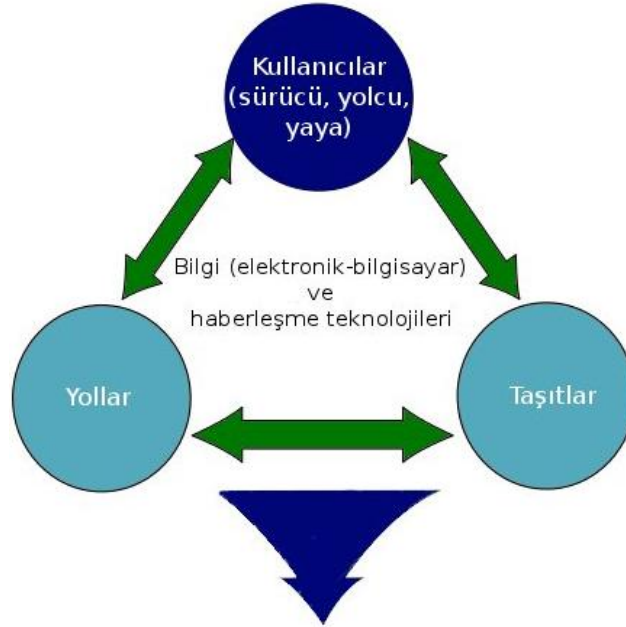
İkinci bölümde AUS ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu kapsamda özellikle İTYS ile ilgili uygulamalar ve trafiğin ölçümü ve değerlendirilmesi amacı ile kullanılan parametreler tanıtılmıştır. Mikroskopik parametre ölçümleri ile makroskopik parametrelerin nasıl belirlendiği ve bunların trafik kontrol süreçlerinde nasıl kullanıldığına ilişkin temel bilgiler de bu bölümde verilmiştir.

Üçüncü bölümde bu rez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar, geliştirilen donanım ve yazılım modülleri tanıtılmıştır. Bu bölümde ayrıca yapılan testler ve sonuçları verilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmaya ilişkin sonuçlar, ileride yapılması düşünülen çalışmalar ve tavsiyeler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); trafik kazaları, trafik sıkışıklığı ve çevre kirliliği gibi ulaşım ile ilgili çeşitli sorunlara gelişmiş haberleşme ve kontrol teknolojileri vasıtasıyla çözümler üreten sistemlerdir. Bu sistemler; sürücü, yolcu ve yayaların oluşturduğu 'kullanıcı' birimleri ile 'yol' ve 'taşıt' birimlerini bilgi (enformasyon) teknolojileri vasıtasıyla birbirine bağlar (Şekil 2.1) (Akbaş, 2010).



Şekil 2.1 : AUS Kullanıcı, Yol ve Taşıt Birimlerini Bilgi Teknolojileri ile Birbirine Bağlar (Akbaş, 2010)

AUS uygulamaları ile farklı ulaşım türleri arasında koordinasyon sağlanarak ideal trafik şartları oluşturulabilmekte; yolcu ve yük hareketlerinde hizmet etkinliği arttırılabilmekte, bilgi ve tecrübe kullanımı gelişen durumlara göre adapte edilebilmekte ve ulaşım ile ilgili yeni tecrübeler kazanılabilmektedir. AUS bütün bu avantajları ile gelecekte ortaya çıkabilecek ulaşım ile ilgili sorunları çözmek için bir potansiyel oluşturarak; güvenli, etkili ve sürdürülebilir bir ulaşım altyapısının kurulmasına imkân sağlamaktadır (Akbaş, 2010).

2.1 Gelişim Süreci

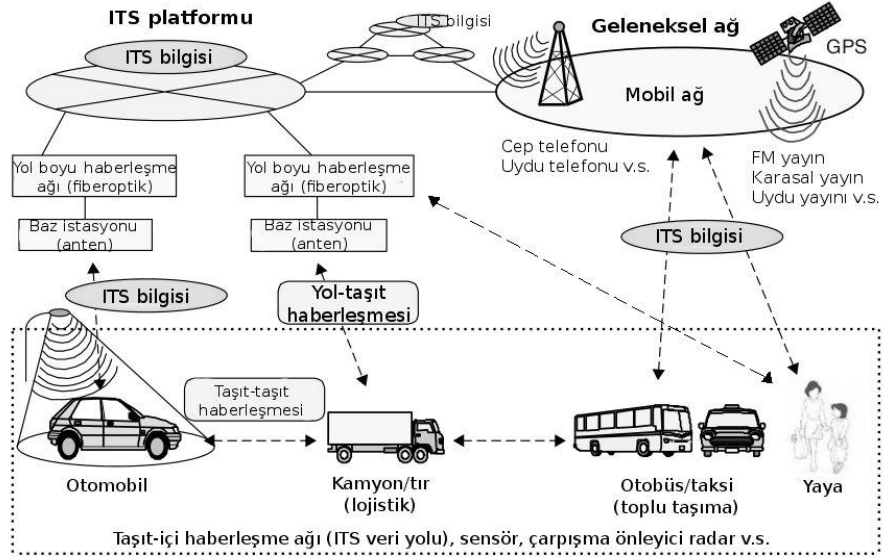
1970'li yıllardan itibaren, sanayileşmiş ülkelerin öncülük ettiği çeşitli AUS projeleri geliştirilmeye başlandı. Başlangıçta sinyalizasyon kavşak kontrolü gibi basit ve yerel uygulamalarla başlayan bu projeler, giderek daha karmaşık ve küresel ölçekteki projelere dönüştü. Bu projelerin kapsamı ve boyutu; mikroişlemci, sensör, elektronik ve haberleşme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak büyüdü. Zamanla AUS kapsamında geliştirilen ürünler ve altyapı hizmetlerindeki çeşitliliğin artmasıyla, 1990'lı yıllardan itibaren AUS ürünleri ve kullanıcı hizmetleri ile ilgili koordinasyon ve standardizasyon ihtiyacı gündeme gelmeye başladı.

Bunun üzerine AUS ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonuçlarını değerlendirmek ve uygulamada beklenen faydaları gerçekleştirmek için her yıl Avrupa Birliği, Kuzey Amerika ve Asya-Pasifik ülkelerini temsil eden bölgesel sekreteryakuruluşlarının birlikte organize ettiği 'AUS Dünya Kongresi (ITS World Congress)' düzenlenmeye başlandı.

Bu kongre her yıl Avrupa, Asya-Pasifik ve Kuzey Amerika bölgesi ülkelerinden birisinde dönüşümlü olarak düzenlenmekte; böylece AUS kavramının gelecekte ulaşım sistemleri için kilit bir rol oynayacağına ilişkin görüşün küresel boyutta bir fikir birliği ile benimsendiğinin de bir göstergesini teşkil etmektedir (Akbaş,2010).

Bu gelişmeler sonucunda AUS hizmetleri, yerel olarak kendi haberleşme altyapısı (ITS bus /CAN bus) üzerinden, küresel olarak da internet üzerinden ulaşılabilen hizmetler olma niteliğine kavuşmuştur (Şekil2.2).

Günümüzde ulusal düzeydeki AUS çalışmaları 30'dan fazla ülkede 'ITS America', 'ITS Japan' gibi isimler altında faaliyet gösteren ve kâr amacı gütmeyen kuruluşlar vasıtasıyla koordine edilmektedir. Bu kuruluşlar AUS ile ilgili ulusal araştırma-geliştirme çalışmalarını ve saha uygulamalarını teşvik etmekte, ilgili devlet ve özel sektör kuruluşları ile üniversiteler ve sivil toplum örgütleri arasında koordinasyon sağlamakta, bölgesel sekreteryaya aracılığıyla 'ITS Dünya Kongresi'ne katkı sağlamaktadır (Url-3).



Şekil 2.2 : AUS Haberleşme Altyapısı (Akbaş, 2010)

AUS kapsamındaki bu gelişmeler, bir yandanyeni sanayi alanlarının açılması ve yeni pazarların oluşması için büyük bir potansiyel oluştururken; diğer yandan teknolojik altyapısı ile toplumsal yapıyı değiştirebilecek etkinliklerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Sonuç olarak, günümüzde AUS hizmetleri ‘Bilgi Toplumu’nun kuruluş ve gelişmesine eşlik eden ve Bilgi Teknolojileri (IT) stratejisine uygun hedeflerdoğrultusunda gelişen bir çerçeveye oturmuştur.

Öyle ki, gelişmiş ülkelerin hemen hepsi bu yaklaşımı benimsemekte ve AUS uygulamalarını kapsamlı ‘AUS strateji planları’ doğrultusunda hazırladıkları planlar çerçevesinde hayata geçirmektedirler. Bu planların başarısı ise, AUS ile ilgili ‘sektörel alanlar’ ve bunlara ilişkin ‘hizmet alanları’nın iyi tanımlanmasına bağlıdır (Url-3;Url-4).

Buna göre her ülkenin AUS uygulamaları, bu uygulamaların ülke çapında nasıl yaygınlaştırılacağına ilişkin bir ‘AUS Sistem Mimarisi’ hazırlanarak hayata geçirilmektedir. Bu planlar çerçevesinde tamamlanan kapsamlı AUS projeleri, sürdürülebilir bir ulaşım altyapısının oluşturulmasının yanı sıra, stratejik plan çerçevesinde belirlenen ‘bilgi toplumu’ hedefine ulaşma açısından da önemli bir işlevi yerine getirmektedir.

Bununla beraber, AUS uygulamalarının yaygınlaşması ile gelecekte toplum ve bireysel hayat açısından önem taşıyan temel konulara önemli boyutta katkı sağlanması beklenmektedir. Bu konular, öncelik sırasına göre aşağıdaki 5 madde halinde sıralanabilir:

1. Karayolu trafiğinde güvenliğin artırılması,
2. Daha düzgün bir trafik akışı sağlayarak çevre bozucu etkilerin azaltılması,
3. Bireysel uyumun geliştirilmesi,
4. Bölgesel ekonomik etkinliğin geliştirilmesi,
5. Uluslararası standartlar ve küresel teknik düzenlemelerin teşvik edilmesi için ortak bir platform oluşturulması.

2.2 AUS Sektörleri ve Hizmet Alanları

Ulusal AUS Sistem Mimarisini oluşturan ülkeler, AUS hizmetlerini sınırlı sayıdaki AUS sektörü, her sektörü oluşturan sınırlı sayıdaki hizmet alanı ve her hizmet alanını oluşturan sınırlı sayıdaki alt-hizmet alanına ilişkin tanımlamalarla belirlemektedirler. Buna göre AUS hizmetleri ile ilgili sektörel faaliyet alanları, strateji planları kapsamında belirlenen öncelikli konulara göre belirlenmektedir. Örneğin Japonya'da kapsamlı Japon-AUS ana planı çerçevesinde belirlenen sektörel faaliyet alanları aşağıda sıralanan 9 ana başlık altında verilmektedir (Url-3):

1. İleri Navigasyon Sistemleri
2. Elektronik Ücret Toplama
3. Güvenli Sürüş Yardımı
4. Trafik Yönetiminin Optimizasyonu
5. Karayolu Yönetiminde Etkinliğin Arttırılması
6. Toplu Taşıma için Destek
7. Ticari Taşımacılıkta Etkinliğin Arttırılması
8. Yayalar için Destek
9. Acil Durum İşletmeleri için Destek

Bunun gibi, Malezya'da bu alanlar aşağıda verilen 9 ana başlık halinde tanımlanmıştır (Url-4):

1. İleri Trafik Yönetim Sistemleri
2. Güvenlik Sistemleri
3. İleri Toplu Taşıma Sistemleri
4. İleri Yolcu Bilgi Sistemleri
5. Elektronik Ücret Toplama Sistemleri
6. Ticari Taşıt İşletim Sistemleri

7. İleri Taşıt Kontrol Sistemleri
8. Acil Durum Yönetim Sistemleri
9. Bilgi Depolama Sistemleri

Malezya AUS Sistem Mimarisini oluşturan ve yukarıda sıralanan 9 sektörel faaliyet alanı içerisinde yer alan alt-hizmet alanlarının sayısı 91, hizmet alanlarını sayısı 36'dır. Bir örnek olarak, bunlardan İleri Trafik Yönetim Sistemleri sektörü ile ilgili 7 hizmet alanı şöyle belirlenmiştir: Kentiçi Trafik Kontrol, Trafikte Olay Tespiti ve Yönetimi, Ulaşım Talebinin Yönetimi, Çevresel Şartların Yönetimi, İşletme ve Bakım, Trafığe Kapalı Yol (Yaya Yolu) Güvenliği, Çok Modlu Kavşak Güvenliği ve Kontrolü. Bunun gibi, Güvenlik Sistemleri sektörel faaliyet alanı kapsamındaki 2 hizmet alanı şöyle tanımlanmıştır: Gelişmiş Kaza Verisi Toplama, Dinamik Uyarı ve Güvenli Sürüş Zorlama.

Alt-hizmet alanları ile ilgili bir örnek olarak, yukarıda Kentiçi Trafik Kontrol başlığı altında verilen hizmet alanı kapsamında 8 farklı alt-hizmet alanı tanımlanmıştır. Bunlar: Trafik Ağı Üzerinde Akım İzleme, Anayol Kontrol, Otoyol Kontrol, Bölgesel Trafik Kontrol, Trafik Bilgisinin Yayınlanması, Sanal TMC, Sorgu Esaslı Akım İzleme, Trafik Tahmin ve Öngörü şeklinde sıralanabilir (Url-4).

Yukarıda Japonya ve Malezya örnekleri üzerinden verilen AUS hizmet alanlarından önemli bir kısmının trafik akımlarının yönetimi ve denetimi ile ilgili olduğu görülmektedir. Bu kapsamdaki belli başlı hizmet alanlarından Trafik Sinyal Kontrol Sistemi, Transit Yol Yönetim Sistemi, Kaza/Olay Yönetim Sistemi ve Toplu Taşıma Yönetim Sistemi ile ilgili kısa bir tanıtım aşağıda verilmiştir (Yıldırım Ü., 2008; Yardım M. S.)

2.2.1 Trafik Sinyal Kontrol Sistemi

Bir otoyol sistemi üzerindeki trafik şartlarını izlemek ve trafik akımının maruz kaldığı engelleri belirleyerek uygun yönetim stratejileri ve bilgi yayma yöntemleri aracılığıyla seyahat edenlere gerçek zamanlı yol bilgilerinin teminini hedeflemektedir. Trafik Yönetim Merkezleri aracılığıyla ilgili personel trafik şartlarını elektronik olarak izleyip gerekli durumlarda trafik yönetim stratejilerini devreye sokar, acil durum müdahalesi ve olay yönetimi ekiplerini koordine ederek problemleri çözer.

Kapalı devre televizyonlar ve bir dizi sensör (mesela indüksiyon yapan kapalı devreler, manyetometreler, mikrodalga radarı, ultrason, kızılötesi, video görüntüsü işleme, otomatik taşıt tanıma (AVI) ve pasif akustik aygıtlar) gerçek zamanlı olarak otoyol durumunu elektronik ortamda izlemek için kullanılabilir (AUS ve Türkiye'deki Uyg. Mustafa Sinan). Böylece yollardaki araç akışı sürekli hale getirilmeye çalışılmaktadır. Örneğin; San Diego' da kurulu SCOOT sistemi sayesinde yoğun saatlerde trafik yoğunluğu %11 azaltılmıştır (U.S. Highway Administration, 1999).

2.2.2 Transit Yollar Yönetim Sistemi

Bu sistem ücret toplama noktalarındaki gecikmeleri azaltmak için elektronik finansman işlemlerini uygulayarak aynı zamanda nakit para ihtiyacını azaltmaya ve kurumlar arasında ortak bir ödeme ortamı kurmaya hizmet eder. Elektronik Geçiş Sisteminde araçlara konulan OGS tarzı cihazlarla radyo dalgalarıyla araç kimliği tespit edilmekte ve ücretlendirme otomatik olarak yapılmaktadır. İhlalleri belirleyebilmek ve yaptırım uygulayabilmek için aracın resimleri ve/veya plaka gibi ilave bilgiler de toplanmaktadır.

2.2.3 Kaza/Olay Yönetim Sistemi

Kaza/Olay yönetimi, genellikle otoyol yönetimi tarafından sağlanan izleme, trafik kontrol stratejileri ve seyahat bilgi kaynaklarından faydalanılarak bir nevi Trafik Sinyal Kontrol Sistemine entegre edilmiş bir sistemdir. Trafik kazalarını, hasarlı araçları, enkazları, otoyol ve belli başlı yollardaki diğer akış engellerini hızlı bir şekilde belirlemeye yarar, trafiği rahatlatmak için gerekli uyarı ve yönlendirmeleri yapar. Kaza olan yerleri belirleyerek yüksek kaza riski olan yerleri istatistiksel olarak belirler.

2.2.4 Toplu Taşıma Yönetim Sistemi

Bir toplu taşıma işletmesine ait taşıt filosunun yönetimini araçların durumlarını ve konumlarını gerçek zamanlı olarak izlemek suretiyle destekleyen sistemlerdir. Araç ile ilgili bilgileri toplayabilmek için araç-ıçi çeşitli sensörler kullanmak suretiyle taşıt performans parametreleri, yağ/yakıt seviyeleri, lastik basıncı ve rutin bakım durumu da elektronik olarak bu sistemlerle izlenebilir. Ayrıca toplu taşıma birimleri yolcuların ulaşım taleplerini karşılamak ve yolculara kolaylık sağlayabilmek için Toplu Taşıma Yönetim Sistemi ile elde ettiği verileri kullanabilir. Bu bilgileri,

kurumlar tarafından doğrudan kontrol edilen bilgi kioskları ve internet gibi vasıtalarla yolculara gerçek zamanlı olarak iletebilir.

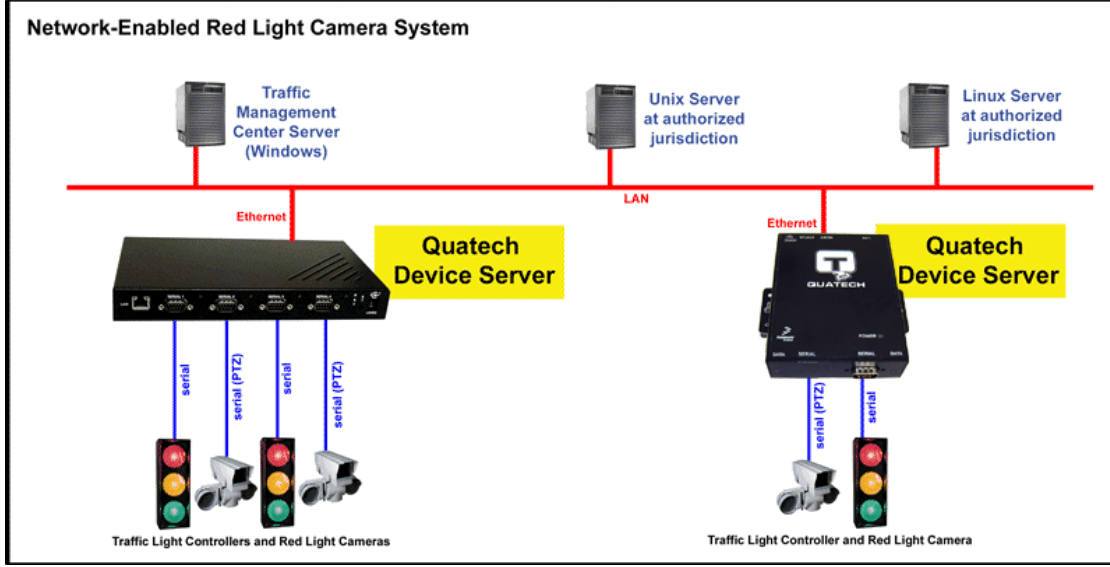
2.3 Türkiye'deki Uygulamalar

AUS uygulamalarının Türkiye'de trafik yönetim ve denetiminde kullanımı ilk kez İstanbul'da ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen uygulamalarla başlatılmıştır (Url-5). Bu kapsamdaki uygulamalardan bazıları aşağıda verilmiştir :

2.3.1 Trafik Kameraları

Bu sistem kameralardan gelen görüntüleri Görüntü İşleme (Image Processing) teknikleri ile işleyerek istenen trafik parametrelerinin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Bu yöntemle yoldan geçen taşıtlar sayılabilmekte, sınıflandırılabilen ve bu bilgilerle trafik ışıkları kontrol edilebilmektedir. Otoyollarda oluşan olaylar Kaza Tespit (Incident Detection) yazılımları ile kısa sürede fark edilebilmekte ve tıkanıklık, hatalı park etme gibi trafik olayları tespit edilebilmektedir. Bu bilgiler merkeze iletilerek sürücüler ön uyarı sistemleri ile bilgilendirilmektedir (Url-6).

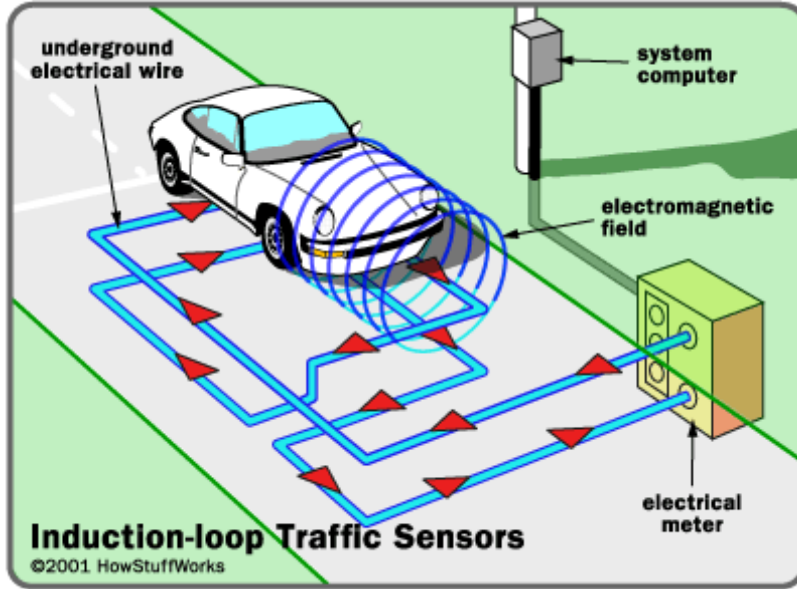
Türkiye'de ilk kez İstanbul'da Trafik Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen AUS çalışmaları çerçevesinde trafik yönetim ve denetiminde kullanılması amacıyla 110 kritik noktaya 270 derece dönüş açısına sahip trafik kameraları yerleştirilmiştir. Bu trafik kameraları ile ana arterlerdeki trafik durumunu anlık olarak Trafik Kontrol Merkezinden izlenmektedir. Elde edilen anlık trafik durumu bilgileri DMP (Değişken Mesaj Panoları), Ulusal ve Yerel 10 adet TV kanalı, 32 adet radyo kanalı, Mobil Cep Uygulamaları ve Web aracılığı ile sürücü ve yolcuların bilgilendirilmesi sağlanarak kent içi ana arter yol ağının en uygun şekilde kullanımı sağlanmaktadır (Şekil 2.3) (Url-5).



Şekil 2.3 : İstanbul Belediyesi Trafik Yoğunluk Haritası Uygulaması (Url-5)

2.3.2 Yol Sensörleri

Anlık trafik akım verileri yol ağının belirli kesimlerine yerleştirilen özel sensörler ile elde edilebilmektedir. Loop dedektörler ve yol ağının belirli kesimlerine yerleştirilen özel sensörler trafik akım verilerinin üretilmesi için kullanılan sensörlerdendir (Şekil 2.4, Şekil 2.5) (Url-5;Url7).



Şekil 2.4 : Loop Dedektör (Url-7)



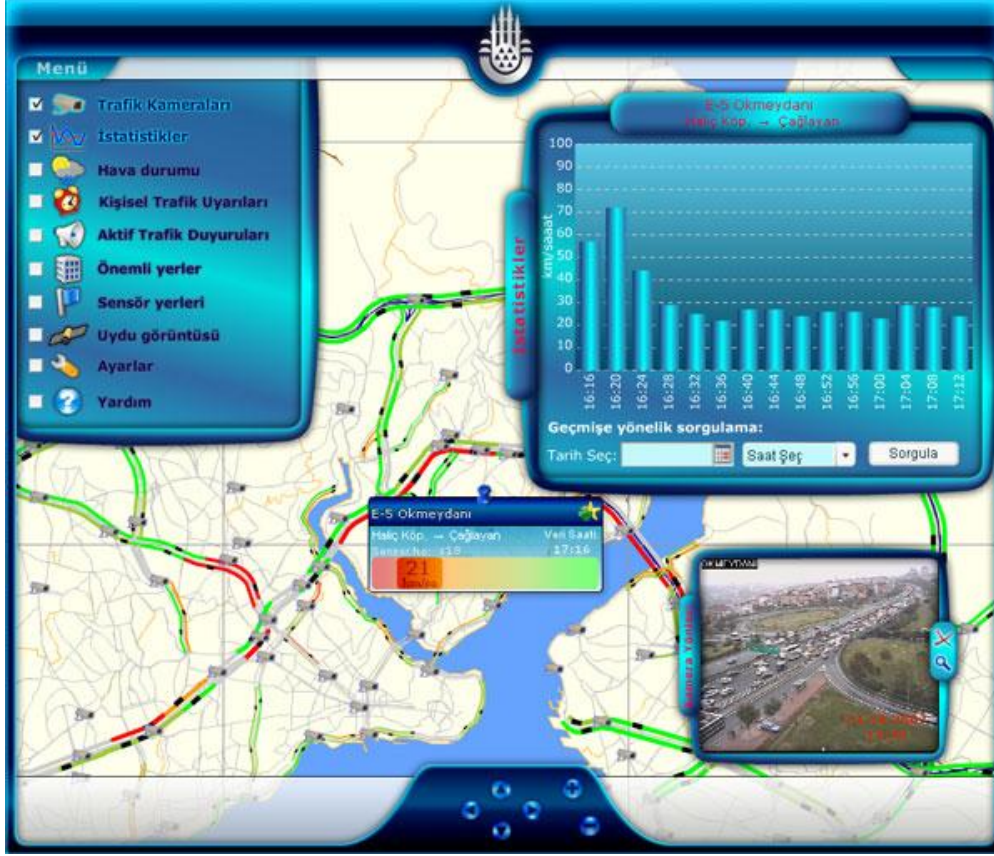
Şekil 2.5 : Yol kesmeyen (non-invasive) sensör (Url-5)

İstanbul'da uygulanmakta olan Akıllı Ulaşım Sistemi çerçevesinde yol sensörlerinden elde edilen veriler iki ana işlemden girdi olarak kullanılmaktadır. Birincisi; kavşakları yönetmek, sinyalsürelerini ayarlamak, ikincisi ise şehir genelinde anaarterler ve çevre yollarındaki trafik akım bilgilerini tespit edip mevcut alt yapının daha verimli kullanılmasına yönelik yönlendirmelerde bulunmaktadır (Url-5).

2.3.3 Trafik Yoğunluk Haritası

Genel bir yoğunluk ölçüm sistemi trafik akışını ölçmek için kullanılan dedektörlerden oluşur. Bu sistemler, trafik durumunu ve işareti belirleyen yol kenarı cihazları ile kontrol edilir. Sürücülere yoğun trafiğe karşı uyararak, kaza noktalarını bildirmek, tali yollara trafiği yönlendirmek üzere değişken gerçek zamanlı trafik verilerini trafik yönetim merkezine iletir (Url-5).

İstanbul'da uygulanmakta olan Akıllı Ulaşım Sistemi çerçevesinde mevcut yol ağının daha verimli kullanılabilmesi amacıyla ile trafik durumu bilgisinin en kısa zamanda ve en çok sayıda kullanıcıya sunulması için "Trafik Yoğunluk Haritası" kullanılmaktadır (Şekil 2.6) (Url-8).



Şekil 2.6 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Yoğunluk Haritası Uygulaması(Url-8)

- Yoğunluk haritası ile sensörlerden elde edilen anlık bilgilere dayanılarak trafik yoğunluğu bilgisi grafik animasyon ile rakamsal olarak sunulmaktadır.
- Yol ağındaki trafik hızlarının son bir saatteki değişimi Yoğunluk Haritası'nda grafiksel olarak gösterilmektedir.
- Ayrıca özel sensörler vasıtasıyla elde edilen detaylı ve anlık hava durumu bilgileri de haritada yer almaktadır.
- Yoğunluk haritasının kolay ve hızlı bir şekilde algılanabilmesi için yoğunluk bilgisi yol ağı sensörlerin temsil ettiği kesimlere bölünerek verilmektedir.

2.3.4 Değişken Mesaj Sistemleri(DMS)

Karayollarında sürücülere uyarma ve bilgilendirme amacıyla kullanılan değişken mesaj işaretleri(DMİ) trafik akışının daha düzenli ve güvenilir bir hale gelmesini sağlar. Değişken mesaj işaretleri (DMİ) trafik ile ilgili bilgileri yazılı ya da grafik üzerinde anlık olarak gösteren ışıklı işaretlerdir. Hava, yol,trafik durumu ve diğer bilgileri anında sürücülere bildirirler. Sürücülerin trafik durumuyla ilgili anlık

bilgiler elde edebilmesi vasıtasıyla yol ağı kapasitesinin daha etkin kullanımını sağlarlar. Radarlı modelleri, araçların hızını da ölçerek, hem hızını gösterir hem de yavaşlamaları için uyarı mesajı yazar. Hava, yol ve trafik koşullarının uyarıyı gerektirmediği hallerde, genel kuralları hakkında hatırlatıcı mesajlar verirler (Öztürk, N., B., 2006).

2.3.5 Mobil Bilgi Sistemi

Belediye birimlerinin projelerinde ihtiyaç duyulan çeşitli kent bilgilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS – Geographical Information System) ortamında yerinden, tek adımda ve kontrollü olarak toplanmasını ve mevcut bilgilerde güncellemelerin yapılmasını sağlar. Teknik sorunlara müdahale, trafik işaretlerinin kontrolünü sağlayabilme, sayısal harita verilerinin toplanması ve güncellenmesi, şehir içi ulaşım bilgilerinin oluşturulması amacıyla Mobil Bilgi Sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca belediye ekipleri ve müteahhitlerin kent içinde yaptıkları çalışmaların arazide kontrol ve takip edilebilmesi için de kullanılır. İnternet üzerinden gerekli bilgilerin merkezle eşzamanlı olarak iletilmesini sağlayan mobil GIS sistemidir.

2.3.6 Trafik Kural İhlali Tespit Sistemi

Trafik Kural İhlal Tespit Sistemleri, tüm dünyada kullanılan hali ile; Kırmızı Işık İhlal Sistemi, Emniyet Şeridi İhlal Sistemi ve Trafik Kuralları İhlal Sistemleri olarak üç ana kategoride değerlendirilmektedir. Trafik Müdürlüğü bünyesinde Kırmızı Işık İhlal ve Plaka Tespit Sistemi Kâğıthane, Edirnekapı, Beşiktaş, Merter ve Bağlarbaşı'nda kullanılmaktadır (Url-5).

2.4 Trafik Akımlarına İlişkin Temel Değerlendirmeler

Karayolu ulaşım altyapısının daha etkin bir şekilde kullanılmasına imkân sağlayan AUS çözümleri, ulaşım ile ilgili yönetim ve denetim birimlerine gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak etkin bir yönetim ve denetim sürecinin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

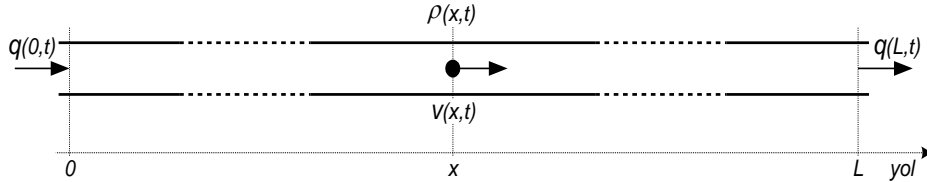
Bu kapsamda Federal Highway Administration (FHWA) tarafından ekspres yollar ve otoyollardaki ulaşımın yönetimi ile ilgili olarak tanımlanan çözümler şöyle sıralanmaktadır: Ulaşım altyapısı ve trafiğin izlenmesi, katılım denetimi, 2-yönlü trafik şeritlerinin yönetimi, beklenmeyen olaylarla ortaya çıkan ulaşım şartlarının

yönetimi, yolcu ve sürücü bilgilendirme sistemlerinin yönetimi, yayaların ve sürücülerin trafik kısıtlarına (hız sınırlama v.b.) uymaya zorlanması (Url-9).

Bu uygulamaların birçoğu, trafik akımlarının dinamiğini yansıtan gerçek zamanlı parametrelerin uygun modellere göre değerlendirilmesi suretiyle yürütülmektedir. Bu nedenle, bu bölümde makroskopik trafik akım parametreleri ve bunların ölçümü ve değerlendirilmesi için kullanılan gerçek zamanlı uygulamalara eşlik eden teorik bilgiler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

2.4.1 Model Tabanlı Değerlendirmeler

Trafik akımlarının dinamiği bu akımların makroskopik karakteristiklerini temsil eden 3 temel parametre ile belirlenir: akım (flow, q), yoğunluk (density, ρ), akım hızı (speed, v). Bunlardan akım, yolun bir kesitinden birim sürede geçen taşıt sayısı (taşıt/saat); yoğunluk, yolun birim uzunluktaki bir parçasını meşgul eden taşıtların sayısı (taşıt/km); hız (akım hızı) da, yolun bir kesitinden belirli bir sürede geçen taşıtların ortalama hızıdır (km/saat) (Akbaş, 2003; May, 1990; Papageorgiou, 1983). Gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında bu parametreler bir yol segmenti (ayrık yol birimi) bazında ve belirli bir zaman aralığı (ayrık zaman birimi) esas alınarak belirlenir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Makroskopik Trafik Akımı Parametreleri (Akbaş, 2003)

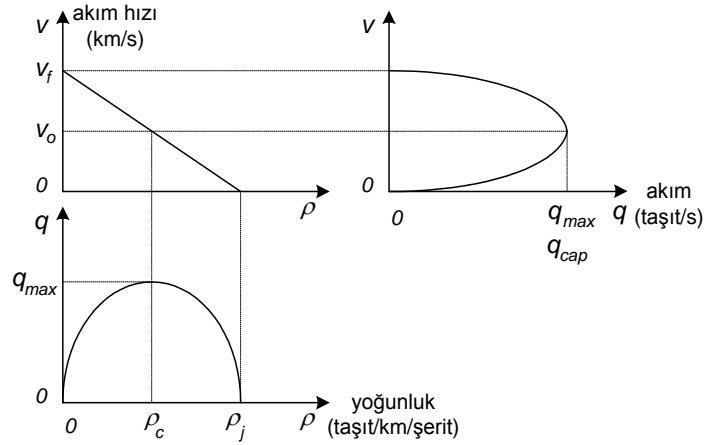
Buna göre, x km cinsinden yol uzunluğunu, t saat cinsinden zamanı temsil etmek üzere; trafik akımlarının makroskopik özellikleri, yolun herhangi bir konumunda ve herhangi bir zamanda daima aşağıdaki eşitliği sağlar (May, 1990):

$$q(x,t) = \rho(x,t) * v(x,t) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte geçen hız ve yoğunluk parametreleri arasındaki ilişki literatürde çeşitli modellere göre yorumlanmaktadır. Bunlardan Greenshield modeli, bu iki parametre arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi verir (May, 1990):

$$v = v_f (1 - \rho / \rho_j) \quad (2.2)$$

Burada v_f yolun hizmet düzeyine göre ulaşım otoritesi tarafından belirlenen serbest ulaşım hızını, ρ_j taşıt kompozisyonuna göre belirlenen yolun tıkanma yoğunluğunu temsil etmektedir. (2.1) ve (2.2) eşitlikleri birlikte değerlendirildiğinde, $q=f(\rho)$ ve $q=f(v)$ ikili ilişkilerinin parabolik bir karakteristiğe sahip olduğu kolayca görülür. Buna göre, makroskopik akım parametreleri arasındaki ikili ilişkiler ($v=f(\rho)$, $q=f(\rho)$, $q=f(v)$) Şekil 2.8’de verilen diyagramlarla temsil edilebilir.



Şekil 2.8 : Makroskopik Parametreler Arasındaki İlişkiler (Akbaş, 2003)

Bu ilişkilerin ilk bakıştaki yorumu göstermektedir ki, her anayol akımının yolun herhangi bir konumunda ve herhangi bir anda ulaşabileceği en büyük akım değeri, bir optimum akım hızı (v_o) ve buna karşılık gelen bir kritik yoğunluk (ρ_c) değeri sağlandığında elde edilebilen akım değeridir. Bu akım değeri yolun kapasitesine eşittir: $q_{max} = q_{cap} = \rho_c * v_o$. Buna göre, parabolik değişimlerin tepe noktalarına karşılık gelen optimum akım hızı için $v_o = v_f/2$, kritik yoğunluk için de $\rho_c = \rho_j/2$ sonucuna ulaşılır. Bu değerler, yolun hizmet düzeyi ve taşıt kompozisyonuna göre belirlenen sabit değerlerdir. Öyle ki; optimum akım hızı, serbest ulaşım hızının; kritik yoğunluk da tıkanma yoğunluğunun yarısına eşittir.

Dolayısıyla, yolun kapasitesi $q_{max} = q_{cap} = \rho_j * v_f / 4$ eşitliği ile verilir ve trafik otoritesi tarafından tespit edilen serbest ulaşım hızı ile taşıt kompozisyonuna göre belirlenen bir kritik yoğunluk değerinin $1/4$ katsayısı ile beraber çarpımı sonucunda belirlenen sabit bir değeri ifade eder. Bu değer ülkemiz otoyol ve ekspres yollarında 1800-2200 taşıt/saat/şerit aralığında verilmektedir. Buna karşılık Japonya’da otoyollar için 3600 taşıt/saat/şerit değerine ulaşılabildiği bilinmektedir (Url-3).

Buna göre, basit bir hesaplama ile serbest ulaşım hızının 100 km/saat olduğu bir ana yolda kapasitenin 2000 taşıt/saat olması halinde yoğunluk 40 taşıt/km; 3600 taşıt/saat olması halinde ise 72 taşıt/km olarak hesaplanır. Bunlardan en büyüğü dikkate alındığında bile taşıt takip aralığı yaklaşık 15 metredir. Dolayısıyla, ortalama taşıt boyunun 5 metre olduğu varsayılırsa taşıtlar arası takip mesafesi 10 metre civarındadır. Buna karşılık, 2000 taşıt/saat akım değeri için taşıt takip aralığı 25 metre, taşıtlar arası takip mesafesi 20 metre olarak hesaplanır.

Buna göre, yol kapasitesini %25 arttırarak 2000 yerine 2500 taşıt/saat olarak kullanabilmek için, akımın 50 taşıt/km yoğunlukla akabilmesini, diğer bir deyişle taşıtlar arası takip mesafesini 15 metreye kadar indirebilmeyi başarmak yeterli olacaktır. AUS uygulamalarının gerek yolun altyapısı ile gerekse taşıt teknolojisi ile ilgili olarak getirdiği çözümler bu değerlere rahatlıkla ulaşabilmeyi mümkün kılmaktadır. Japonya örneğindeki aktüel rakamlar bunun somut bir örneğini teşkil etmektedir.

Diğer taraftan, trafik akımının makroskopik parametreleri gerçekte yolun konumu ve zamana bağlı olarak değişen parametrelerdir. Yolun herhangi bir konumunda ve herhangi bir anda geçerli olan makroskopik akım parametreleri aşağıdaki verilen ve akışkanlar mekaniğini esas alan dinamik akım modeline göre belirlenir (Kachroo ve diğ., 2000):

$$\frac{\partial}{\partial x} q(x,t) + \frac{\partial}{\partial t} \rho(x,t) = 0 \quad (2.3)$$

Buna göre, gerçek zamanlı bir kontrol sürecinde hangi akım parametresinin referans alınarak değerlendirme yapılması gerektiği, yukarıda verilen (2.1), (2.2) ve (2.3) eşitlikleri birlikte değerlendirilerek belirlenebilir. Buna göre, yolun herhangi bir konumunda ve herhangi bir anda oluşabilecek trafik sıkışıklığının belirlenmesi için esas alınacak parametre, makroskopik yoğunluk parametresidir. Diğer bir deyişle, gerçek zamanlı bir kontrol sürecinin temel amacı, yoğunluğun yolun herhangi bir kesiminde ve herhangi bir zaman için kritik yoğunluk civarında kalmasını sağlayacak mekanizmaların harekete geçirilmesi olmalıdır (Kachroo ve diğ., 2000):

$$\begin{aligned} \rho(x,t) &< \rho_{\max} \\ \rho_c &\leq \rho_{\max} < \rho_{jam}, \forall x \in L, t \in R^+ \end{aligned} \quad (2.4)$$

Öyle ki; yoğunluk, kritik yoğunluk değerine ulaşmadığı sürece gerçekleşen akım değeri yol kapasitesini aşmayacak, buna karşılık herhangi bir trafik sıkışıklığı da yaşanmayacaktır. Gerçekleşen akım değeri, yoğunluğun kritik yoğunluğu aştığı durumlarda daima yol kapasitesinin altında olacaktır. Üstelik bu durumda giderek artan yoğunluk trafiği durma noktasına kadar getirebilecektir.

AUS çözümlerinden Değişken Hız Sınırı Denetiminde, bu mekanizma esas olarak yol boyunca kritik noktadaki yoğunluk ölçümlerine dayanarak, kritik yoğunluğun oluşma ihtimali olan bölgelere gelen akımların hızını sınırlandırmak suretiyle; Katılım Denetiminde ise, ana yola katılım noktalarındaki yoğunluk ölçümlerine dayanarak, kritik yoğunluğun oluşma ihtimali olan katılım kollarındaki akımı sınırlandırmak suretiyle oluşturulmaktadır.

2.4.2 Değişken Hız Sınırı Denetimi

Değişken Hız Denetiminde (2.4) eşitliği ile verilen şartın sağlanması ile yol boyunca şok dalgalarının oluşumu önlenerek düzgün bir trafik akışı sağlanabilmektedir. Bunun için, yolun herhangi bir kesitinde yoğunluğun kritik yoğunluğu aşacağına ilişkin bir beklenti oluştuğunda, zaman kaybetmeden o noktaya gelen talebi düşürecek mekanizma harekete geçirilir.

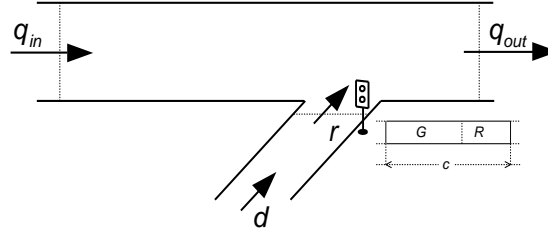
Bunun için yapılması gereken şey, makul bir mesafe öncesinden bir VMS panosu aracılığıyla sürücülere bildirimde bulunarak, taşıtların serbest ulaşım hızını (2.1) eşitliğine göre belirlenen ve ölçülen yoğunluk değeri ile ters orantılı olacak şekilde hesaplanan bir hız ile sınırlandırmaktır. Böylece, önceden hazırlanan sistem mimarisine göre belirlenmiş bütün ölçüm noktaları için bu değerlendirme yapılarak ve ilgili VMS panolarına hesaplanan hız limiti yansıtılarak yol boyunca düzgün bir trafik akışı sağlanabilir (Zhang ve diğ., 1996).

Bu durumda akım hızı örneğin 10 km/saat değerlerine kadar bile düşse, yol kapasitesi azalmasına rağmen tıkanma şartlarına göre çok daha etkin bir kullanım gerçekleşebilmektedir. Bu durumda yukarıda verilen rakamlar esas alınarak bir değerlendirme yapıldığında 2000 taşıt/saat kapasiteli bir yol şeridinde, yoğunluk 100-150 taşıt/km aralığında gerçekleşebilir. Bu da akımın 1000-1500 taşıt/saat aralığında gerçekleşmesi demektir. Ancak tıkanma halinde hız sıfır olduğundan gerçekleşen akım değeri de sıfır olacak, bu durum geriye doğru tıkanma ve kuyruklanmayı artırarak sorunu kontrol edilemez noktaya taşıyacaktır. Bununla

beraber, bu yollara katılımın olduğu noktalarda oluşan yoğunluk artışları da anılan durumu tetiklemektedir. Bu tür durumlarda kapasite azalması yaşansa da ana yol akımını durdurmamak için ikinci bir mekanizma olan Katılım Denetimi kullanılır.

2.4.3 Katılım Denetimi

Katılım Denetiminde ana yollara katılımın olduğu noktalarda oluşan yoğunluk ölçümü esas alınır. Buna göre, bu tür yol kesimlerindeki yoğunluğun kritik yoğunluğu aşacağına ilişkin bir beklenti oluştuğunda, katılım kolundan gelen akım sınırlandırılmak suretiyle bir kontrol mekanizması oluşturulur. Bu amaçla katılım akımının sınırlanma oranı, katılım kolunun ana yola birleşme noktasına yakın bir konumuna yerleştirilen bir trafik ışığının çevrim süresi ve yeşil ışık süresi ayarlanarak belirlenir (Şekil 2.10).



Şekil 2.9 : Katılım Denetimi Mekanizması (Akbaş, 2003)

Katılım denetiminde sabit bir çevrim süresi kullanıldığında; katılım akımının, $r(t)$, hesaplanan değerine göre yeşil ışık süresi aşağıdaki gibi hesaplanır (Akbaş, 2003; Kachroo ve diğ., 2000; Papageorgiou, 2000; Zhang ve diğ., 1996).

$$G = [(r(t) / r_{max}) \cdot c] \quad (2.5)$$

$$G \in [G_{min}, G_{max}], G_{min} > 0, G_{max} \leq c$$

Burada c sinyal çevrim süresini, G yeşil ışık süresini, G_{min} ve G_{max} yeşil ışık süresinin en az ve en çok olabilecek değerlerini, r_{max} katılım akımının doygun değerini (kapasite) gösterir.

2.5 Trafik Akımlarının Gerçek Zamanlı Ölçümü

AUS uygulamalarında trafik akımlarının dinamiği ile ilgili gelişmelerin analiz edilebilmesi için, akım karakteristiklerini yansıtan parametrelere ilişkin verilerin elde edilmesi ve bunların çeşitli matematiksel modeller çerçevesinde yorumlanması gerekir. Bu amaçla, gerçek zamanlı olmayan geleneksel ölçme yöntemlerinin yerine,

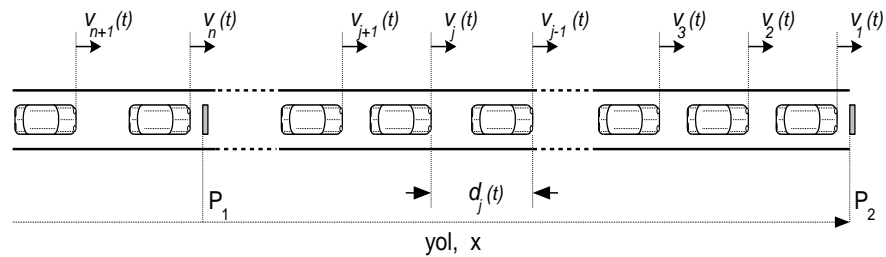
gerçek zamanlı verilerin üretilmesine imkân sağlayan ve taşıtların geçiş yolu üzerine yerleştirilen trafik dedektörleri vasıtasıyla elde edilen ölçümlerden yararlanılmaktadır.

Taşıtların davranışlarının tek tek analiz edilebilmesinin yanı sıra, taşıtların gruplarına ilişkin davranışların ayrıntılı olarak analiz edilebilmesine de imkân sağlayan bu ölçümler ile elde edilen parametreler, *mikroskopik akım parametreleri* olarak bilinir. Akım karakteristiklerine ilişkin makroskopik veriler, trafik dedektörleri üzerinden ölçülen mikroskopik akım parametrelerinden yararlanılarak çeşitli şekillerde üretilebilmektedir. Bu amaçla en yaygın olarak kullanılan mikroskopik akım parametreleri, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- taşıtların takip süresi (time headway, h)
- meşguliyet süresi (occupancy time, o)
- taşıtların takip mesafesi (distance headway, d)

Taşıtların takip mesafesi, herhangi bir t anında birbirini takip eden iki taşıtlar arasındaki mesafeyi; taşıtların takip süresi, herhangi bir yol kesitinden geçen iki taşıtların, aynı noktadan geçme anları arasındaki süreyi; meşguliyet süresi de, bir taşıtların uzunluğu belli olan bir yol kesitini meşgul etme süresi olarak tanımlanır (Akbaş, 2001; May, 1990).

Şekil 2.11’de bir trafik akımının $t = t_0$ anındaki görüntüsü ve akım parametrelerinin ölçülmesi için yol kaplamasının altına yerleştirildiği varsayılan trafik dedektörlerinin konumları gösterilmiştir. Burada j , taşıtların numarasını ($j=1,2,\dots,n,\dots$); $v_j(t)$, $t = t_0$ anındaki taşıtların hızlarını temsil etmektedir. Mikroskopik akım parametrelerinin en sık kullanılanlarından birisi olan taşıtların takip mesafesi bu şekil üzerinde gösterilmiştir. Buna göre; $d_j(t)$, j nolu taşıtlar ile, önündeki taşıtların burunları arasındaki taşıtların takip mesafesinin $t=t_0$ anında aldığı değeri belirtmektedir.

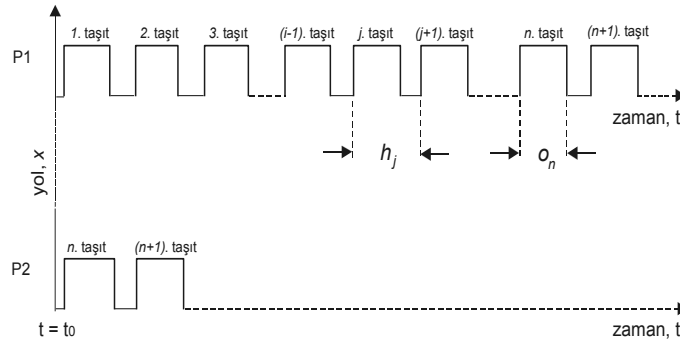


Şekil 2.10 : Bir Trafik Akımının $t=t_0$ Anındaki Görüntüsü (Akbaş, 2001)

Şekil 2.10’de verilen taşıt kompozisyonuna göre, yolun P1 ve P2 kesitlerine yerleştirilen trafik dedektörleri üzerinden alınan sayısal karakterdeki işaretlerin $t=t_0$ anından itibaren değişimi, Şekil 2.11’de bir örneği verilen değişim gibi olacaktır. Mikroskopik akım parametrelerinin en sık kullanılanlarından diğer ikisi de bu şekil üzerinde gösterilmiştir: taşıt takip süresi ve meşguliyet süresi.

Buna göre, P1 noktasından j nolu taşıt ile önündeki taşıtın geçiş zamanları arasındaki fark (j nolu taşıtın takip süresi) h_j sembolü ile gösterilmiştir. Bunun gibi, n nolu taşıtın P1 noktasına yerleştirilen trafik dedektörünü meşgul etme süresi, o_n sembolü ile gösterilmiştir.

Şekil 2.11’de gösterilen değişim şekline göre, her kare dalganın yükselen (çıkan) kenarı, ilgili taşıtın trafik dedektörüne yaklaştığı ana; alçalan (inen) kenarı da, ilgili taşıtın trafik dedektöründen uzaklaşmaya başladığı ana karşılık gelmektedir. Bu iki an arasındaki sürede, taşıt, trafik dedektörünü meşgul etmektedir (occupancy time, o). Bu süre, taşıtın boyu, taşıtın hızı ve trafik dedektörünün boyuna bağlı olarak değişir (Akbaş, 2001).



Şekil 2.11 : Şekil 2.10’da Gösterilen Taşıt Kompozisyonu İçin P1 ve P2 Dedektörlerinden Elde Edilen İşaretlerin Değişim Şekli (Akbaş, 2001)

Mikroskopik akım parametrelerinden taşıt takip süresi, temel akım karakteristiklerinden ‘akım’ın doğrudan bir ölçüsünü vermektedir. Buna göre, taşıt takip süresi h , ‘saniye’ birimiyle ölçüldüğünde, akımın ‘taşıt/saat’ birimiyle ifade edilen anlık değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$q = 3600 / h \quad (2.6)$$

Bunun gibi, mikroskopik akım parametrelerinden ‘meşguliyet süresi’de, temel akım karakteristiklerinden ‘hız’ın doğrudan bir ölçüsünü vermektedir. Buna göre, meşguliyet süresi o , ‘saniye’ birimiyle, meşgul edilen yol uzunluğu ℓ ‘metre’

birimi ile ölçüldüğünde, hızın 'km/saat' birimiyle ifade edilen anlık değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v = 3.6 \ell / o \quad (2.7)$$

Bu parametrelerin ölçüldüğü trafik dedektörünün boyu ℓ_d ve taşıtın boyu ℓ_t de 'metre' birimi ile ölçüldüğünde, (2.7) eşitliğinde kullanılan yol uzunluğu, aşağıdaki gibi alınabilir:

$$\ell = \ell_d + \ell_t \quad (2.8)$$

Meşguliyet süresi, aralarındaki mesafenin belirli olduğu 2 ayrı dedektörden elde edilen ve bir örneği Şekil 2.11'de verilene benzer sayısal işaretler kullanılarak da ölçülebilir. Bu amaçla aynı taşıta ait yükselen kenarların olduğu anlar tespit edilir. Tespit edilen bu anlar arasında geçen süre, dedektörler arasındaki sabit Δx mesafesinin ilgili taşıt tarafından kat edildiği Δt süresine karşılık gelir. Dolayısıyla, ilgili taşıtın hızı, dedektörler arasındaki sabit Δx mesafenin bu süreye bölünmesi suretiyle belirlenir:

$$v = 3.6 \Delta x / \Delta t \quad (2.9)$$

Bu yöntemle elde edilen anlık taşıt hızları, daha düşük hata payları içerir. Bu tez çalışmasında, taşıt hızlarının belirlenmesi için bu yöntem benimsenmiştir. Buna göre, bu eşitlikte km/saat birimiyle ölçülen anlık taşıt hızları, 3.6 çarpanı kullanılmadığı takdirde m/saniye boyutuyla elde edilir. Anlık akım hızına karşılık gelen bu hız (2.6) eşitliğinde kullanılan taşıt takip süresi (h) ile çarpıldığında ilgili taşıt ile onu takip eden taşıt arasındaki 'taşıt takip mesafesi' (d) hesaplanabilir:

$$d = h * \Delta x / \Delta t \quad (2.10)$$

Mikroskopik akım parametrelerinden 'taşıt takip mesafesi', temel akım karakteristiklerinden 'yoğunluk'un doğrudan bir ölçüsünü vermektedir. Şöyle ki, herhangi bir t anında iki taşıt arasında ölçülen taşıt takip mesafesi d , 'metre' birimi ile ifade edilirse; bu anda yolun 1 km. lik uzunluğunu meşgul eden taşıtların sayısı, yani yoğunluk, 'taşıt/km' cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\rho = 1000 / d \quad (2.11)$$

Mikroskopik akım parametreleri yukarıda verilen örneklerin yanı sıra, trafik akımlarının dinamiğini yansıtan çok sayıda makroskopik parametrenin üretilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Böylece, ölçüm noktalarının seçimine göre birden çok

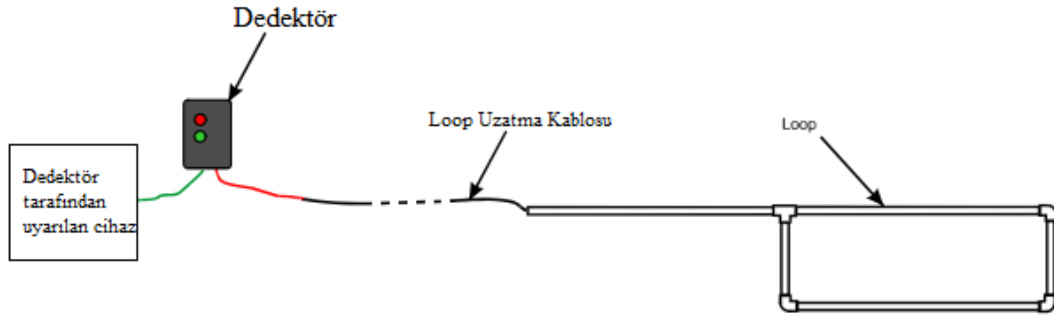
noktadan yapılan gerçek zamanlı ölçümlerle, bölgesel trafik analizlerini yapabilmek mümkün olabildiği gibi; ulaşım planlama açısından çok büyük önem arzeden bir veri tabanı da oluşturulabilmektedir. Bu tez çalışmasında, anılan kapsamda parametrelerin ölçümü ve değerlendirilmesi amacıyla kullanılacak böyle bir sistem tasarımı yapılmıştır.

3. TRAFİK PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİNE YÖNELİK KULLANILAN BAZI SİSTEMLER

3.1 Loop Dedektörler

Taşıtların tespiti için kullanılan yöntemlerden birisi loop dedektörlerdir. Bir loop dedektör sistemi üç ana parçadan oluşur(Url-10).

- Dedektör
- Sarmal yapıdaki kablo
- Uzatma kablosu



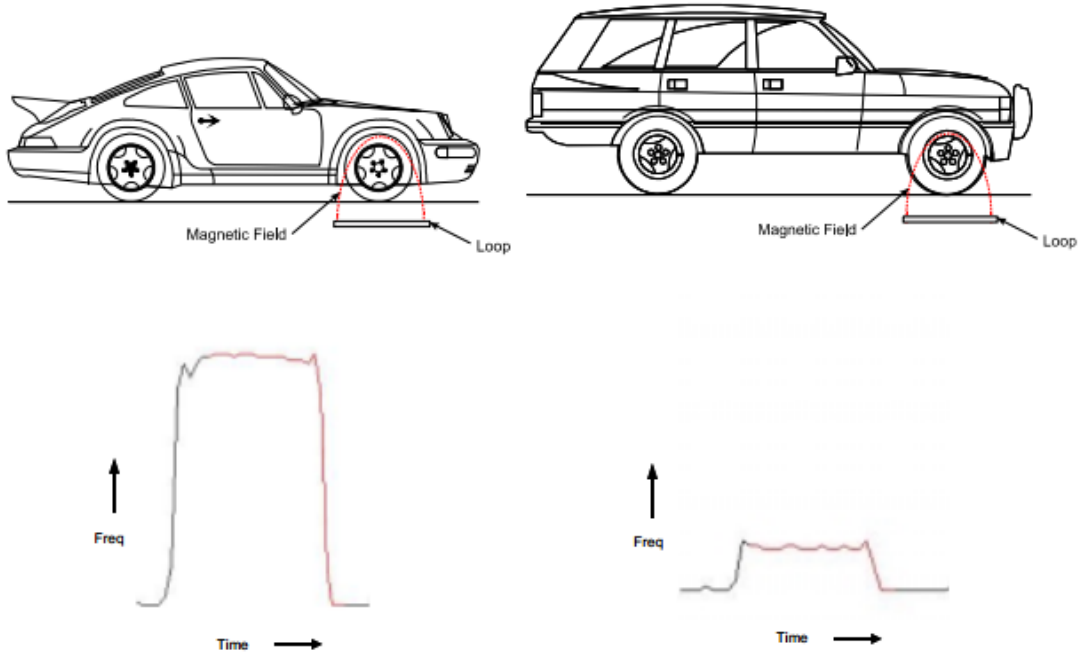
Şekil 3.1 :Loop dedektör genel yapısı

3.1.1 Çalışma Prensibi

Sarmal yapıdaki kablo yol şeridi boyunca döşenir. Sarmal yapıdaki kablunun başlangıç ve bitiş noktaları aynı noktadan uzatma kablosu aracılığıyla dedektöre bağlanır. Dedektörden güç alan sarmal yapıda manyetik alan meydana gelir ve sabit frekanstaki bu manyetik alan dedektör tarafından ölçülür. Sarmal yapı üzerinde taşıt bulunmadığı bir anda baz alınacak temel frekans değeri belirlenir. Taşıt gibi büyük bir metal nesne sarmal yapı üzerinden geçtiğinde ölçülen frekans değeri artar. Frekanstaki bu artış dedektör tarafından ölçülür ve taşıt loop dedektör üzerinden

ayrılıncaya ve frekans normal değerine dönünceye kadar taşıtın dedektör üzerinde bulunduğu bilgisi kaydedilir/gösterilir.

Genelde, yoğun metal bulunan daha kompakt taşıtlar diğerlerine göre frekansta daha büyük bir atışa neden olur. Ayrıca aracın yere daha yakın olması da manyetik alanı etkileme şiddetinde önemlidir. Örneğin aşağıdaki örnekte küçük olan aracın neden olduğu frekans değişimi daha fazladır (Url-10).



Şekil 3.2 : Loop dedektör ölçüm örnekleri (Url-10)

Ayrıca, dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise iki taşıtın neden olduğu frekans değişiminin benzer yapıda olmasıdır.

3.1.2 Loop Dedektörle İlgili Bazı Çalışmalar

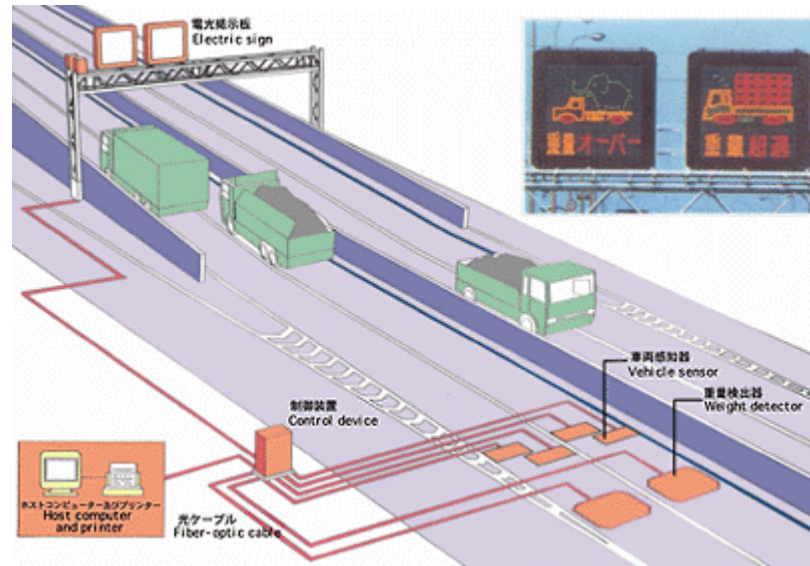
Trafiğin akış hızı trafiğin durumunu belirlemek için ihtiyaç duyulan en önemli parametrelerden birisidir ve AUS çalışmalarında önemli bir yer tutar. Genelde Trafik Yönetim Sistemleri(TYS) için veri toplama işlemi yollara yerleştirilmiş loop dedektörler ile gerçekleştirilir. Yıllardır karayollarında kullanılan bu dedektörler trafik hız ölçümlerini etkin bir şekilde sağlayamadığından bu konu üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmeye devam etmektedir. Hız bilgisi ve taşıt tipi bilgilerinin çift loop dedektör kullanılarak tespit edilmesi yerine tek bir loop dedektör ile

gerçekleştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır(L.Zhu ve diğ., 2011, P. Bajaj,2007).

Tek bir loop dedektör ile taşıt hızı tahmini yapılırken tipik hız-yoğunluk ilişkisi kullanılır ve tahminler “mean effective vehicle length(MEVL)-ortalama etkin taşıt uzunluğu” sabit kabul edilerek hesaplanır. Fakat kabul edilen bu ortalama taşıt uzunluğu değeri her taşıt için geçerli olmadığından,uzun taşıtlar için MEVL sabitinin etkisini azaltabilmek için çalışmalar yapılmaktadır(Mikhalkin ve diğ.,1972F., L. Hall, 1994 ; Pushkar ve diğ., 1994). MEVL sabitini ve hız değerini tahmin edebilmek için de algoritmalar geliştirilmiştir(B. Coiffman, 2001). MEVL sabiti hız tahmininde en önemli parametre olduğundan ve farklı değerler alabilmesinden dolayı oluşan hesaplama hatalarını minimize edebilmek için yeni bir konsept olan “typical effective vehicle length(TEVL)-karakteristik etkin taşıt uzunluğu” kullanılmaya başlanmıştır.

3.2 Ağırlık Tabanlı(Weigh-In-Motion) sistemler

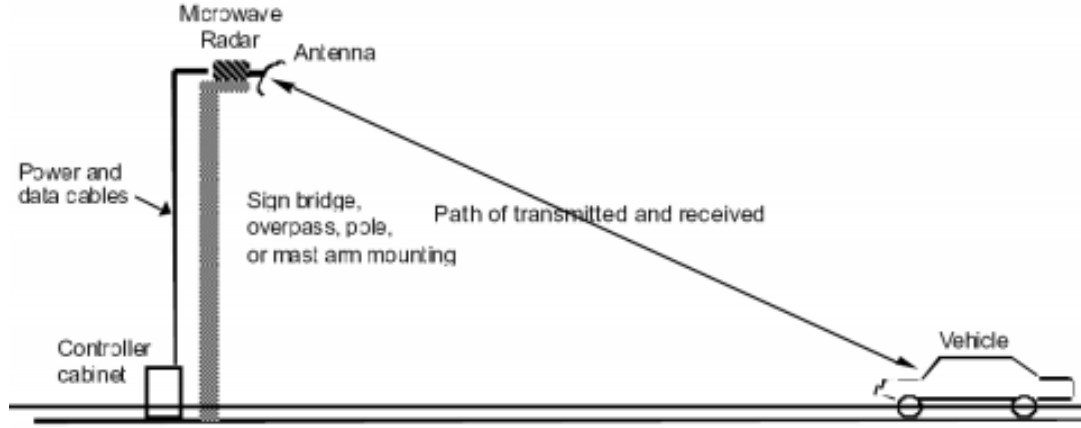
Weigh-In-Motion(WIM) sistemler taşıtın tekerlekleri sensör üzerinden geçtiğinde taşıtın ağırlığını tahmin etme tabanlı sistemlerdir(Luz E., ve diğ., 2000). Taşıt tespiti ve sınıflandırması için kullanılabilir. Ayrıca yollardaki kamyonların ağırlıklarını gözlemleyen istasyonların kapasitelerini artırmak için de kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 :Weigh-in-Motion Sistem(Url-11)

3.3 Mikrodalga Radar

Hedef nesnelerin(taşıtların) hız, mesafe ve yönlerini belirlemek için radyo dalgalarını kullanır (Url-2). Örnek bir mikrodalga sistemi şekildeki gibidir.



Şekil 3.4 : Mikrodalga radar sistem kurulumu(Luz E. ve diğ., 2000)

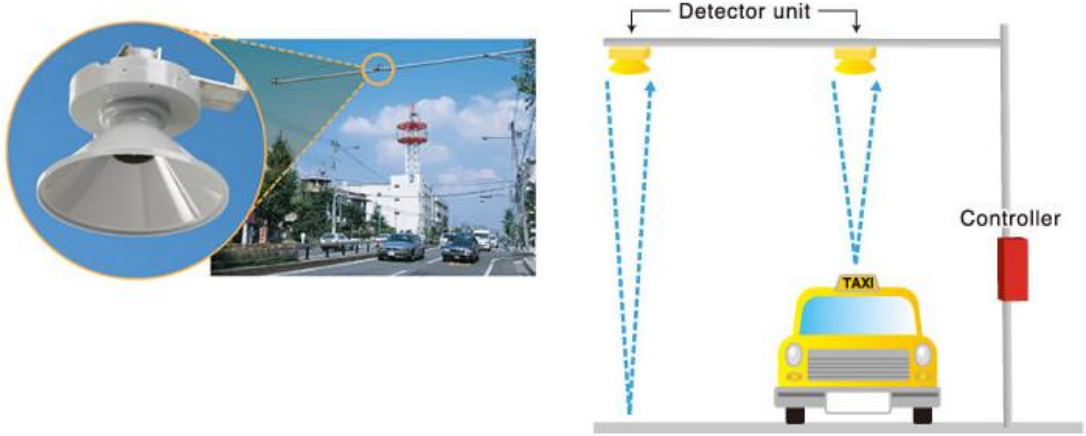
2 çeşit mikrodalga radar vardır :

- 1- Sürekli Dalga (Continuous Wave (CW) Doppler) radar : Sabit frekansta sinyal yayar. Taşıtların algılama alanının içerisinde geçtiklerinde yansıyan sinyalde doppler etkisi meydana gelir. Hareket halindeki taşıtların tespiti ve hızının tahmin edilmesi oluşan bu frekans kayması(doppler effect) ölçülerek yapılır. Bu tip sensörler hareketsiz taşıtları tespit edemez.
- 2- Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW)) radar : Bu tip radarlar değişen frekanslarda sinyal yayar. İletilen ve alınan sinyal arasındaki zaman farkı alıcı ile hedef nesne arasındaki mesafeyi belirlemek için kullanılır. Hareketsiz taşıtlar da tespit edilebilir. Bununla birlikte hız tahmini için bir çift algılama(tarama) alanına ihtiyaç vardır (Url-2).

Mikrodalga radarların önemli bir avantajı sistem performansının değişen hava koşullarından etkilenmemesidir.

3.4 Ultrasonik Sistemler

Ultrasonik sistemler genellikle 25-50 kHz frekans aralığındaki, insanların işitebilir aralığının dışındaki yüksek frekanstaki ses dalgalarını kullanır. Çalışma prensibi mikrodalga sistemlere benzerdir. Ses titreşimi gönderilir ve yansıyan titreşimler geri alınır. Taşıt tespitinden sonra, hız tahmini birden fazla algılama(tarama) alanı ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.5 : Ultrasonik Sistem(Ur1-12)

3.5 Görüntü İşleme Teknikleri

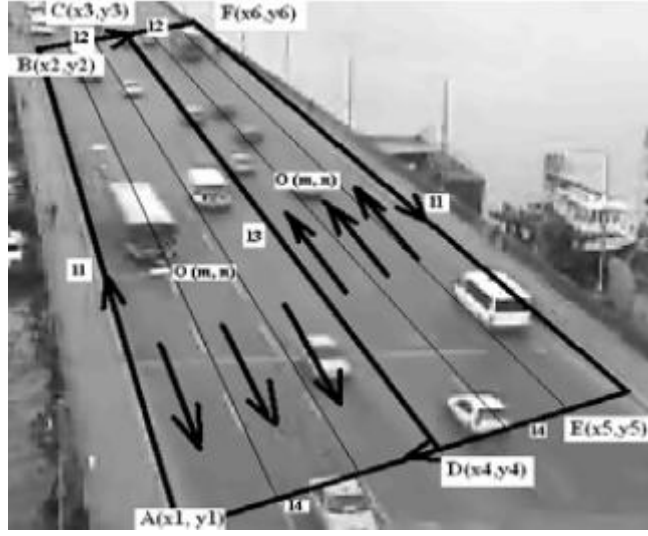
Bu yöntemde kamera görüntüleri geliştirilen analiz programları vasıtasıyla işlenerek istenilen parametreler elde edilmektedir. Hali hazırda anılan amaçla kullanılan çeşitli görüntü işleme sistemi mevcuttur (Abramczuk T., ve diğ. 1989).

Video görüntüleri hareket halindeki nesnelerin yer ve zaman bilgilerini içeren karmaşık bir veriyi temsil etmektedir. Hareket halindeki üç boyutlu nesnelerin takip edilmesi video analizi için son derece önemli bir noktadır. Hareket verilerine doğru belirleyebilmek için ise görüntüdeki ilgili nesnenin şekil ve konum bilgilerinin minimum hatayla tespit edilmesi gerekmektedir (Cucchiara R., ve diğ., 2000). Bu çerçevede hareket analizi için kullanılan yöntemler üç ana grupta toparlanabilir (Stiller C., ve diğ., 1999) ;

- Blok tabanlı hareket analiz yöntemi
- Piksel tabanlı hareket analiz yöntemi
- Bölge tabanlı hareket analiz yöntemi

3.5.1 Görüntü İşleme Teknikleri ile Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

İncelenen çalışmada (Çavdar A., ve diğ., 2009) video görüntülerinin kapladığı alanın tamamı kullanılmamıştır. Yolun sınırları yolun sol-üst, sol-alt, sağ-üst ve sağ-alt köşeleri belirlenerek ilgili dörtgen şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 3.6 : Unkapanı köprüsü görüntüsü(Çavdar A., ve diğ., 2009)

Taşıtlar birbirini takip eden resimlerdeki yerleri arasındaki mesafeye göre bir hareket vektörü oluştururlar. Taşıtların hareketinin başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar geçen sürede, başlangıç görüntü karesinde bulunan taşıtların yörüngesinin, bitiş görüntü karesindeki hangi taşıtların hareket yörüngesine karşılık geldiği bilgisi elde edilir. Bu kapsamda trafikteki taşıtların hız bilgilerinin yanı sıra gerçek şartlardaki anlık parametrelerin elde edilmesi için bir görüntü işleme algoritması istenilen yol ve şartlara bağlı olarak düzenlenir.

İncelenen çalışmada uygulanan aşamalar ;

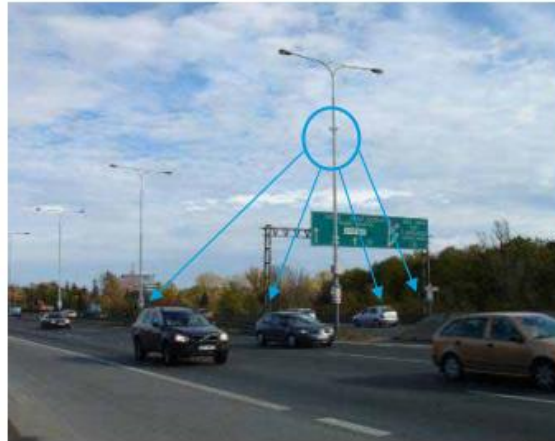
- Median filtre ile fon ölçümü yapılarak iki film karesinin birbirinden çıkarılması suretiyle hareket eden cisimlerin tespiti



Şekil 3.7 : Hareket eden cisimlerin tespiti (Çavdar A., ve diğ., 2009)

- Taşıtların kameraya göre izlediği yol açıları birbirine paralellik gösterir. Birbirinden bağımsız elde edilen bu yörünge sayıları aynı zamanda taşıt sayısını ifade eder. Kameranın yola uzaklığına ve açısına göre hareket yörüngelerine ilişkin değerler elde edilir. Yörünge açıları sistem tarafından bir ön işleme tabi tutulduktan sonra geliştirilen algoritmalar ile istenilen parametreleri elde edilir.

Ayrıca kameralardan elde edilen videolar üzerinde analizler yapılarak trafik verilerinin elde edildiği ürünler piyasada yer almaya başlamıştır.



Collect-R is an above-ground sensor providing a wide range of traffic data on up to four lanes.

Şekil 3.8 : Traficam veri toplama sensörü(Url-13)

Traficam Collect-R veri toplama sensör sistemi trafik akışını izlemek için geliştirilmiş çözümlerden birisidir. Occupancy(taşıt varlık-yokluk), taşıt hızı, sınıflandırma ve trafik yoğunluğu bilgilerini sağlar(Url-13).

Ayrıca görüntü işleme teknikleri ile ters yönde(yanlış şerit) bulunan araçlar, yolda duraklayan, kaza yapmış taşıtlar benzer kameralar ile elde edilen görüntüler üzerinde gerçekleştirilen video işleme teknikleri ile tespit edilir(Şekil3.9).



Şekil 3.9 : Otomatik kaza ve ters yön tespiti

3.6 Manyetik Sensörler

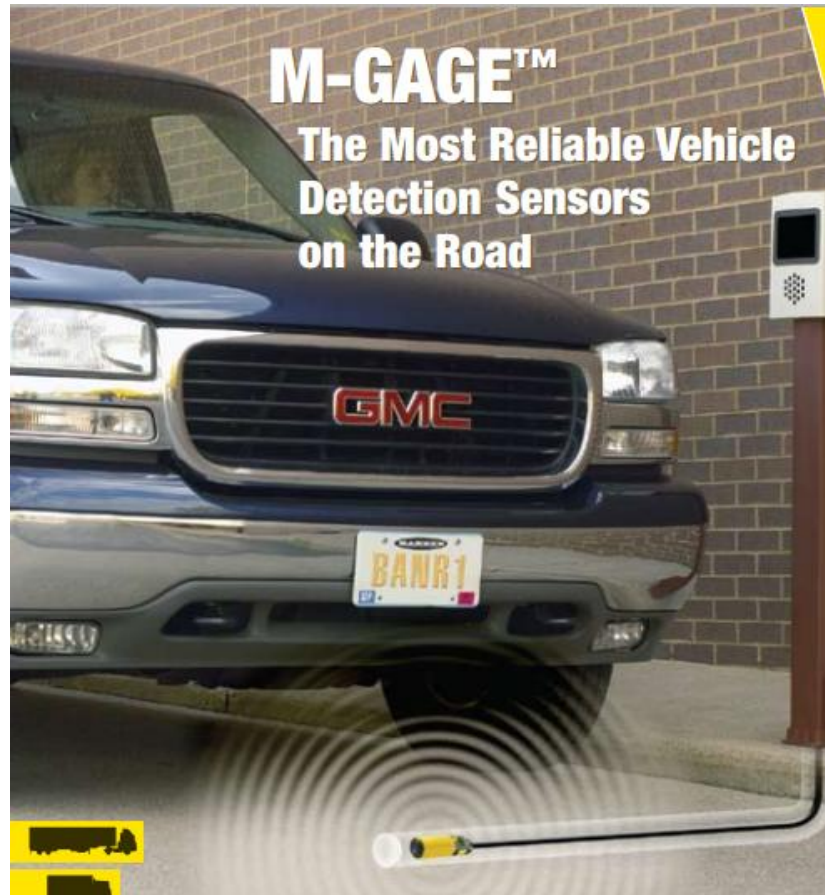
Manyetik alan sensörleri genellikle ölçüm ve kontrol amaçlı olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır(Michael J. Caruso, 1998). Bu uygulamalarda genelde yeryüzünün manyetik alanı gibi arka plandaki manyetik alanlar ile çakışmalardan kaçınmak için nispeten büyük manyetik alanlar kullanılır.Sanayide kumanda ve kontrol sistemlerinde, tıp elektroniğinde ..vs. kullanılmaktadır.

Bir yarı iletkenin elektronlar akarken akım yönüne dik bir manyetik alan uygulanınca elektronlar belli bir bölgede yoğunlaşır. Bu da yarı iletkenin diğer uçlarında gerilim oluşmasına neden olur. Bu duruma hall etkisi denir. Bu gerilimin değeri levhanın manyetik alana yakınlığı ile değişir. Bu prensibe göre alan etkili transdüserler yapılır. Alan etkili transdüserler hassas mesafe, pozisyon ve dönüş algılayıcıları olarak kullanılmaktadır (Url-14) (Şekil3.10).



Şekil 3.10 : Araçlarda alan etkili sensörlerin kullanımı

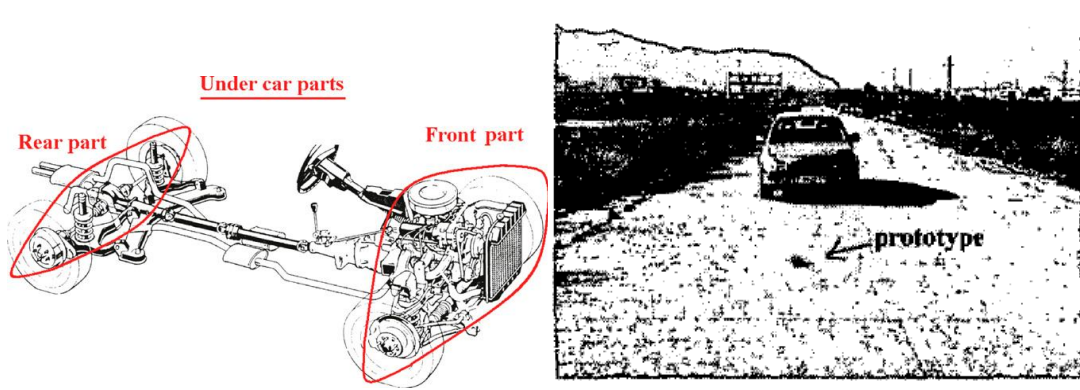
Endüstriyel uygulamalarının yanı sıra son zamanlarda manyetik sensörler trafik ve park çözümleri için de kullanılmaya başlanmıştır. M-Gage sensörler büyük ferromanyetik nesnelere algılamak için magneto-resistive(manyeto-direnç) teknolojisini kullanır (Url-15). Otopark sistemlerinin otomatikleştirilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.11 : M-Gage Sensör(Url-15)

Manyetik sensörler kullanılarak trafikteki araçların hızının tespit edildiği örnek bir çalışma da mevcuttur (J.P. Sebastia ve diğ.,2007). Bu çalışmada 2 adet GMR sensör

kullanılarak, taşıtların GMR sensörler üzerinden geçerken meydana getirdikleri manyetik alan değişimlerinden faydalanılmıştır.

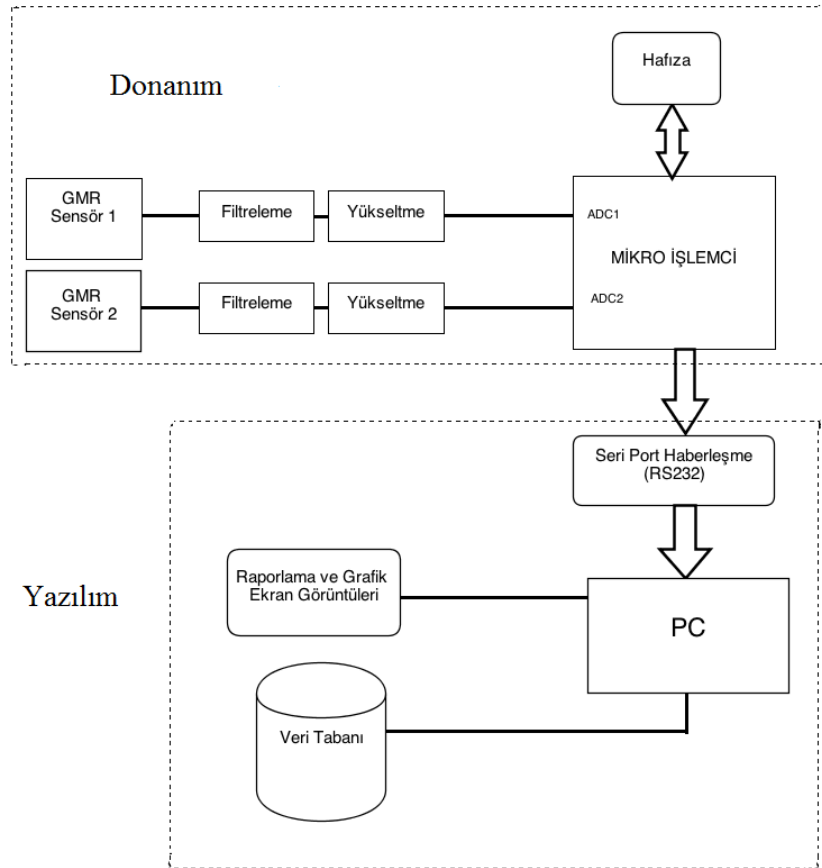


Şekil 3.12 : Örnek bir taşıt alt kısmı ve GMR sensör konumlandırılışı
(J.P. Sebastia ve diğ., 2007)

Özellikle yarı-iletken teknolojisindeki gelişmeler ile GMR sensörlerin geliştirilmesi mevcut sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldıracak daha teknolojik çözümlerin geliştirilmesi için kapı aralamıştır. Bu kapsamda GMR sensörler ile trafik parametrelerinin elde edilmesine yönelik gerçekleştirdiğim çalışma bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM

Sistem temelde mikroskobik trafik verilerinin elde edildiği donanım birimi ve elde edilen verilerin değerlendirildiği yazılım arayüzü olmak üzere 2 ana bileşenden oluşmaktadır. Donanım birimi özet olarak, GMR sensörlerden elde edilen işaretlerin yükseltme ve filtreleme işlemlerinin ardından mikroişlemciye aktarılması, belirlenen algoritmalar vasıtasıyla verilerin üretilmesi ve elde edilen verilerin kaydedilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bir diğer birim olan yazılım arayüzü ise, üretilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılıp saklanması ve gerçekleştirilen sorgulamalar ile ihtiyaç duyulan bilgilerin/raporların üretilmesini içermektedir. Sisteme ilişkin blok diyagram Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Sistem Blok Diyagramı

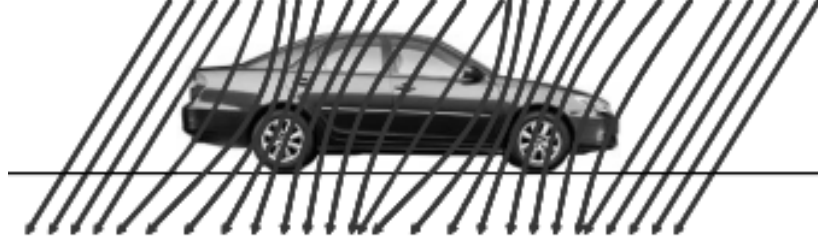
4.1 GMR Sensörlü Ölçme Sistemi

Günümüzde hızla gelişen yarı-iletken teknolojisinin sağladığı kolaylıklarla, yüksek işlem gücü ve düşük güç harcaması özelliklerine sahip yeni nesil mikroişlemcilerin yapılması sonucunda trafik ölçümleri için portatif çözümler gündeme gelmeye başlamıştır. Böyle sistemler, yoldan geçen taşıt sayısının belirlenmesinden, taşıtların özelliklerine göre sınıflandırılmasına kadar çeşitli fonksiyonları yerine getirmek ve böylece trafik yönetim birimlerine doğrudan veri sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bununla beraber, bu sistemlerde toplanan veriler bilgisayar ortamına hızlı bir şekilde aktarılarak, doğru ve hızlı veri akışı ile, bölgesel bazda trafik verilerinin toplandığı ve işlendiği bir bilgi işlem sisteminin işleyişine de önemli katkılar sağlayabilmektedir. Ayrıca düşük güç harcaması dolayısıyla, lityum-ion gibi uygun bir pille beslenerek kurulduğu yerde haftalarca çalıştırılabilmektedir.

4.1.1 Giriş

Yer kürenin kendi eksenini etrafında dönmesi sonucunda oluşan manyetik alan vektörlerinin şiddeti ortalama 50 μT civarındadır. Bu değer, yer üzerinde bulunan konumun enlemine bağlı olarak 30-60 μT arasında değişen bir değer alabilmektedir. (Sebastia ve ark). Bununla birlikte, yer üzerindeki herhangi bir alan üzerinde manyetik alan vektörlerinin şiddeti ile beraber yönleri de oldukça homojen ve paralel bir dağılım sergilemektedir. Bu dağılım üzerinde bir taşıta ait manyetik pertürbasyon ortalama 1 μT civarındadır (J. P. Sebastia ve diğ., 2007 ; Honeywell). Bu değer, taşıtın alt şasesinin yere olan mesafesine ve ferro-manyetik malzeme yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Normal şartlarda karayolları boyunca homojen olan bu dağılım, geçen taşıtların içerdikleri yoğun metal bileşenlerin oluşturduğu ferro-manyetik etki nedeniyle manyetik alan vektörlerinin yön değiştirmesine neden olmaktadır (Şekil 4.1). Bu durum, taşıtların geçtiği bölgelerde, onların hareket şekli, konumu ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak manyetik alan şiddetinin ölçülen değerinde sapmalara yol açar. Çok küçük boyutlarda olan bu değişimler uygun sensörlerle algılanabilmektedir.



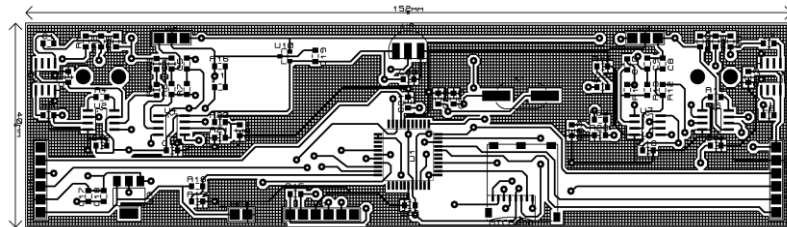
Şekil 4.2 : Taşıt geçişi esnasında yerin manyetik alan vektörlerinin uğradığı değişim (Honeywell)

Yarı-iletken teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte yer kürenin oldukça homojen bir dağılıma sahip olan manyetik alan vektörleri üzerindeki bu değişimler GMR sensörler vasıtasıyla hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu sensörler yüksek duyarlılık ve düşük güç harcaması gibi özellikleri ile tercih sebebidir.

GMR sensörler vasıtasıyla elde edilen elektriksel işaretler işlenerek, trafikteki taşıtların davranışlarını karakterize eden veriler üretilebilir. Trafikteki taşıtların davranış karakteristiği, GMR sensörler üzerinden elde edilen işaretlerin uygun filtreleme ve yükseltme işlemlerinin ardından sayısal hale dönüştürülmesi, bir mikroişlemcili sisteme aktarılması ve burada amaca uygun olarak yazılmış programlar vasıtasıyla işlenmesi ile belirlenebilir.

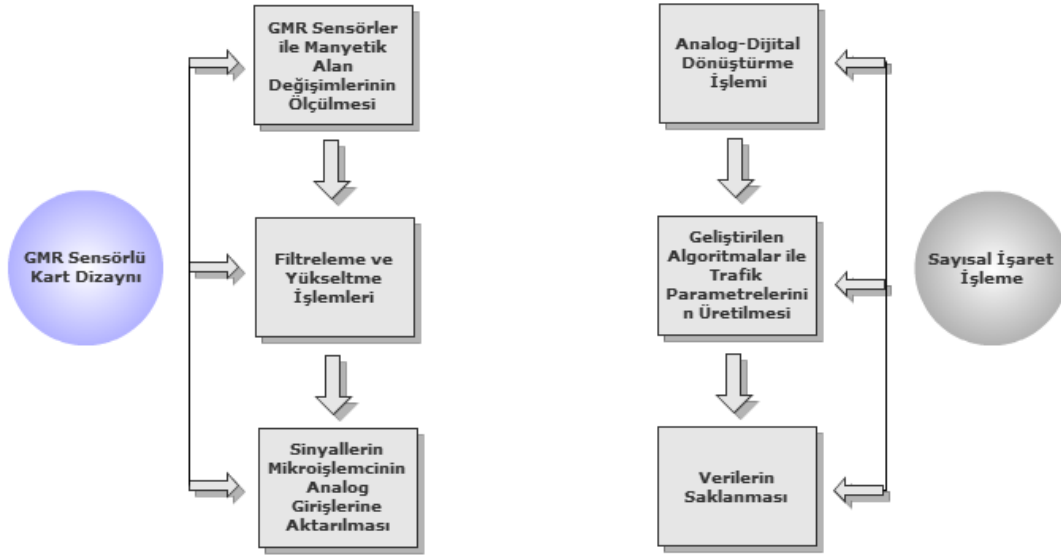
4.1.2 Baskılı Devre Tasarımı

Tasarlanan sistemin donanımı 15x4 cm boyutlarındaki bir baskılı devre üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil-2). Sistem, esas olarak GMR sensörleri de kapsayan bir analog işaret işleme katı ile çekirdeğini Microchip firmasının PIC18LF47J13 kodlu düşük güç harcamaya özelliğine sahip mikrodenetleyicisinin (microchip) oluşturduğu bir sayısal işaret işleme katından oluşmaktadır.



Şekil 4.3 : Sistemin baskılı devre resmi (üst görünüş)

Analog işaret işleme katı, esas olarak yarı-iletken üreticilerinden NVE firmasının AA002 kodlu iki adet GMR sensörü (Ur1-16), bunların ürettiği analog işaretleri yükseltmek için kullanılan Analog Devices firmasının AD627 kodlu diferansiyel yükselteçleri (Ur1-17) ve ilgili diğer elektronik komponentlerle oluşturulmuş tamamen eşlenik yapıdaki 2 adet devre yapısını kapsamaktadır (Şekil 4.3). Bu katın çıkışında 2 ayrı GMR sensör üzerinden alınarak yükseltelen AN1 ve AN2 analog işaretleri üretilerek sayısal işaret işleme katına aktarılmaktadır.



Şekil 4.4 : GMR sensörlü Ölçüm Sistemi

Sistem, yukarıda tanıtılan analog ve sayısal işaret işleme katlarının yanı sıra, elde edilen verilerin saklanması için bir hafıza birimini de ihtiva etmektedir. Ayrıca çeşitli dış bağlantı uçları ile programlayıcı ve diğer çevresel birimlere bağlanmaya imkân sağlamaktadır.

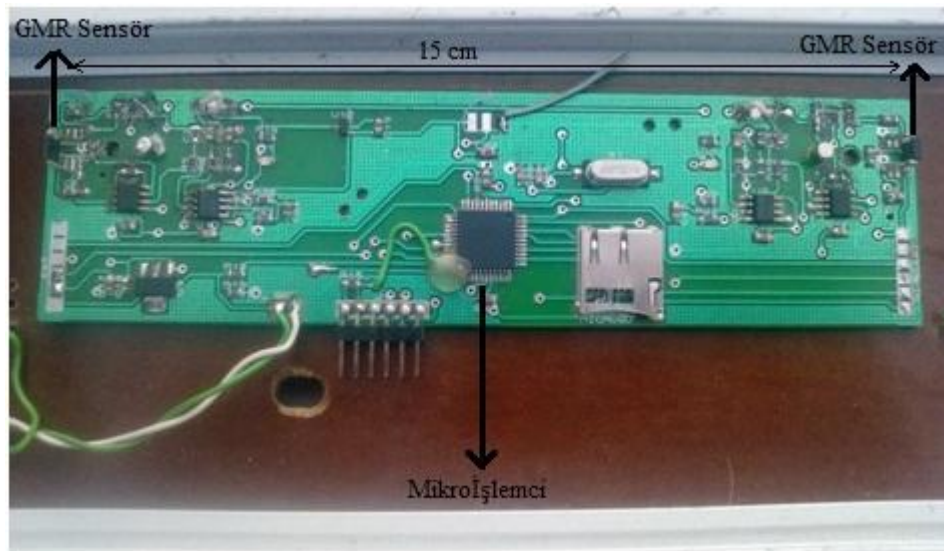
GMR sensörler kartın iki kenarına aralarında 15 cm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir. Burada kullanılan sensörler, ticari olarak bir wheatstone köprü konfigürasyonunda dört hassas manyeto-rezistif direnç ile oluşturulmuş ürünlerdir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, GMR sensörler tarafından üretilen zayıf elektriksel işaretler, öncelikle kesim frekansı 0.2 Hz olan bir yüksek geçiren filtre üzerinden diferansiyel yükseltece girilmektedir. Bu filtre, sensör üzerinden gelen DC değerleri

elimine etmektedir. Diferansiyel yükselteç, sensörden gelen bu işareti yaklaşık olarak 40 kat yükseltmektedir.

Bu işaret, tekrar gürültüyü minimize etmek ve bant genişliğini düşük tutmak için kesim frekansı yaklaşık olarak 50 Hz olan bir alt geçiren filtre ile filtrelendikten sonra ikinci yükseltme katına aktarılır. Bu aşamada C9 kapasitesi ile önceki yükseltme aşamasından gelen gürültü de kesilerek elde edilen işaret burada 10 kat daha yükseltilir. Bu katta ayrıca R7-C5 ve R14-C10 direnç-kapasite çiftlerinin oluşturduğu alt geçiren filtre ile yüksek frekanslı bileşenler bir kez daha filtrelenmektedir.

Böylece, GMR sensörlerin ürettiği analog işaretlerin her birisi toplam olarak 400 kat yükseltilmektedir. Bu kadar yüksek bir kazanç değeri, sensör sisteminin algılaması gerekli taşıtların, şase yükseklikleri ve ferro-manyetik malzeme içerikleri itibariyle çok farklı özellikler göstermeleri nedeniyle, farklı tipteki taşıtları tespit edebilmek için ön görülmüştür. Yüksek kazançlı bir sistemde gürültüyü en aza indirmek ve muhtemel satürasyon sorunundan kaçınmak için de bant genişliği sınırlandırılmıştır.

Analog işaret işleme katında GMR sensörlerden alınan işaretlerin yeterince yükseltilmesi ile oluşturulan AN1 ve AN2 analog işaretleri, sayısallaştırılıp işlenmek üzere mikrodenetleyicinin aynı isimli analog işaret girişlerine aktarılır. Gerçekleştirilen donanım birimine ait görüntü Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Gerçekleştirilen donanımın görüntüsü



Şekil 4.6 : Gerçekleştirilen donanımın örnek bir konumlandırılışı



Şekil 4.7 : Gerçekleştirilen donanımın konumlandırılışı-yakın görünüm

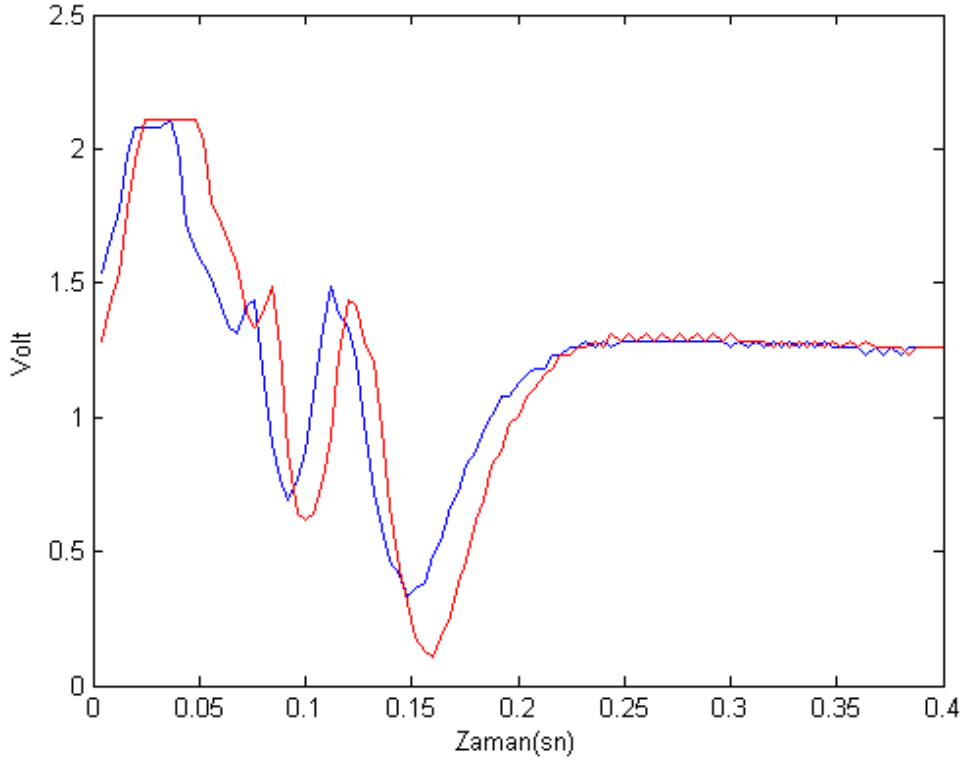
Mikrodenetleyici analog işaretleri işlemek için öncelikle bu işaretleri uygun sıklıkta örnekleyerek sayısal işarete dönüştürmelidir. İşaretlerin sayısallaştırılması esnasında kullanılan örnekleme frekansı, araçların geçiş sıklığı ve istenen hesaplama hassasiyeti göz önüne alınarak seçilmelidir. Geliştirilen sistemde bu aşamada yapılan çalışmalar ve denemeler sonucunda örnekleme sıklığı 1 mili saniye (ms) olarak seçilmiştir.

4.1.3 Sayısal İşaret İşleme

Mikrodenetleyicinin AN1 ve AN2 girişlerine gelen işaretlerin sayısallaştırılması, bu birim içerisinde yer alan 12 bitlik A/D çeviricilerle yapılır. Sistem, bu şekilde elde edilen sayısal verilerin geçici hafızada kaydedilmesi ve bu kayıtların amaca uygun verileri üretecek programlarda değerlendirilerek istenen sonuçların üretilmesi esasına göre çalışır. Buna göre, taşıt hızları ve taşıt boylarının hesaplanmasını amaçlayan bir uygulama için bu işlemler aşağıda anlatıldığı gibi gerçekleştirilir:

GMR sensörler arasındaki mesafe 15 cm (Δs) olarak bilindiğinden, bu sensörler üzerinden elde edilen $x_1[n]$ ve $x_2[n]$ işaretleri arasındaki gecikme süresi (Δt) hesaplanarak taşıt hızları bulunabilir. Nitekim, her iki sensörün ürettiği işaretler hemen hemen aynı değişimi göstereceğinden, bu işaretler arasında ortaya çıkan gecikme süresinin (taşıtın hızına bağlı olarak değişir) doğru hesaplanması halinde taşıt hızı kolayca belirlenmiş olacaktır. Buna bağlı olarak, ilk sensör üzerinden elde edilen işareten taşıtın bu sensör üzerine geldiği an ve bu sensörü terk ettiği anın belirlenmesi ile aradaki süre (t) belirlenebilir ve böylece taşıtın boyu da hesaplanabilir. Bunun için taşıtın daha önce hesaplanan hızı ile bulunan t süresinin çarpılması yeterli olacaktır.

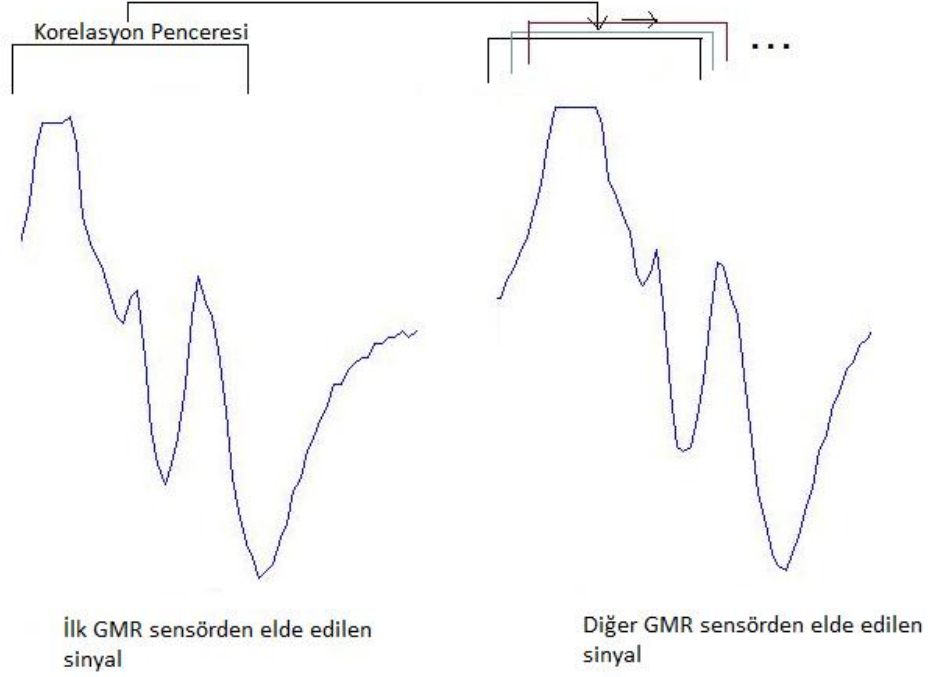
Yaklaşık 50 km/saat hızındaki bir taşıt sensör üzerinden geçtiğinde, kartın iki ucundaki 'GMR1' ve 'GMR2' şeklinde isimlendirilen manyetik sensörler tarafından elde edilen işaret Şekil 4.5'teki gibidir.



Şekil 4.8 : GMR Sensörlerden elde edilen örnek işaretler

Şekil 4.7’te her iki sensörden elde edilen işaretlerin üst üste çizdirilmesinden de anlaşılacağı gibi taşıtın geçiş yönüne göre 2. sensörden elde edilen kayıt ile ilk sensörden elde edilen kayıt arasında bir miktar gecikme açık bir şekilde görülmektedir. Taşıt hızının hesaplanabilmesi amacıyla her iki GMR sensör üzerinden $x_1[n]$ ve $x_2[n]$ işaretleri, mikrodenetleyici üzerinde koşturulan ayrık çapraz korelasyon algoritması ile değerlendirilir. Bu durumda hesaplanan en büyük korelasyon değerine isabet eden zaman adımı belirlenerek bu iki işaretin birbirini takip süresi (Δt) belirlenir. Buna göre, uygulanacak çapraz korelasyon algoritmasının matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$y[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-k-1} x_1[n] x_2[n+k] , k = 0,1,2,\dots,N-1 \quad (4.1)$$



Şekil 4.9 : Çapraz korelasyon algoritması

Çapraz korelasyon algoritmasının grafiksel ifadesi ise Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Çapraz korelasyon algoritması sinyal işlemede iki vektörün arasındaki benzerliği ifade eden bir benzerlik ölçütüdür. Genelde uzun bir sinyal üzerinde daha kısa bir sinyalin gezdirilmesi suretiyle uygulanır. Bu tez kapsamında uygulanan algoritmada $x_1[n]$ ve $x_2[n]$ vektörleri GMR sensörlerden alınan ayrık işaretleri temsil etmektedir. Bu ifadede geçen N , ayrık işaretlerden alınan örneklerin sayısını; n , örnekleme adım indisini; k ise kaydırma indisini temsil etmektedir. Algoritmanın işletilmesinden sonra N adet kaydırma için çıkan korelasyon sonuçları $y[k]$ değişkeninde tutulur. Bulunan sonuçlar arasında korelasyonun en büyük olduğu k indisi ile örnekleme süresinin çarpımı $x_1[n]$ ve $x_2[n]$ işaretleri arasındaki Δt geçikme süresini verir.

Buna göre, korelasyon algoritması için C dilinde yazılmış kodlar aşağıda verilmiştir:

Çapraz korelasyon algoritmasına ait C kodları

```
for (k=0; k<=N-1; k++)
{
    y[k]=0;
    for (n=0; n<=N-k; n++)
        y[k]+=x1[n]*x2[n+k];
}
```

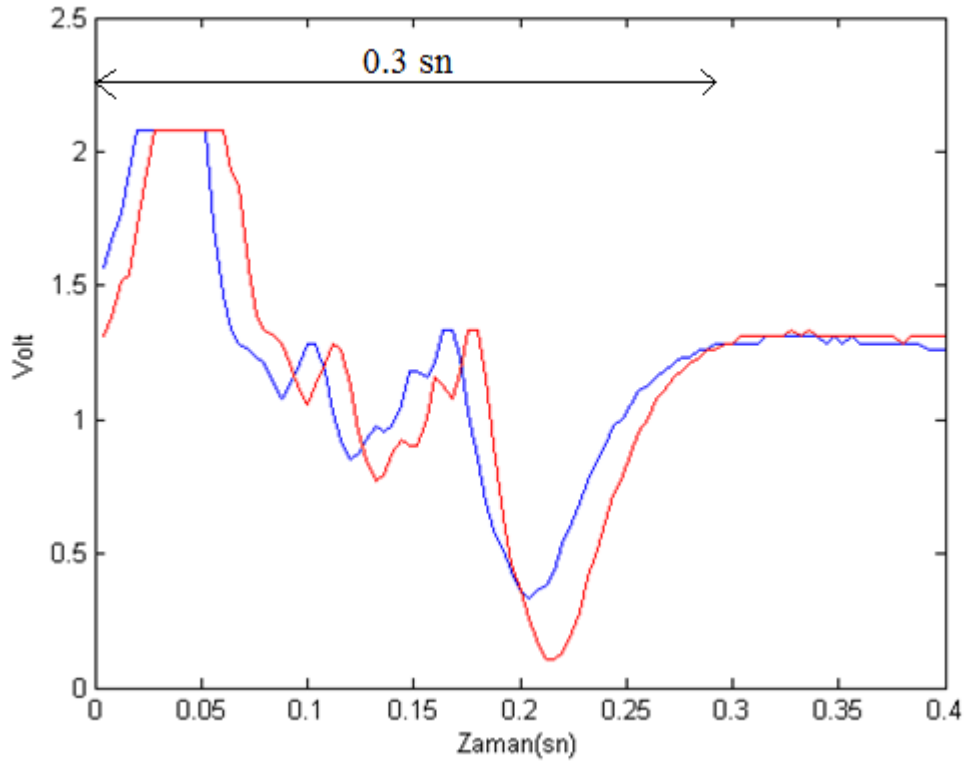
Son durumda elde edilen Δt , trafik akımlarına ilişkin temel değerlendirmelerin anlatıldığı 2. bölümde de anlatıldığı üzere, aşağıdaki eşitlikte değerlendirilerek taşıtın hızı elde edilir:

$$v = \Delta s / \Delta t \quad (4.2)$$

Hız bilgisinin hesaplanmasıyla birlikte tek bir sensörden alınan işaret üzerinde sinyalin değişime başladığı an ile normal seyrine döndüğü an arasındaki süre hesaplanarak sensörün meşgul edilme süresi hesaplanır. Sensörün meşgul edilme süresi, taşıtın tek bir sensör üzerinden geçiş süresini vermektedir. Dolayısıyla taşıtın uzunluğuyla ilgili bilgi içermektedir. Taşıtın uzunluğu, bu zaman farkı (t) ile hesaplanan hız değerinin çarpılması suretiyle belirlenir:

$$l = v.t \quad (4.3)$$

Şekil 4.9'da ise araç geçişi esnasında GMR sensörler tarafından kaydedilmiş bir başka örnek işaretler verilmiştir. Şekil 4.9'da verilen grafikte, bir sensörün meşgul edilme süresi yaklaşık olarak 0.3 saniye olarak gözükmektedir. Sensörün meşgul edilme süresi yani taşıtın sensör üzerinde bulunduğu süre, elde edilen işarete salınımlar olmaya başlamasından işaretin normal seyrine dönünceye kadar geçen zamandır. Verilen örnekte taşıtın hız göstergesinde okunan değer yaklaşık 40 km/saat olarak görülmüştür. Uygulanan çapraz korelasyon algoritması ile 2 sensörden elde edilen işaretler arasındaki gecikme 15 ms olarak hesaplanmıştır. 15 ms'lik gecikme değeri (3) numaralı formülde yerine konulursa taşıt hızı $V=(0.15/0.015)*3.6 = 36$ km/saat olarak hesaplanır. 36 km/saat hız taşıtın saniyede 10 metre yol alması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla saniyede 10 metre yol alan bir araç, sensörü 0.3 sn meşgul ettiğine göre; araç uzunluğu yaklaşık olarak $10*0.3=3$ metre olarak hesaplanmıştır.



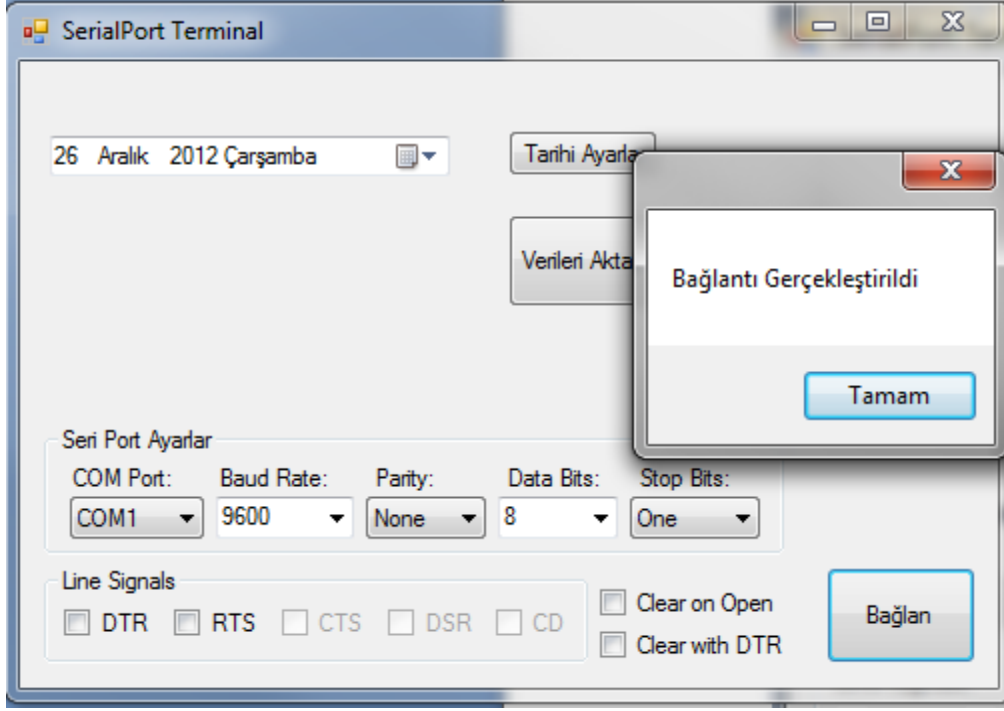
Şekil 4.10 : Taşıt uzunluğu hesabı

4.2 PC Arayüz Tasarımı

Yazılımın tasarımı Microsoft tarafından geliştirilmiş bir ‘uygulama’ geliştirme platformuolan.NET Framework v4.0 kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. .NET mimarisi, ortak bir yürütme ortamı, ortak bir değişken tür sistemi ve bağlantılı kütüphanelerden oluşur. İçerisinde çok sayıda fonksiyon ve sınıf yer almaktadır.C# ile .NET framework kullanılarak gerçekleştirilen arayüz programının üretilen raporların görüntülediği grafik formlarından ve verilerin kaydedildiği veritabanından oluşmaktadır.

4.3 Seri Port Bağlantısı

Donanım ile geliştirilen arayüz yazılımının haberleşmesi seriport arabirimi kullanılarak sağlanır. Uygulama arayüzünün donanım ile haberleşebilmesi sağlayabilmek için seri port ayarları menüsünden cihazın bağlandığı portun seçilmesi gerekmektedir(Şekil 4.8). ‘COM Port’ başlıklı *combobox*’ta yazılımın çalıştırıldığı bilgisayardaki portlar otomatik olarak listelenir.



Şekil 4.11 : Seriport bağlantı ayarları

Seri bağlantı noktaları ikili sinyalleme kullanırlar. Veri iletim hızı saniyede bit cinsinden 'baud rate' ile ayarlanır. Veri biti sayısı olarak, 7 bit gerçek ASCII değeri için, 8 bit (1 byte) her türlü veri için veya nadiren 9 bit kullanılır. Daha yeni uygulamalarda genellikle 8 bit kullanılmaktadır. Eşlik (parity) iletim esnasında meydana gelen bazı hataları saptama yöntemidir. Her veri karakteri ile birlikte bir de fazladan veri biti gönderilir. Gönderilen bu veri biti öyle ayarlanır ki her bir karakterin içerisinde bulunan 1 bitlerin sayısı, eşlik biti de dahil olmak üzere, her zaman tek veya her zaman çift sayıdır. Eğer hatalı bir 1 bitlik sayısına sahip bir bayt alındığında bu baytın bozuk olduğu anlaşılır. Eğer eşlik doğruysa ortada hata yok veya çift sayılı bir hata yok anlamı çıkar. Tek bir eşlik biti 'parity bit' her karakter üzerinde hata düzeltmenin uygulanabilmesine imkân tanımaz. Serinin eşliği boş (N), tek sayı (O), çift sayı (E), işaret (M), veya boşluk (S) olabilir. Boşun anlamı hiçbir eşlik bitinin gönderilmediğidir. İşaret eşliği, eşlik bitinin her zaman işaret sinyal durumuna ayarlanmış olduğu (mantıksal 1) ve benzer şekilde, boşluk eşliği eşlik bitini her zaman boşluk sinyal durumunda anlamına gelir. Fazla kullanılmayan uygulamalar bir yana bırakılacak olursa, adreslemenin, özel sinyalleşmenin, işaretlemenin veya boşluk eşliğinin bir çeşidi olarak 9. (eşlik) kullanılması, pek olağan bir durum değildir, çünkü hata saptama bilgilerine çok az katkısı vardır. Tek

sayılı eşliğe çift sayılılardan daha fazla rastlanır, çünkü en azından bir adet durum geçişi meydana gelir, bu da onu daha güvenilir hale getirir. En çok görülen eşlik ayarı, 'boş'dur ve hata saptaması işlemi protokolün daha yüksek seviyelerinde gerçekleştirilir. Durma bitleri(Stop bits) alıcı donanımın tekrar senkronize olabilmesi için gönderilen her baytın sonunda gönderilir. Elektronik cihazlarda genelde tek durma biti kullanılır. Veri iletimini duraklatıp tekrar başlatarak akış kontrolünü sağlamak için el sıkışmaya 'handshake' ihtiyaç duyulabilir. Donanım el sıkışma sinyalleri genellikle CTS, DTR/SDR sinyal devrelerini kullanmaktadır. (Url-18).

Donanımın bağlandığı bilgisayarda seri port girişi yoksa donanıma bağlanabilmek için USB-Seri port dönüştürücü kullanılmalıdır. Dönüştürücünün sürücü yazılımı yüklendikten sonra çalışmaya başlayacaktır. Seri port bağlantısı için sadece port numarasının kullanıcı tarafından seçilmesi yeterlidir. Bağlantı için gerekli olan diğer ayarlar donanımla sorunsuz haberleşebilmek adına sabitlenmiştir ve default olarak seçili gelecektir.

Seri port bağlantısı formunda *Bağlan* butonuna tıklanınca donanıma bağlanılamazsa 'Cihaz ile bağlantı kurulamadı' uyarısı verilecektir. Eğer bağlantı portu doğru seçildiyse ve bağlantı başarılı bir şekilde gerçekleştirildiyse seri port aracılığıyla donanım-yazılım bağlantısını gerçekleştirdikten sonra, arayüz yazılımını kullanarak donanım içerisinde hafızaya kayıt edilen verileri çekebilir ve bilgisayarda bir veritabanına kayıt edebiliriz. Ayrıca cihazın kullanılacağı yerde(yol üzerinde) kurulumu gerçekleştirilirken, bir taşınabilir bilgisayar ile donanıma bağlanılarak gerçek zaman saatindeki tarih-zaman bilgisi arayüz yazılımı aracılığıyla güncellenmelidir/ayarlanmalıdır. Arayüz yazılımı ile donanım arasındaki haberleşmeyi, PC'den cihaza gönderilen yazılım ve donanım içerisinde belirlenmiş sabit komutları kullanarak gerçekleştiriyoruz.

4.3.1 Verilerin Depolanması

Seri port bağlantısı başarıyla kurulduktan sonra artık donanıma kayıtlı verileri bilgisayara aktarabiliriz. *Verileri Aktar* butonuna tıklayınca, kayıtlı tüm veriler bir veri tabanı içerisine Şekil 4.12'deki tablo formatına göre kaydedilmeye başlanacaktır.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Tasit_id	int	<input checked="" type="checkbox"/>
Time	datetime	<input checked="" type="checkbox"/>
Speed	int	<input checked="" type="checkbox"/>
Occupancy	int	<input checked="" type="checkbox"/>

Şekil 4.12 : Veritabanı tablo içeriği

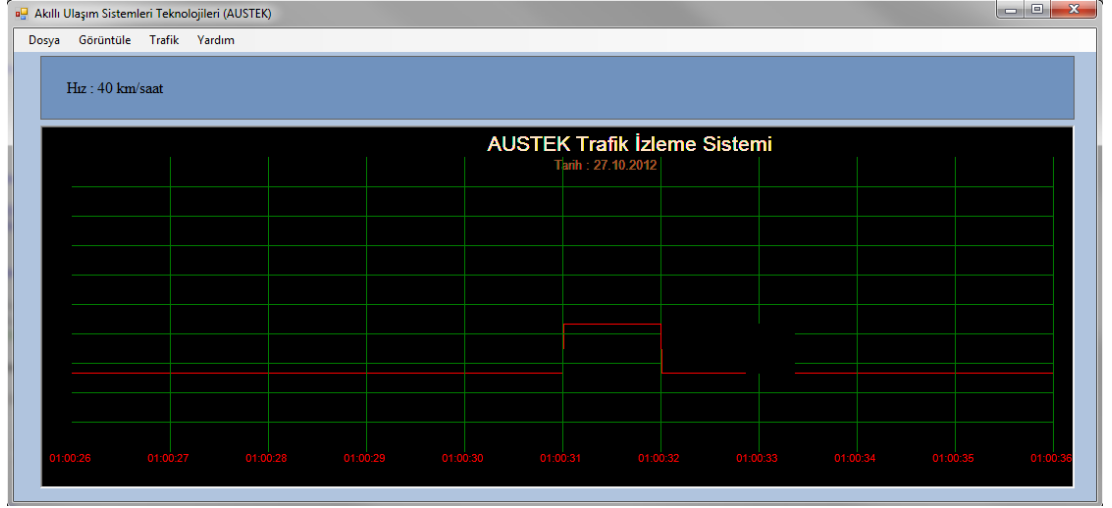
Her bir taşıt için 1'den başlayarak sıralı bir şekilde artacak şekilde eşsiz bir taşıt numarası verilmektedir. Taşıtın sensör üzerinden geçtiği an, tarih ve saat bilgisiyle birlikte 'datetime' formatında veri tabanında tutulmaktadır. Taşıt'a ait hız bilgisi ve sensörü işgal etme süresini veren 'occupancy' değeri ise 'int(tamsayı)' formatında veri tabanında saklanmaktadır.

Veri tabanına kaydedilen tüm bu bilgiler çeşitli sorgulamalarla '*İstatistik*' formunda listelenebilmekte ve raporlar oluşturulabilmektedir. Böylece elde edilen mikroskobik trafik verilerinin kayıt altında tutulduğu, uzun süreli trafik gözlem bilgilerini içeren bir veri tabanı elde edilebilir.

4.3.2 Grafik Ekranı

Geliştirilen yazılım ile donanımdan alınan verilerin ekranda görüntülenmesi için grafik aygıt arabirimi(GDI, graphics device interface) kullanılmıştır. GDI Microsoft işletim sistemleri için hazırlanmış bir grafik kütüphanesidir. Ekranda istenildiği gibi çizim yapılmasına imkan tanıyan .NET sınıflarından oluşan bir set içermektedir. Burada tanımlı sınıflar ile istenilen grafiklerin ekrana çizdirilmesi için grafik cihaz sürücülerine gönderilecek komutlar ayarlanır. Bilgisayar ekranındaki çizim işlemi ekran kartına gerekli komutların gönderilmesiyle gerçekleştirilir.

Donanım içerisindeki hafızaya kaydedilen tüm veriler PC'de çalışan yazılım vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılarak, depolanmak üzere bir veritabanına kaydı gerçekleştirildikten sonra, arayüz yazılımı ile veritabanından çekilen bu trafik parametreleri grafik ekranında görüntülenip, raporlar üretilebilir.

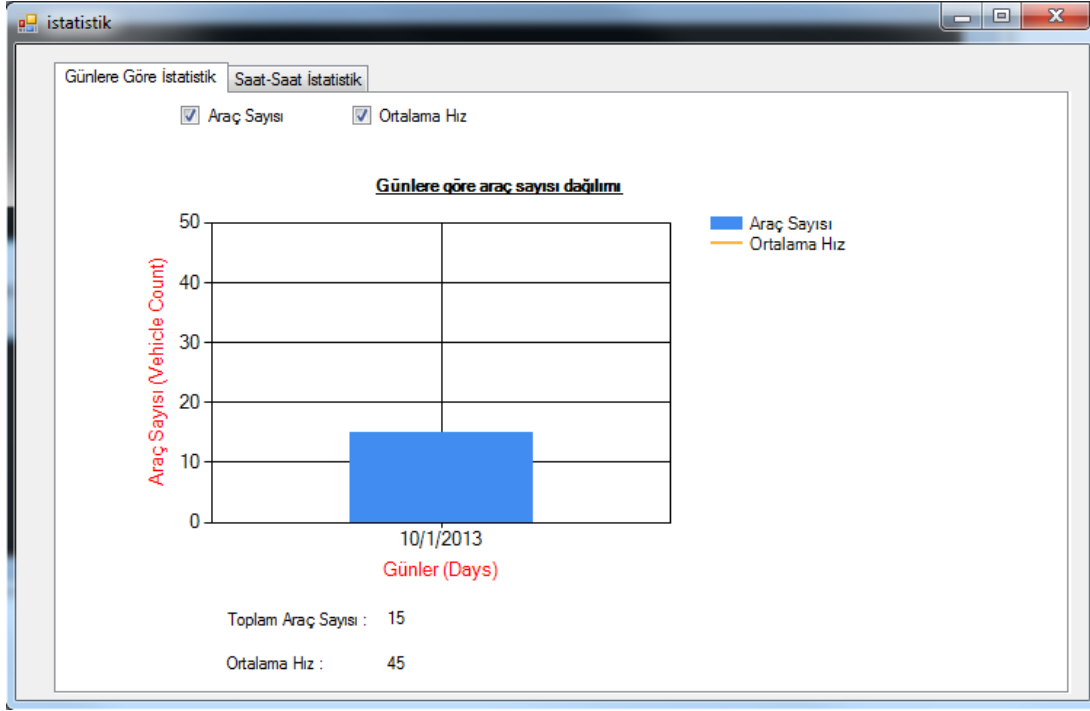


Şekil 4.13 : Masaüstü programı grafik ekranı

Şekil 4.9 'da sensörün konumlandırıldığı bölgedeki trafik durum bilgisinin(occupancy sinyali) 10 saniye periyotlarla grafik olarak çizdirildiği ekran görüntüsü bulunmaktadır. Donanımın bulunduğu konumda kayıt yapmaya başlamasından sonra elde edilen trafik durumuyla ilgili bilgiler, başlangıç zamanından itibaren her 10 saniyelik periyotlarla bu ekranda görüntülenir.

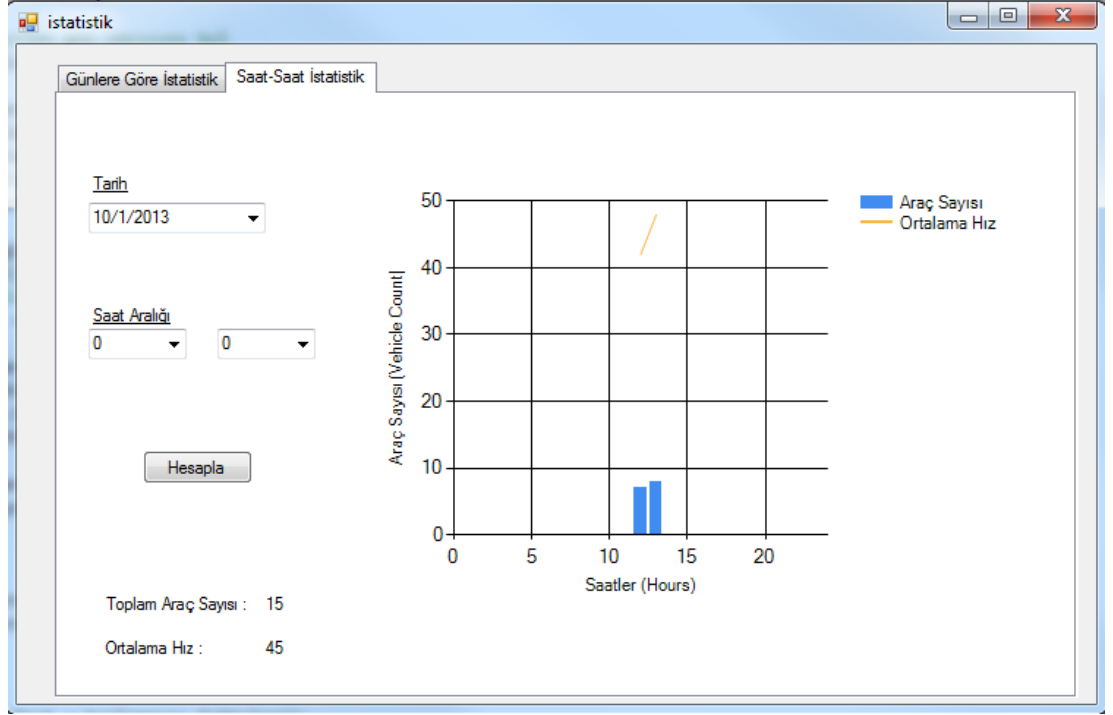
4.3.3 Raporların Oluşturulması

Veritabanına kayıtlı veriler üzerinde sorgulamalar yapılarak çeşitli raporlar üretilir ve grafik olarak gösterilir. Şekil 4.3 'teki forma *Görüntüle->İstatistikleri Görüntüle* menüsünden erişilmektedir.



Şekil 4.14 : Masaüstü programı istatistik ekranı (gün)

İstatistik menüsünden Şekil4.10 'daki ekrana ulaşılmaktadır. Bu form üzerinde 'Günlere Göre İstatistik' sekmesinde günlere göre algılanan taşıt sayıları ve bu taşıtların ortalama hızları grafik olarak görüntülenebilmektedir. Ayrıca sistemin çalıştığı süre zarfında kayıt edilen toplam araç sayısı ve genel ortalama hız bilgisi de bu ekranın alt kısmında verilmektedir. Günlere ait daha ayrıntılı raporlar üretebilmek için 'Saat-Saat İstatistik' sekmesinde seçilen gün için belirlenen saatler aralığında sensör üzerinden geçen taşıtların sayısı ve ortalama hızları grafik olarak kullanıcıya gösterilmektedir. Belirlenen zaman aralığına ait bilgiler formun alt tarafında listelenirken, her saat için hesaplanan taşıt sayısı ve ortalama hız bilgileri grafik üzerinde okunabilmekte ve isteğe bağlı olarak tüm bu elde edilen raporlar dışarıya/bilgisayara aktarılabilir.



Şekil 4.15 : Masaüstü programı istatistik ekranı (saat-saat)

4.4 Gerçekleştirilen Ölçüm Sonuçları

Gerçekleştirilen denemelerdeki taşıt hızına göre iki sensör arasındaki 15 cm'lik mesafeyi alma süreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna karşılık uygulanan çapraz korelasyon algoritması ile elde edilen taşıt hızı sonuçları ise Çizelge 4.2 'de verilmiştir. Aracın hız göstergesinin gösterdiği gerçek hız değeri ile ölçülen hız değerleri her bir araç için listelenmiştir. Her bir araç için ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki fark alınarak, yüzde(%) olarak hata değeri hesaplanmış ve çizelgede ayrı bir sütun olarak her bir araç için gerçekleşen hata miktarı verilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda ölçülen hata miktarı maksimum %11 olmakla birlikte, ortalama olarak yaklaşık %5 oranında bir hata ile karşılaşmıştır.

Çizelge 4.3'de ise her bir taşıtın sensörü meşgul etme süreleri ve 4. bölümde anlatılan algoritmaya göre hesaplanan yaklaşık taşıt uzunlukları verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Korelasyon Sonuçları

Araç No	Hız (m/sn)	Hız (km/saat)	15 cm alma süresi(sn)	Korelasyon Sonucu
1	8.3	30	0.018	17
2	11.1	40	0.0135	15
3	12.5	45	0.012	13
4	11.1	40	0.0135	13
5	13.8	50	0.0108	10
6	13.8	50	0.0108	11
7	11.1	40	0.0135	14
8	8.3	30	0.018	17
9	5.5	20	0.027	26
10	13.8	50	0.0108	11
11	16.6	60	0.009	9
12	13.8	50	0.0108	10
13	13.8	50	0.0108	11
14	18.0	65	0.008307692	8
15	16.6	60	0.009	8

Çizelge 4.2 : Hız Tespit Sonuçları

Araç No	Gerçek hız değeri	Ölçülen hız değeri	Hata Oranı[%]
1	30	32	6.6
2	40	36	-10
3	45	42	-6.6
4	40	42	5
5	50	54	8
6	50	49	-2
7	40	39	-2.5
8	30	32	6.6
9	20	21	5
10	50	49	-2
11	60	60	0
12	50	54	8
13	50	49	-2
14	65	68	4.6
15	60	67	11.6

Ort Hata : 5.36

Çizelge 4.1'deki korelasyon sonuçları tablosunda verilen belirli hızlardaki bir taşıtın 15 cm'lik mesafeyi alma süreleri göz önüne alınırsa ; 30 km/saat hızındaki bir aracın 15 cm'yi 0.018 saniyede, 40 km/saat hızındaki bir aracın 15 cm'yi 0.0135 saniyede, 65 km/saat hızındaki bir aracın 15 cm'yi 0.0083 saniyede aldığı görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada taşıtın sensörler arasındaki mesafeyi alma süresi 1 ms(milisaniye) çözünürlüğünde hesaplandığından dolayı, örneğin 40 km/saat hızındaki araç için 0.0135 ms'lik süre hesaplanamayacaktır. Bundan dolayı hız hesabında bazı hataların yapılması kaçınılmazdır.

Çizelge 4.3 : Taşıt Uzunluğu Tespit Sonuçları

Araç No	Meşguliyet Süresi	Hesaplanan Taşıt Uzunluğu
1	0.4	3.53
2	0.3	3
3	0.3	3.47
4	0.32	3.7
5	0.24	3.6
6	0.26	3.55
7	0.34	3.65
8	0.4	3.53
9	0.6	3.47
10	0.25	3.4
11	0.2	3.3
12	0.25	3.75
13	0.26	3.55
14	0.18	3.38
15	0.19	3.5

Çizelge 4.3'te verilen sonuçlar yaklaşık 4 metre uzunluğundaki bir otomobil ile gerçekleştirilen denemeler sonucu elde edilmiştir. Hesaplanan taşıt uzunlukları, bulunan hız değerleri ve taşıtın tek bir sensör üzerinde bulunduğu süreden hareketle hesap edildiğinden sonuçlar arasında farklılıklar gözükmemektedir. Fakat bir otomobilin uzunluğunu ifade edecek birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.4'de taşıt takip mesafeleri bilgileri verilmiştir. Taşıt takip mesafesi araç yoğunluğu ile doğrudan ilgilidir. Belli bir birim uzunluktaki araç sayısı, yolun mevcut kullanılma durumu ve tıkanma seviyesine yaklaşıp yaklaşmadığı ile ilgili bilgi içerir. Bu kapsamda taşıt takip mesafesi(time headway), makroskobik değerlendirmeler aşamasında kullanılacak bir veri olduğundan dolayı kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 4.4 : Taşıt Takip Mesafeleri

Araç No	Geçiş Anı	Takip Mesafesi
1	12:10:12	-
2	12:12:25	02:13
3	12:15:10	02:45
4	12:20:23	05:13
5	12:30:40	10:17
6	12:35:37	04:57
7	12:40:03	04:26
8	13:30:34	50:31
9	13:40:50	10:16
10	13:42:04	01:14
11	13:43:10	01:06
12	13:50:18	07:08
13	13:52:41	02:23
14	13:55:02	02:21
15	13:57:13	02:11

Elde edilen tüm bu ‘mikroskobik’ verilerden yola çıkarak makroskobik verilerin üretilmesi, elde edilen bu verilerin yorumlanması ve bölüm 2.4’de bahsedilen ilişkilerden faydalanılarak Trafik Yönetim Birimleri için kontrol ve karar mekanizmalarının gerçekleştirilebilmesi ayrı bir çalışma konudur. Bu nedenle, yoğun olarak kullanılan bir anayol üzerinde kurulacak sistem ile aktif saha çalışmalarını içeren çalışmalar neticesinde, makroskobik verilerin elde edilip değerlendirmelerin yapılması bu tez kapsamında ele alınmamıştır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Sonuç

Tezin ilk bölümlerinde AUS hakkında genel bilgiler verilmiş ve trafik yönetim birimleri için gerekli olan trafik parametrelerinden bahsedilmiştir. Makroskobik trafik parametrelerinin aralarındaki ilişkiler gösterilmiş ve trafik yönetiminde bu verilerin nasıl kullanıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra trafik durumu ile ilgili genel bir bilgi veren makroskobik parametrelerin nasıl elde edildiği üzerinde durulmuş ve makroskobik ölçekte değerlendirme yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan mikroskobik parametrelerden bahsedilmiştir. Mikroskobik trafik parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan sistemlerle ilgili genel bilgiler verildikten sonra tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmıştır. Buna göre tez çalışmasının amacı, trafik yönetimi açısından çok önemli olan trafik parametrelerinin üretilmesi için alternatif teknolojik yeni bir ürün geliştirerek ürün çeşitliliğini artırmaya ve en önemlisi mevcut kullanılan sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmaya yönelik gerçekleştirilen çalışmalara katkı vermektir.

Kentlerde gün geçtikçe artan trafik yoğunluğu problemine çözüm olarak AUS kapsamında Türkiye’de ve Dünya’da benzer sistemler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasında karayollarında hareket halindeki taşıtların sayısı ve hızları gibi bazı parametreleri belirleyerek kayıt altına alabilen; böylece, trafik analizi için gerekli trafik parametrelerini üretilip kendi içerisinde kaydeden taşınabilir yapıda bir sistem gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem, trafik parametrelerinin elde edilmesini sağlayan GMR sensörlü ölçme sistemi ve bilgisayar üzerinde çalışan arayüz yazılımı olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. Kullanım kolaylığından dolayı benzer sistemlere nazaran önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca kurulum maliyetini önemli ölçüde azaltması ve benzer sistemlere nazaran daha düşük fiyatlara imal edilebilecek olması da önemli bir avantajdır.

Dolayısıyla, bu tez çalışması ile gerçekleştirilen sistemin yeni teknoloji olması, kurulum kolaylığı, düşük maliyetli olması ve düşük enerji ile çalışabilmesinin yanısıra ülkemizde bu konuda gerçekleştirilen ilk çalışma olması gibi özelliklerinden dolayı bu konudaki AR-GE çalışmalarına önemli katkı sağlaması umulmaktadır.

5.2 Tavsiyeler ve Gelecek Çalışmalar

Sistemin yol üzerine kurulumu yapıldıktan sonra elde edilen veriler donanımın içerisine kaydedilmektedir. Dolayısıyla kaydedilen bu veriler daha sonra bilgisayar ortamına aktarılarak geçmiş zamana ait trafik verileri üzerinde değerlendirmeler yapılabilmektedir. Trafik verilerinin gerçek zamanlı izlenebilmesi için, sisteme veri iletişim modülü entegre edilebilir. Buna uygun düzenlenecek arayüz yazılımları/sunucular ile gerçek zamanlı elde edilen trafik verileri kullanıcılara anlık olarak sunulabilir. Böylece gerçek zamanlı bir değerlendirme ve izleme sisteminin ilk ve en önemli ayağı oluşturulabilir.

Geliştirilen donanım ile arayüz yazılımının haberleşebilmesi için seriport kullanılmıştır. Seriport girişinin artık günümüzdeki bilgisayarlarda bulunmadığını düşünürsek, aradaki iletişimin USB bağlantısı aracılığıyla gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca elde edilen mikroskobik trafik verilerinden hareketle makroskobik trafik verileri elde edilerek trafik yönetimi çalışmalarında kullanılacak temel parametreler elde edilebilir. Makroskobik akım parametrelerinin birbirleri arasındaki ilişkiden faydalanılarak, kurulacak modellerle karar mekanizmaları oluşturmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir. Çeşitli tahmin algoritmaları ile mevcut trafik durumunun akışına göre olabilecek trafik sıkışıklıklarının öngörülüp gerekli önlemlerin alınmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak, AUS kapsamında üzerinde çalışılabilecek birçok konu için ön çalışma niteliğinde bir çalışma gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmanın devamı niteliğindeki yeni araştırma konularına kapı açması bakımından gerçekleştirilen bu tez çalışmasının önü açıktır.

KAYNAKLAR

- Abramczuk, T., Bielik, A.,** 1989: "Image processing techniques applied to traffic measurement", Symposium of the ZPAC Conference on Control, Computers, Communications in Transportation, France.
- Agganval, J.K., Nandhakumar, N.,** 1988 : "On the computation of motion from sequences of images - A review", Proceedings of the IEEE 76(8), 917-935.
- Akbaş, A.,** 2001 : Kent İçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü; Trafik Optimizasyonu, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Akbaş, A.,** 2003 : Time and Space Discretized Nonlinear Optimal Control of Freeway Traffic Flows, *DECOM-TT 2003, 3rd IFAC Workshop*, Istanbul, pp.127-132.
- Akbaş, A.** 2010 : Güvenli ve Sürdürülebilir bir Hareketlilik İçin Akıllı Ulaşım Sistemleri; Japonya Örneği. *TRANSIST 3. Ulaşım Sempozyumu*, İstanbul.
- B. Coifman,** 2001 : "Improved Velocity Estimation Using Single Loop Detectors," Transportation Research Part A, Vol. 35, pp. 863–880.
- B. Mikhalkin, H. Payne, and L. Isaksen,** 1972 : "Estimation of Speed from Presence Detectors," Highway Research Record, pp. 73–83.
- Beymer D., McLauchlan P., Coifman B., ve Malik J.,** 1997 : "A Real-time computer vision system for Measuring Traffic Parameters", CVPR, sayfa 495-501.
- Buket Çapalı,** 2009 : Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Türkiye'deki Uygulamaları [22]
- Çavdar, A., İskurt, A. and Kılıçaslan, İ.,** 2009: Trafik parametrelerinin elde edilmesi için yeni bir yöntem yaklaşımı
- Cucchiara R., Piccardi M., ve Mello M.,** 2000 : "Image Analysis and Rule-Based Reasoning for aTraffic Monitoring System", IEEE Trans. On Intelligent Transportation Systems, vol. 1, no 2,sayfa 119-130.
- Delibaşoğlu İ., Kösesoy İ., Akbaş A.,** 2011: "GMR Sensörler ile Gerçek Zamanlı Trafik Verilerinin Elde Edilmesi için bir Gömülü Sistem Tasarımı", 4. Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi (TRANSIST 2011) ,İstanbul ,Türkiye,1-2 Aralık 2011.
- F. L. Halland B. N. Persaud,** 1989 : "Evaluation of speed estimates made with single detector data from freeway traffic management systems," Transportation Research Board, pp. 6–9.
- Gazis, D. C. ,** 2002 :Traffic Theory; Kluwer Academic Publishers; eBook ISBN: 1-4020-7095-0, NY.

- Honeywell**, www.honeywell.com, Aerospace Electronics Systems, Defense and Space Electronics Systems, Honeywell International Inc., form #900325 (2005).
- J. P. Sebastia , J. A. Lluch, J. R. L. Vizcaino , 2007** : Signal conditioning for GMR magnetic sensors Applied to traffic speed monitoring GMR sensors, *Sensors and Actuators A* 137 230–235.
- K. Mohri, T. Uchiyama, L.P. Shen, C.M. Cai, L.V. Panina, 2001** : Sensitive micro magnetic sensor family utilizing magneto-impedance (MI) and stressimpedance (SI) effects for intelligent measurements and controls, *Sens. Actuators A: Phys.* 91 (1) (2001) 85–90 (6).
- Kachroo P. and Krishen K., 2000** : System Dynamics and Feedback Control Design Problem Formulations for Real Time RampMetering. *Society for Design and Process Science, Vol.4, No.1*, pp. 37-54.
- L. Ünal, 1998** : 21. Yüzyılda Ulaştırma ve Akıllı Ulaşım Sistemleri., 4. Ulaştırma Kongresi, Bildiriler Kitabı, 321-333, Denizli, 3-5 Haziran.
- L.Zhu, S. Jin, 2011** : Speed Estimation with Single Loop Detector Using Typical Effective Vehicle Length, *Multimedia Technology (ICMT) 2011 International Conference* , pp 4096-4099
- Lu, Y, J., Yuan, X., 1993** : “Colour image analysis for vehicle speed measurement”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 228-235.
- Luz Elena Y. Mimbela and Lawrence A. Klein, 2000** : “A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems”, the Vehicle Detector Clearinghouse, New Mexico State University.
- May, A.D., 1990** : TrafficFlow Fundamentals. *Prentice-Hall*, New Jersey
- Michael J. Caruso, 1998** : Tamara Bratland, C. H. Smith, and Robert Schneider, “A New Perspective on Magnetic Field Sensing,” *Sensors Magazine*, vol. 15, no. 12, pp. 34-46.
- Neslihan Banu Öztürk , 2006** : “Akıllı Trafik sistemleri”
- Papageorgiou M., 1983** : Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modelling and Control. *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, (Balaskrishnan A.V. andThoma M.,Eds.) Spring, Berlin, 94-100.
- P. Bajaj, P. Sharma, A. Deshmukh, 2007** : Vehicle Classification for Single Loop Detector with Neural Genetic Controller: A Design Approach, *Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle,WA, USA, Sept. 30 – Oct. 3*.
- P. Ripka, 1999** : Magnetic sensors for traffic control, in: *Proceeding of International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR 99)*, vol. 10, Tokyo 1999, 1999, pp. 241–246.
- Pushkar, F. Hall, and J. Acha-Daza, 1994** : “Estimation of Speeds from Single-Loop Freeway Flow and Occupancy Data Using Cusp Catastroph.

Stiller, C., Konrad, J., 1999: "Estimating Motion in Image Sequence: A Tutorial on Modeling and Computation of 2D Motion", IEEE Signal Process. Mag.,vol. 16, July, s.70-91.

Sussman, J.M., 2005 : Perspectives on Intelligent Transportation Systems; Springer Science+Business Media, Inc.; ISBN: 0-387-23257-5, Oxford.

T. Uchiyama, K. Mohri, 2000 : Car traffic monitoring system using MI sensor built-in disk set on the road, IEEE Trans. Magn. 36 (5).

Tercan Ş. H., 2003 : "Karma Trafik Akım Hızının Modellenmesi: Konya Örneği", İTÜ Fen Bilimleri Dergisi, İTÜ.

U.S. Highway Administration, 1999 : Intelligent Transportation System Benefit.

Url-1<<http://www.ornl.gov/sci/tddt/dp121.htm>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-2<<http://www.its.berkeley.edu/publications/UCB/2007/PRR/UCB-ITS-PRR-2007-4.pdf>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-3< www.its-jp.org > alındığı tarih : 16.01.2013

Url-4 < www.itsmalaysia.com.my, 2012> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-5<<http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/TrafikMudurlugu/Documents/faaliyet.pdf>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-6<www.quatech.com> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-7 <<http://www.magneticsensors.com/vehicle-detection-solutions.php>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-8<<http://tkm.ibb.gov.tr/its/itsYogunluk.aspx>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-9< www.fhwa.dot.gov > alındığı tarih : 16.01.2013

Url-10<<http://www.marshproducts.com/pdf/Inductive%20Loop%20Write%20up.pdf>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-11< <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/1998HBook/chapter4/4-5e.html>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-12< <http://global-sei.com/its/devices/uvd.html>> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-13<www.traficon.com> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-14 <http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/523E00002.pdf> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-15<www.bannerengineering.com> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-16<www.nve.com> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-17<www.analogdevices.com> alındığı tarih : 16.01.2013

Url-18< http://tr.wikipedia.org/wiki/Seri_port > alındığı tarih : 16.01.2013

Vlasic, L. 2001 : Intelligent Vehicle Technologies, Theory and Applications; Butterworth-Heinemann; ISBN: 0-7506-5093, Oxford.

Yıldırım Ü., Ü., 2008 :Örüntü Tanıma ve Öznitelik Seçme Yöntemleri Kullanarak Kısa Zaman Sonraki Yol Trafik Hız Öngörüsü.

Yardıı M. S., Akyıldız G., "Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Türkiye' deki Uygulamaları"

Zhang H., Rithchie S.G. and Recker W.W., 1996 : Some General Results On The Optimal Ramp Control Problem, *Trans.Res., C. Vol. 4, No. 2*, pp 51-69.

6. ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İbrahim DELİBAŞOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi: ERZURUM - 1987
Adres: Yalova Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği
E-Posta: ibrahimdelibasoglu at gmail.com
Lisans: Kocaeli Üniversitesi

Mesleki Deneyim :

- **2010 – Halen :** Araştırma Görevlisi, Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Delibaşoğlu İ., Kösesoy İ., Akbaş A.,** 2011: "*GMR Sensörler ile Gerçek Zamanlı Trafik Verilerinin Elde Edilmesi için bir Gömülü Sistem Tasarımı*", 4. Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi (TRANSIST 2011) ,İstanbul ,Türkiye,1-2 Aralık 2011.
- **Delibaşoğlu İ., Kösesoy İ., Akbaş A.** "*Real-Time Traffic Data Acquisition by Using GMR Sensors; Towards a Design of Real-Time Traffic Analyze System*", 19th ITS World Congress,Vienna, Austria, 22/26 October 2012