

**T. C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKAT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI**

**AĞIR ARAÇ ULAŞTIRMASINDA
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİ KULLANARAK
EN HIZLI/EN KISA GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Hasan KUMAŞ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cevriye GENCER**

**Eş Tez Danışmanı
Dr. H. Hakan MARAŞ**

ANKARA-2011

TEZ TANITIM FORMU

TEZİN TARİHİ : 13.05.2011

TEZİN TİPİ : Yüksek Lisans Tezi

TEZİN BAŞLIĞI : Ağır Araç Ulaştırmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerini Kullanarak En Hızlı/En Kısa Güzergâhın Belirlenmesi

TEZİN YAPILDIĞI BİRİM : Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı

SPONSOR KURULUŞ : -

DAĞITIM LİSTESİ : Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama, Onay, Dağıtım ve Muhafaza Esasları Kılavuzunda Belirtilen Yerlere.

TEZİN ÖZETİ : Aracın sabit hızda yol aldığı varsayıldığında en hızlı yol, en kısa yol olarak kabul edilebilir. Oysa araçlar, yolların eğimi ve virajlar nedeniyle her zaman sabit hızda mesafe kat edemezler. Bu durumda da en hızlı yol, en kısa yol olarak kabul edilemez. En hızlı yol için yolların eğimini ve viraj yarıçaplarını dikkate alan hesaplamalar yapılmalıdır. Bu çalışmada ağır araçlar için Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılarak yolun eğimi, genişliği, düşey gabarisi, viraj yarıçapı ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak en hızlı/en kısa güzergâhın belirlenmesi için bir model ve karar destek sistemi (KDS) önerilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Ağır Araç, En Kısa Yol Problemi, En Hızlı Yol Problemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Yol Eğimi, Viraj Yarıçapı.

SAYFA SAYISI : 109

GİZLİLİK DERECEİ : Tasnif Dışı

**T. C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKAT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI**

**AĞIR ARAÇ ULAŞTIRMASINDA
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİ KULLANARAK
EN HIZLI/EN KISA GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Hasan KUMAŞ**

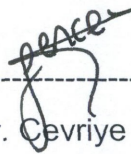
**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cevriye GENCER**

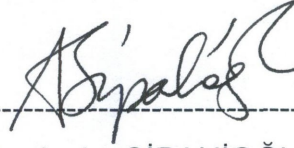
**Eş Tez Danışmanı
Dr. H. Hakan MARAŞ**

ANKARA-2011

KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İs. Yzb. Hasan KUMAŞ'ın, "Ağır Araç Ulaştırmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerini Kullanarak En Hızlı/En Kısa Güzergâhın Belirlenmesi" konulu tez çalışması, jürimiz tarafından HAREKAT ARAŞTIRMASI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan 
Prof. Dr. Cevriye GENCER
(Danışman)

Üye 
Doç. Dr. Aydın SİPAHIOĞLU

Üye 
Yrd. Doç. Dr. Emel Kızılkaya AYDOĞAN

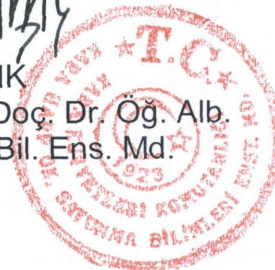
ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

13 / 05 / 2011



Ali ŞIK
Yrd. Doç. Dr. Öğ. Alb.
Svn. Bil. Ens. Md.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarımda bana yol göstererek engin bilgi ve deneyimlerini hiçbir zaman esirgemedi bana destek veren, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Cevriye GENCER'e ve Dr. Müh. Alb. H. Hakan MARAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana her türlü idari desteği ve kolaylığı sağlayan Ana Bilim Dalı Başkanım Dr. P. Yb. Erkan KÖSE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çalışmalarım boyunca bana her türlü destek ve ilgiyi göstermekten bir an bile imtina etmeyen eşim Nefise KUMAŞ'a teşekkür ederim.

T. C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKAT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI
ANKARA 2011

**AĞIR ARAÇ ULAŞTIRMASINDA
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİ KULLANARAK
EN HIZLI/EN KISA GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan KUMAŞ

ÖZET

Aracın sabit hızda yol aldığı varsayıldığında en hızlı yol, en kısa yol olarak kabul edilebilir. Oysa araçlar, yolların eğimi ve virajlar nedeniyle her zaman sabit hızda mesafe kat edemezler. Bu durumda da en hızlı yol, en kısa yol olarak kabul edilemez. En hızlı yol için yolların eğimini ve viraj yarıçaplarını dikkate alan hesaplamalar yapılmalıdır.

Bu çalışmada ağır araçlar için Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılarak yolun eğimi, genişliği, düşey gabarisi, viraj yarıçapı ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak en hızlı/en kısa güzergâhın belirlenmesi için bir model ve karar destek sistemi (KDS) önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Ağır Araç, En Kısa Yol Problemi, En Hızlı Yol Problemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Yol Eğimi, Viraj Yarıçapı.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cevriye GENCER ve Dr. H. Hakan MARAŞ

Sayfa Sayısı : 109

T. C.
TURKISH MILITARY ACADEMY
DEFENSE SCIENCE INSTITUTE
DEPARTMENT OF OPERATION RESEARCH
ANKARA 2011

**DETERMINATION OF THE FASTEST/THE SHORTEST PATH
USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS
FOR HEAVY VEHICLE TRANSPORTATION**

MASTER THESIS

Hasan KUMAŞ

ABSTRACT

Assuming the vehicle traveling at a constant speed, the shortest path can be regarded as the fastest path. Whereas, every time vehicles can not travel at a constant speed because of the road slope and horizontal curves. In this case, the shortest path can not be regarded as the fastest path. For the fastest path, calculations should be made taking into account slope of the roads and radius of the horizontal curves.

In this study, a model and a decision support system proposed to determine the fastest/the shortest path taking into account road slope, horizontal curve radius, road width, vertical road height and carrying capacity using Geographic Information Systems (GIS).

Keywords : Heavy Vehicle, Shortest Path Problem, Fastest Path, Geographic Information Systems (GIS), Road Slope, Curve Radius.

Advisor : Prof. Dr. Cevriye GENCER and Dr. H. Hakan MARAŞ

Number of Pages : 109

İÇİNDEKİLER

Teşekkür.....	i
Özet.....	ii
Abstract.....	iii
İçindekiler.....	iv
Tablolar Listesi.....	viii
Şekiller Listesi.....	ix
Giriş.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

AĞIR ARAÇLAR VE HIZ

1. GENEL	4
2. EĞİMLİ YOLDA İVME VE HIZ HESABI	5
a. Genel.....	5
b. Yokuş Direnci.....	6
c. Yuvarlanma Direnci.....	7
ç. Hava Direnci.....	8
d. Hız ve İvme Hesabı.....	10
3. VİRAJLI YOLDA HIZ HESABI	14

İKİNCİ BÖLÜM

EN KISA YOL PROBLEMLERİ

1. GENEL	17
2. DIJKSTRA ALGORİTMASI.....	19
3. FLOYD ALGORİTMASI.....	23
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	29

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

1. GENEL	31
2. CBS'NİN TANIMI VE BİLEŞENLERİ	31
3. COĞRAFİ VERİ VE BİLGİ.....	32
a. Konumsal Veriler	33
(1) Raster Veri Modelleri	33
(2) Vektör Veri Modelleri.....	35
(3) Sayısal Yükseklik Modelleri	36
(a) SYM' nin Yapısı	38
(b) SYM'nin Uygulama Alanları	41
b. Öznitelik Verileri.....	41
c. Topolojik Veriler	41

4. CBS KULLANILARAK VERİLERİN ELDE EDİLMESİ.....	42
a. Eğim ve Yükseklik Tayini	42
b. Viraj Açısının Tayini	44
c. Yol Genişliği, Düşey Gabari ve Taşıma Kapasitesinin Tayini.....	45

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

AĞIR ARAÇ ULAŞTIRMASINDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİ KULLANARAK EN HIZLI/EN KISA GÜZERGAHIN BELİRLENMESİ

1. PROBLEMİN TANIMI	46
2. MODEL	47
a. Modelin Varsayımları	47
b. Modelde Kullanılan Notasyon ve İndisler	47
c. Modeldeki Verilerin Elde Edilmesi.....	49
3. KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI	54
a. Verilerin Hazırlanması	55
b. Verilerin Hesaplanması.....	62
c. En Hızlı ve En Kısa Yolun Bulunması	63
ç. KDS'nin Çalışma Prensipleri.....	63

BEŞİNCİ BÖLÜM

ÖRNEK UYGULAMA ÇÖZÜM VE YORUMLAR

1. ÖRNEK UYGULAMA	65
a. Uygulamanın Oluşturulması	65
b. Çözümün yorumlanması	72
2. UYGULAMALAR VE ÇÖZÜMLERİ	73
a. Birinci Uygulama ve Çözümü	73
b. İkinci Uygulama ve Çözümü	75
c. Üçüncü Uygulama ve Çözümü	78
ç. Dördüncü Uygulama ve Çözümü	80
3. UYGULAMALARIN ÇÖZÜMLERİNİN YORUMLANMASI	83

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. SONUÇLAR	85
2. ÖNERİLER	86
KAYNAKÇA	88
EKLER.....	92

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo-1: Yuvarlanma Direnci Katsayıları	8
Tablo-2: Çeşitli Araç Tipleri İçin Aerodinamik direnç katsayıları.....	9
Tablo-3: Yanal Tutunma Katsayıları	15
Tablo-4: 1. Yineleme Döğüm Etiketi ve Durumu(a)	20
Tablo-5: 1. Yineleme Döğüm Etiketi ve Durumu(b)	21
Tablo-6: 2. Yineleme Döğüm Etiketi ve Durumu(a)	21
Tablo-7: 2. Yineleme Döğüm Etiketi ve Durumu(b)	21
Tablo-8: 3. Yineleme Döğüm Etiketi ve Durumu	22
Tablo-9: Uzaklıklar Matrisi (D) ve Döğüm Sırası Matrisi (S)	24
Tablo-10: 0. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Döğüm Sırası Matrisi.....	26
Tablo-11: 1. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Döğüm Sırası Matrisi.....	26
Tablo-12: 2. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Döğüm Sırası Matrisi.....	27
Tablo-13: 3. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Döğüm Sırası Matrisi.....	27
Tablo-14: 4. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Döğüm Sırası Matrisi.....	28
Tablo-15: Nihai Veri Matrisi	50
Tablo-16: Yol Veri Matrisi	51
Tablo-17: Zaman Veri Matrisi	54
Tablo-18: 42 Döğüm Numaralı Çıkış Noktası ile 6 Döğüm Numaralı Varış Noktasına İlişkin Uygulama Sonuçları.....	83

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

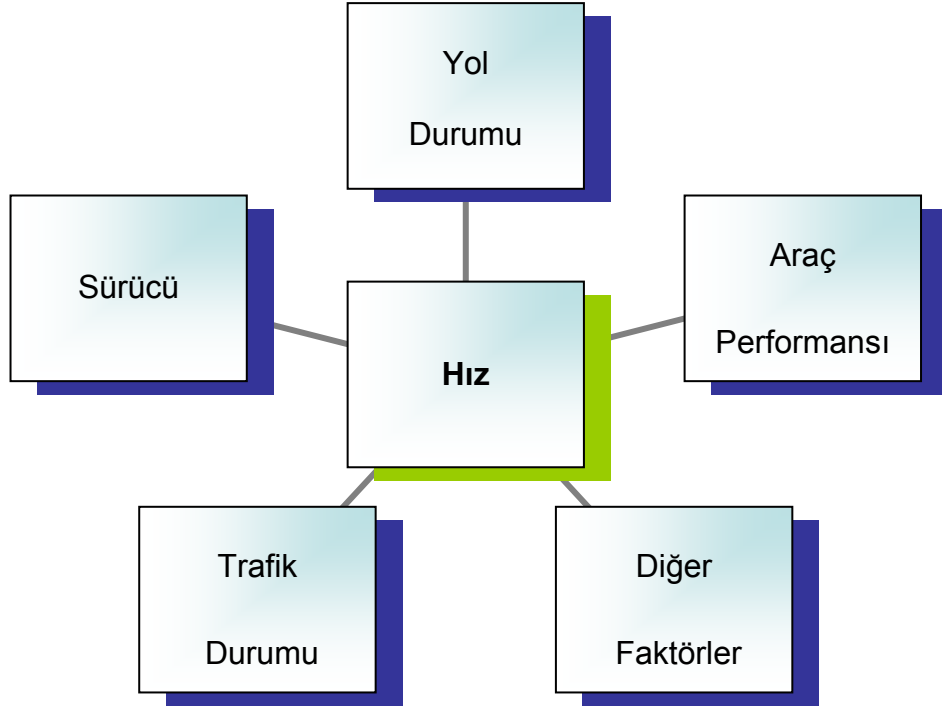
Şekil-1: Araç Hızını Etkileyen Faktörler	1
Şekil-2: Yokuş Eğimli Yolda 120 kg/kW Ağırlık/Güç Oranına Sahip Ağır Araçlar İçin Hız-Mesafe Eğrileri.....	2
Şekil-3: Yokuş Çıkan Araca Etkiyen Kuvvetler	6
Şekil-4: İniş Eğimli Yolda Araca Etkiyen Kuvvetler	12
Şekil-5: Eğimli Yolda 120 kg/kW Ağırlık/Güç Oranına Sahip Ağır Araçlar İçin Hız-Mesafe Eğrileri.....	13
Şekil-6: Önerilen Yanal Tutunma Katsayıları.....	15
Şekil-7: Viraj Yarıçapı.....	16
Şekil-8: Örnek Şebeke	17
Şekil-9: Dijkstra Algoritması İçin Örnek Şebeke	20
Şekil-10: Şebeke Üzerinde Algoritma Hesaplamaları.....	23
Şekil-11: Floyd Algoritması İçin Örnek Şebeke	24
Şekil-12: Raster Gösterim	34
Şekil-13: Hücre Büyüklüğüne Bağlı Olarak Raster Görünüm.....	35
Şekil-14: Vektörel Gösterim	36
Şekil-15: Grid Yapısında Sayısal Yükseklik Verisi.....	38
Şekil-16: Eş Yükseklik Eğrilerinden Sayısal Yükseklik Verisi Toplama ve Depolama	39
Şekil-17: Profillemeye İle Sayısal Yükseklik Verisi Toplama ve Depolama	39
Şekil-18: Düzensiz Üçgenler Ağı.....	40

Şekil-19: Düzensiz Üçgenler Ağı ile Sayısal Yükseklik Verisi Toplama ve Depolama	40
Şekil-20: Ağırlıklı Ortalama İle Yükseklik Belirleme.....	43
Şekil-21: Yol Verilerinin Hazırlanması İş Akışı	56
Şekil-22: Filtrelenmiş Yol Verileri.....	57
Şekil-23: Yolların Araziye Yerleştirilmesi	58
Şekil-24: Köprü ve Tünel Kodlarını Düzeltme	58
Şekil-25: Yollara Ait Öznitelik Tablosu	59
Şekil-26: Tek Yolların Birleştirilmesi	60
Şekil-27: Kopuklukların Giderilmesi.....	60
Şekil-28: Yolların Başlangıç ve Bitiş Düzgümlerinin Oluşturulması	61
Şekil-29: Süre Hesabı Mantıksal Akışı	62
Şekil-30: Sistemin Çalışma Prensipleri	64
Şekil-31: Örnek Uygulama Şebekesi.....	66
Şekil-32: Düzgüm Numaralarının Görüntülenmesi.....	67
Şekil-33: Arayüz Düzgmesi.....	67
Şekil-34: Arayüz ve Örnek Uygulama Veri Girişi.....	68
Şekil-35: Örnek Uygulama Öznitelik Tablosu	69
Şekil-36: Örnek Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı	70
Şekil-37: Örnek Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu.....	71
Şekil-38: Örnek Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı	71
Şekil-39: Örnek Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu.....	72

Şekil-40: Birinci Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı	73
Şekil-41: Birinci Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu	74
Şekil-42: Birinci Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı	74
Şekil-43: Birinci Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu	75
Şekil-44: İkinci Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı.....	76
Şekil-45: İkinci Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu	76
Şekil-46: İkinci Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı.....	77
Şekil-47: İkinci Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu	77
Şekil-48: Üçüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı.....	78
Şekil-49: Üçüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu	79
Şekil-50: Üçüncü Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı.....	79
Şekil-51: Üçüncü Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu	80
Şekil-52: Dördüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı	81
Şekil-53: Dördüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu.....	81
Şekil-54: Dördüncü Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı	82
Şekil-55: Dördüncü Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu.....	82

GİRİŞ

Karayolu araçlarının hızını etkileyen bir dizi faktör bulunmaktadır (Şekil-1). Bunlar yolun durumu, araç performansı, sürücü, trafik durumu ve diğer faktörler olarak sıralanabilir (Bennett, 1994:4). Bu çalışmada araç hızını etkileyen faktörlerden yol durumu ve araç performansı dikkate alınmıştır. Literatürde yolun genişliği, düşey gabarisi, taşıma kapasitesi gibi çeşitli yol durumlarını içeren, en kısa yol problemleri ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Fakat CBS'den yararlanarak yolun eğimi ve viraj yarıçapı ile araç performansını dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

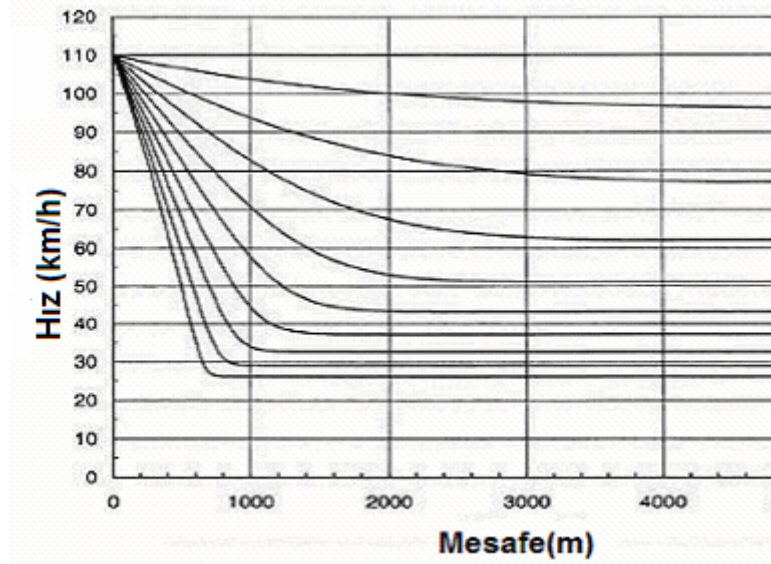


Şekil-1: Araç Hızını Etkileyen Faktörler

Viraj, eğim, yol genişliği, görüş mesafesi ve pürüzlülük araç hızını etkileyen yol durumlarıdır. Bunların içerisinde viraj ve eğim en önemli olanlarıdır.

Virajlar araç hızları üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir (Ayman ve Gandhi, 2008). Virajlı yolda araç dairesel hareket yapacağından virajın merkezine doğru bir merkezci kuvvet ve aksi yönde bir merkezkaç kuvveti oluşacaktır. Aracın emniyetle seyahati için aracın kütlesi ve hızı ile virajın keskinliğine göre oluşan merkezkaç kuvveti aracın yola tutunma kuvvetini geçmemelidir. Aksi halde araç virajın dışına savrulur.

Yokuş yukarı eğimler araçların hızları üzerinde sınırlayıcı etkiye sahiptir. Bu yüzden sürücülerin istedikleri hızda gitmelerini zorlaştırır. Eğer aracın çıktığı yokuş yeterince dik ise araç yavaşlamaya zorlanacaktır; yeterince uzun ise araç belli bir süre sonunda tırmanma hızına kadar yavaşlayacaktır. Tırmanma hızına ulaşan araç, yokuşun kalan kısmını bu hızda sabit olarak gidebilir fakat hızlanamaz. Ayrıca, bu yokuştaki aracın tırmanma hızı, aracın performansı ve yokuşun eğimine de bağlıdır. Aracın tırmanma hızına ulaşmaya kadar kat ettiği mesafe, aracın performansı, yokuşun eğimi ve yokuşa giriş hızına bağlıdır (FHWA, 2000:100). Şekil-2'de yokuş eğimli yolda ilerleyen aracın yavaşlamasına ait hız mesafe eğrileri görülmektedir.



Şekil-2: Yokuş Eğimli Yolda 120 kg/kW Ağırlık/Güç Oranına Sahip Ağır Araçlar İçin Hız-Mesafe Eğrileri (AASHTO, 2001:237)

Aracın performansı, motor karakteristiğine, aracın ağırlığına ve boyutlarına bağlı olarak değişir. Motorun efektif verimi ne kadar yüksek olursa aracın tırmanma hızı da o oranda artar. Newton'un ikinci hareket yasasında belirttiği gibi, bir cismin ivmesi, cisme etki eden kuvvetle doğru, cismin kütlesi ile ters orantılıdır. Sonuçta aracın ağırlığı arttığında tırmanma yeteneği azalır.

Aynı motor karakteristiğine sahip farklı boyutlardaki araçların tırmanma yetenekleri birbirinden farklıdır. Boyutları büyük olan aracın, hava ile temas eden yüzeyi çok olduğu için, aerodinamik direnci fazla olur dolayısıyla tırmanma yeteneği de düşük çıkar (Yeşilirmak, 2009:24).

Bu çalışmada araç performansı ve yol durumu dikkate alınarak ağır araçlar için en hızlı /en kısa güzergâhın belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde ağır araçlar ve hızı etkileyen faktörler; ikinci bölümde en kısa yol problemleri ve çözüm metotları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümünde CBS, veri türleri tanımlanmış ve verilerin elde edilmesi hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde eğim ve viraj yarıçapı dikkate alınarak önerilen doğrusal model tanımlanmış ve oluşturulan KDS anlatılmıştır. Beşinci bölümde örnek uygulamalar ve çözümlerin yorumları değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

AĞIR ARAÇLAR VE HIZ

1. GENEL

Araçlar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Ağırlık, aks/treyler sayısı ve dizayn en yaygın kullanılan sınıflandırma özellikleridir. Araçlar dizaynlarına göre genel olarak yolcu otomobilleri, otobüsler, kamyonlar ve karavanlar olmak üzere dört sınıfa ayrılır (AASHTO, 2001:15). FHWA (2001:5-4) araçları aks/treyler sayısına göre 13 sınıfa ayırmış ve 4. sınıf ve yukarıdaki sınıfları ağır araç olarak tanımlamıştır. FHWA araç sınıfları EK-A'dadır.

The Environmental Protection Agency (EPA)'ye göre 8500 pound (3855 kg) ve daha fazla ağırlığa sahip araçlar ağır araç sınıfına girmektedir (Ahanotu, 1999:13).

Ülkemizde, Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik gereği yolcu taşımak için kullanılan ve sürücü koltuğu haricinde sekizden fazla koltuğu olan motorlu araçlar, yük taşımak için kullanılan ve azami müsaade edilebilir ağırlığı 3500 kg dan fazla olan motorlu araçlar, azami müsaade edilebilir ağırlığı 3500 kg dan fazla olan römorklar ve yarı römorklar ile traktörler ağır araçlar sınıfına girer.

İş yapabilme kabiliyeti anlamına gelen beygir gücü aracın yapması gereken işi ne kadar sürede yaptığıyla ilgili bir büyüklüktür. Birimi kW (Kilowatt) veya Bg (Beygir gücü)'dir ($1 \text{ kW} = 1,36 \text{ Bg}$). Beygir gücü temel olarak silindir hacmine bağlı bir büyüklüktür ve püskürtme sistemine, emme sistemine, çalışma basıncına, sıkıştırma oranına, çalışma verimine, yakıt türüne, ilgili parçaların boyutuna ve bunlar gibi birçok başka değişkene göre artıp, azalabilir. Ağırlığına oranla beygir gücü daha yüksek olan araçlar,

yüksek ortalama sürati yakalayarak aynı zamanda daha çok iş yapabilirler. Ağır araçlar, güçleri ağırlıklarına oranla düşük olduğu için eğimli yollarda daha fazla hız kaybına uğrarlar.

2. EĞİMLİ YOLDA İVME VE HIZ HESABI

a. Genel

Eğimin hız üzerinde fiziksel bir etkisi vardır ve hız tahmini için kullanılan herhangi bir modelde hesaba katılmalıdır (FHWA, 2000:15).

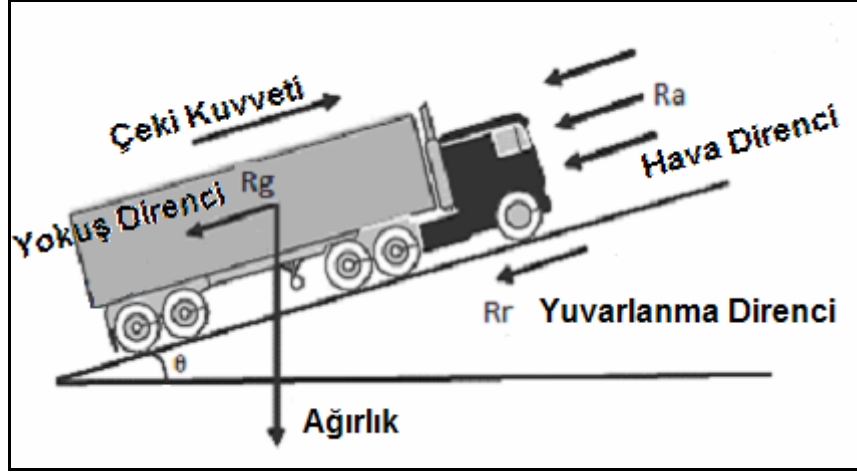
Hareket halindeki bir araca etkiyen kuvvetler, aracı hareket ettirici kuvvetler ve bu harekete direnç gösteren kuvvetler olmak üzere iki grupta değerlendirilebilir (Çetinkaya, 2004:7).

Aracı hareket ettirici temel kuvvet; motor tarafından üretilerek, aktarma organları aracılığıyla tekerleklerle ulaştırılan ve tekerlekle yol arasındaki etkileşime bağlı olarak ortaya çıkan kuvvettir. Motor çıkışından alınan kullanılabilir enerji, efektif güç (P_e) olarak belirtilmektedir. Motorun çıkış milinden alınan efektif güç, aktarma organları üzerinden tekerleklerle ulaşıncaya kadar sürtünmelerle bir miktar kaybedilir. Bu kayıp enerji transmisyon kayıpları olarak bilinir ve transmisyon verimi (η_t) ile tanımlanmaktadır (Çetinkaya, 2004:10). Motordan tekerleklerle ulaşan güç, aktarma organlarındaki kayıplar dikkate alınarak

$$P = P_e \eta_t \quad (1.1)$$

şeklinde yazılabilir. Lan ve Menendez (2003), transmisyon verimini Archilla ve Fernandez De Cieza (1996) 0,868, Taborek (1957b) 0,75-0,9 aralığında önermesine rağmen teknolojik gelişmeleri düşünerek 0,92 olarak kabul etmiştir. Tipik transmisyon verimliliği 0,89-0,94 aralığındadır (Lucic, 2001:55).

Şekil-3'de eğimli yolda araca etkiyen kuvvetler görülmektedir. Herhangi bir eğimdeki yolda, sabit hızda seyretmekte olan bir aracın karşılaşacağı dirençler; yokuş direnci (R_g), yuvarlanma direnci (R_r) ve hava direncidir (R_a) (Rakha, H., and Yu, B., 2004; Arasan and Arkatkar, 2010; Lan and Menendez, 2003; Çetinkaya, 2004:8; Gillespie, 1992:87; Boyalı, 2008:24; Lugner, 2007:142)



Şekil-3: Yokuş Çıkan Araca Etkiyen Kuvvetler (Arasan and Arkatkar, 2010)

Şekil-3'de görüldüğü gibi, eğimli yolda hareket eden araca etkiyen toplam dirençler aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$R_t = R_g + R_r + R_a$$

b. Yokuş Direnci (R_g)

Aracın eğimli yolda hareketi sırasında aracın ağırlığının yola paralel bileşeninden kaynaklanır. Maksimum araç hızının altındaki hızlarda, motor tarafından aracın tekerleklerinde geliştirilen tahrik kuvveti, aracı o hızlarda ivmesiz olarak kullanmak için gerekli olan kuvvetten daha fazladır. “**Rezerv Kuvvet**” olarak da adlandırılan bu fazlalık, gerektiğinde aracın belirli yokuşları aşabilmesi veya hızını artırabilmesi için kullanılmaktadır.

Bir aracın, herhangi bir sabit hızda (ivmesiz olarak) tırmanabileceği maksimum yokuş; o aracın “**tırmanma yeteneği**” olarak tanımlanmaktadır. Tırmanabileceği maksimum eğim ise, maksimum tırmanma yeteneğini belirlemektedir. Bu yetenek, özellikle ağır vasıtalar ve karayolu dışı araçlar için önem kazanmaktadır. Yolun eğimi genellikle eğim açısı (θ), veya bu açının tanjantı ile tanımlanmaktadır (Çetinkaya, 2004:159). Yokuş direnci aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çetinkaya, 2004:160; Lan ve Menendez, 2003; Lucic, 2001:59; Yu,2005; Sahlholm and Henrik, 2009):

$$R_g = \pm W \sin\theta \text{ (kg)} \quad (1.2)$$

Burada, W , aracın kütlesini (kg); θ , yolun eğim açısını (derece) tanımlamaktadır.

(1.2) eşitliğinde (+) değerler yokuşu, (-) değerler ise inişi ifade etmektedir. Yokuş eğimi arttıkça aracın kütlesi, aracın hareketine zıt yönde direnç göstereceğinden yokuş direnci artar.

c. Yuvarlanma Direnci (R_r)

Araç tekerleğinin yuvarlanma sırasında yol ve lastiklerdeki şekil değiştirmelerden kaynaklanır. Lastiklerin dönüşü, yani yuvarlanması sırasında yük nedeniyle direnç oluşmaktadır. Bu direnç, her bir tekerleğe gelen yük ve o tekerlekle yol arasındaki sürtünmeyle doğru orantılıdır. Lastiklerin yuvarlanma direnci, birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler; araç hızı, lastik yapısı, şişirme basıncı, kesit oranı, lastik karışımı, dış malzemesi ve biçimi ile yol yüzeyinin durumu şeklinde özetlenebilir (Yeşilırmak, 2009:24; Çetinkaya, 2004:118). Yuvarlanma direnci aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Yu, 2005; Sahlholm and Henrik, 2009):

$$R_r = f_r W \quad (1.3)$$

Burada, f_r , yuvarlanma direnci katsayısını ifade etmektedir.

Yolun kaplama durumuna göre örnek yuvarlanma direnci katsayıları Tablo-1’de gösterilmiştir.

Tablo-1: Yuvarlanma Direnci Katsayıları

Yol Kaplaması	Yuvarlanma Direnci Katsayısı
Beton	0,010
Asfalt beton	0,012
Sıkıştırılmış moloz	0,015
Kumlu toprak, gevşek	0,037
Moloz, gevşek	0,100
Kum	0,150

ç. Hava Direnci (Ra)

Aracın hareketi sırasında, hava hareketine bağlı olarak gelişen aerodinamik kuvvetler, aracın performansını etkilemektedir. Hava akışı aracın hızına ve ortamın rüzgâr hızına bağlıdır. Aracın hızı, sayısal değer ve yön bakımından sürekli olarak değişir. Tüm araç yüzeyine dağılmış olan basınçların bileşkesi olan aerodinamik kuvvet, basınç merkezi adı verilen bir noktaya etki etmekte, aracın kullanım ve yönlendirme karakteristiklerini olumlu veya olumsuz biçimde etkileyen koşullar yaratmaktadır. Aerodinamik kuvvetin önemli iki bileşeni, aerodinamik kaldırma (lift) ve yanal kuvvetlerdir.

Aerodinamik kaldırma kuvveti, lastiklerle zemin arasındaki tutunma kuvvetini azaltarak, aracın yönlendirme ve tahrik karakteristiklerini; aerodinamik yanal kuvvet ise, araç kararlılığını etkilemektedir (Çetinkaya, 2004:139). Hava direnci, araca etkiyen kuvvetler içerisinde aracın ağırlığından etkilenmeyen tek kuvvettir (Ahanotu, 1999:24).

Aracı hareket halindeyken etkisi altına alan hava direnci; aracın aerodinamik yapısına, aracın boyutlarına (ön yüzeyi, üst ekipmanı, taşınan

yükün büyüklüğü) ve hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çetinkaya, 2004:141; Lan ve Menendez, 2003; Bennet, 1994:10; Sahlholm ve Henrik, 2009):

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_D A_f V^2 \text{ (kg)} \quad (1.4)$$

Burada,

$\rho = 0,125 \text{ kg s}^2/\text{m}^4$ (Havanın yoğunluğu-deniz seviyesinde 15 °C)

C_D = Aerodinamik direnç katsayısı

A_f = Aracın ön izdüşüm alanı (m^2)

V = Aracın hızı (m/s)

Ağır araçlar için aerodinamik direnç katsayısı 0,6 – 1,3 aralığında seçilebilir (Bennett, 1994:114; Bayar, 2006:18; Lan ve Menendez, 2003). Çeşitli araç tipleri için aerodinamik direnç katsayıları Tablo-2'de gösterilmiştir.

Tablo-2: Çeşitli Araç Tipleri İçin Aerodinamik direnç katsayıları (Bayar, 2006:18)

Araç Tipi	Aerodinamik Direnç Katsayısı (C_D)
Otomobil	0,25-0,55
Otobüs	0,5-0,7
Çekici-Treyler	0,6-1,3
Motosiklet	0,27-1,8

Aracın ön izdüşüm alanının hesaplanmasında,

$$A_f = 0,9 WV HV \quad (1.5)$$

eşitliği kullanılabilir (Lan ve Menendez, 2003; Çetinkaya, 2004:145).

Burada,

WV = Aracın genişliğini (m)

HV = Aracın yüksekliğini (m) ifade etmektedir.

d. Hız ve İvme Hesabı

Aracın ileriye hareket etmesi için gereken kuvvet, araca boylamasına etkiyen bu kuvvetlerin toplamına göre belirlenmektedir (Arasan and Arkatkar, 2010). Motorlu araçlarda hareket, motor gücünden alınan çeki kuvvetinin karşı dirençleri yenmesiyle gerçekleşir (Lucic, 2001:53; Arasan and Arkatkar, 2010; Bennett, 1994:10).

Aracın hareketi için gereken çeki kuvveti, motordan tekerleklerle aktarılan gücün hıza bölünmesi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir, (Gillespie, 1992:23; Lan ve Menendez, 2003; Mavromatis and Psarianos, 2003; Lucic, 2001:53; Juostas ve Janulevičius, 2008)

$$F_T = \frac{101,97 P}{V} \text{ (kg)} \quad (1.6)$$

Newton'un 2. kanununa göre, bir cisme etkiyen kuvvetlerin toplamı o cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.

$$\sum F = ma \Rightarrow a = \frac{\sum F}{m} = \frac{F_T - R_T}{m} \quad (1.7)$$

Bir cisme etki eden kuvvetlerin toplamı sıfır olursa bu cisim dengededir ve hızı sabit veya sıfırdır. Eğimli yolda aracın ivmesiz($a=0$) olarak tırmanabileceği maksimum hızı bulmak için Newton'un 2. kanununu kullanarak;

$$F_T - R_T = 0 \Rightarrow F_T = R_T \quad (1.8)$$

Eşitlik (1.8)'de eşitlik (1.6) yerine konulduğunda aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\frac{101,97 P}{V} = (R_g + R_r + R_a) \quad (1.9)$$

Eşitlik (1.9)'da (1.1), (1.2), (1.3), (1.4) eşitlikleri yerine konulduğunda aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$101,97 P_e \eta_t - [(f_r + \sin\theta) W] V - \left(\frac{1}{2} \rho C_D A_f \right) V^3 = 0 \quad (1.10)$$

Eşitlik (1.10)'da

$\frac{1}{2} \rho C_D A_f = K$ şeklinde tanımlandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$K V^3 + [(f_r + \sin\theta) W] V - 101,97 P_e \eta_t = 0 \quad (1.11)$$

Bu eşitlik tam olmayan kübik bir eşitliktir. Bu tip eşitliklerin çözümü aşağıda verilmiştir.

$$V^3 + a V + b = 0 \Rightarrow \quad (1.12)$$

$$V = \sqrt[3]{-\frac{b}{2} + \sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{b}{2} - \sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}}} \quad (\text{m/s})$$

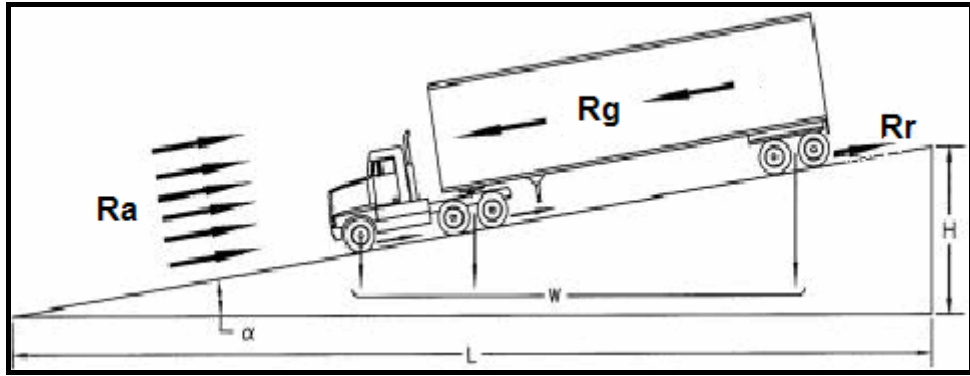
Aracın bu hıza ulaşmak için kullanacağı ivme Lan ve Menendez (2003)'e göre aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$a = \left(1,02 - \frac{1,45}{V_{ilk}} \right) \left[\frac{101,97 P_e \eta_t}{V_{ilk} W} - f_r - \frac{K V_{ilk}^2}{W} - \sin\theta \right] g \quad (\text{m/s}^2) \quad (1.13)$$

$$V_{ilk} \geq 1,45 \text{ m/s}$$

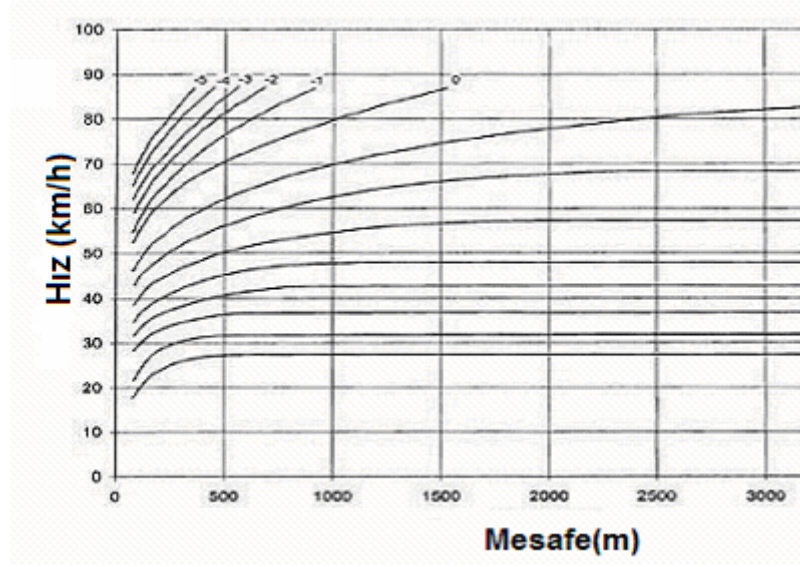
Zamana ve mesafeye bağılı olarak ivme ve hız arasındaki bağıntılar ile örnekli açıklamalar EK-B'dedir.

İniş ve çıkış eğimli yollar, kamyon ve çekici sürücüleri için oldukça tehlikeli kesimlerdir. Bu tehlikenin temel nedeni, araca etkiyen yokuş direncidir. Yokuş direnci, çıkış eğimli yollarda araca karşı bir direnç olarak belirir. İniş eğimli yollarda ise, Şekil-4'den de görüleceği gibi aracın hareketine yardım edici, hızlandırıcı bir etki gösterir. Ağır tonajlı araç, kamyon ve çekici sürücüleri bu dirençleri daha çok hissetmektedir. Bunda araçlarının büyüklüğü ve ağırlığı ile motor performansları etken olmaktadır.



Şekil-4: İniş Eğimli Yolda Araca Etkiyen Kuvvetler

İniş sırasında, aracı aşağı doğru hızlandırarak iten kuvvet, aracın ağırlığı ile artar. İşte bu nedenle ağır tonajlı araç sürücüleri, sürekli motor veya servis frenlerini kullanmak zorundadır. İniş eğimi ne kadar büyükse, araca etkiyen hızlandırıcı kuvvet de o kadar büyük olur. Şekil-5'de iniş eğimli yolda hızın arttığı görülmektedir. AASHTO (2001:833)'ya göre iniş eğimli yollarda ağır araçların diğer araçlara göre daha büyük hızlanma potansiyelleri olduğu için iniş eğimleri % 3 veya % 4 olarak sınırlandırılmalıdır.



Şekil-5: Eğimli Yolda 120 kg/kW Ağırlık/Güç Oranına Sahip Ağır Araçlar İçin Hız-Mesafe Eğrileri (AASHTO, 2001:238)

Çıkış eğimli yolda hız, araca etkiyen dirençler ve aracın ağırlık-güç oranı tarafından belirlenirken iniş eğimli yolda sürücünün davranışı en önemli faktördür. Çünkü bu hız, istenen seyahat hızına ve aracı durdurabilmeye yeterli hıza bağlıdır (Bennett, 1994:175).

Literatür çalışmaları sürücülerin çoğunun yolda beklenmeyen bir engelle karşılaştığında durmak için $4,5 \text{ m/s}^2$ den daha yüksek ivmelerde yavaşladığını göstermektedir. Sürücülerin yaklaşık % 90 ı $3,4 \text{ m/s}^2$ den büyük ivmelerle yavaşlamaktadır. Çünkü bu ivmeler sürücünün ıslak zeminde direksiyon hakimiyetini kaybetmeden kendi şeridinde durabileceği değerlerdir (AASHTO, 2001:111). Karayolu araçlarında, güvenlik bakımından en fazla $0,32 \text{ g}$ lik frenleme ivmesi öngörülmekte, bunun üzerindeki yavaşlama ivmeleri rahatsız edici olmaktadır. İnsanların dayanabileceği maksimum frenleme ivmesi ise 20 g kadardır (Çetinkaya, 2004:200).

3. VİR AJLI YOLDA HIZ HESABI

Virajlar araç hızları üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir (Ayman ve Gandhi, 2008). Virajlı yolda araç dairesel hareket yapacağından virajın merkezine doğru bir merkezci kuvvet ve aksi yönde bir merkezkaç kuvveti oluşacaktır. Aracın emniyetle seyahati için merkezkaç kuvveti aracın yola tutunma kuvvetini geçmemelidir. Aracın virajın dışına savrulmadan ve emniyetli bir şekilde seyahat edebileceği azami hız, Newton'un 2. hareket kanunundan istifade ederek aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Gillespie, 1992:199; AASHTO, 2001:131; Brockenbrough, 2009:87).

$$V_{\text{viraj}} = \sqrt{(e+\mu_s) g R} \text{ (m/s) veya } V_{\text{viraj}} = \sqrt{127 (e+\mu_s) R} \text{ (km/h)} \quad (1.14)$$

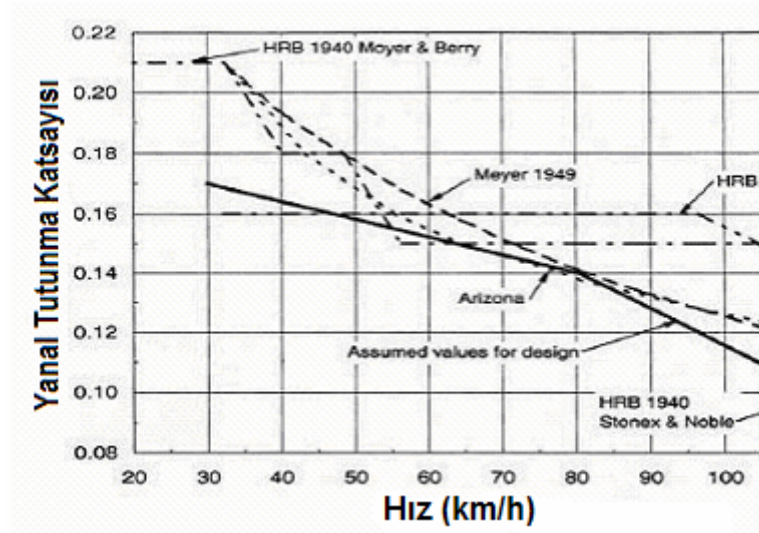
Burada,

e =Yolun yatay eğimini,

μ_s =Yanal tutunma katsayısını,

R =Viraj yarıçapını (m) ifade etmektedir.

Yanal tutunma katsayıları ile ilgili yapılan testler neticesinde önerilen değerler Şekil-6'da gösterilmiştir. Bu çalışmaların analizi neticesinde viraj tasarımı için varsayılan yanal tutunma katsayıları devamlı koyu çizgi ile belirtilmiştir (AASHTO, 2001:143).



Şekil-6: Önerilen Yanal Tutunma Katsayıları

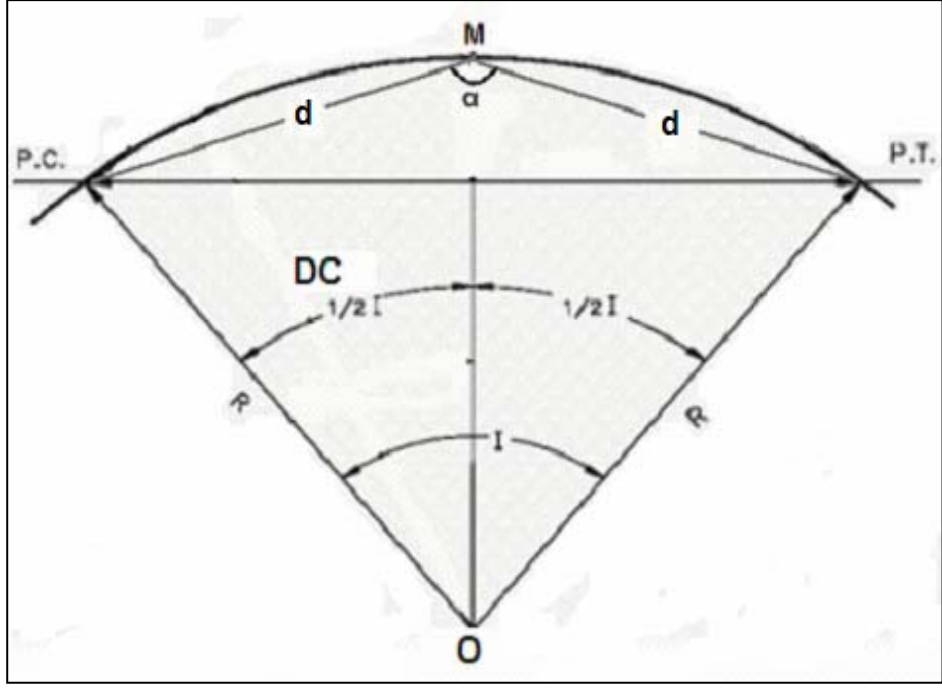
AASHTO (2001:143)'ya göre viraj yarıçapının belirlenmesi için, tasarlanan hızlara göre, önerilen yan al tutunma katsayıları Tablo-3'de gösterilmiştir.

Tablo-3: Yanal Tutunma Katsayıları

Tasarlanan Hız (km/h)	Yanal Tutunma Katsayısı(μ_s)
30	0,17
80	0,14
130	0,08

Virajlar viraj yarıçapı yerine viraj açısı (DC) cinsinden de ifade edilebilir. Buna göre viraj açısı, 30,5 m lik ark uzunluğuna karşılık gelen merkez açısı olarak tanımlanırsa aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (FHWA, 2000:11; Brockenbrough, 2009:88).

$$DC = 1746,38 / R \text{ (derece)} \quad (1.15)$$



Şekil-7: Viraj Yarıçapı

Viraj yarıçapı (R) (Şekil-7), kırılma açısı (α) biliniyorsa çemberin merkez ve çevre açı özelliklerinden istifade ederek aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (Nicholas ve Lester, 2009:772).

$$R = \frac{180 d_{ij}}{\pi DC} \text{ (m)} \quad (1.16)$$

Burada,

d_{ij} = (i,j) yolunun mesafesi (m)

α = Kırılma açısı (derece)

I = $360 - 2 \alpha$ (derece)

$DC = 1/2 I = 180 - \alpha$ (Viraj açısı) (derece)

İKİNCİ BÖLÜM

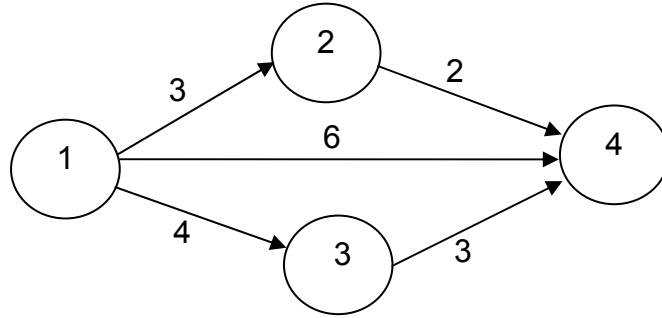
EN KISA YOL PROBLEMİ

1. GENEL

Bir şebeke veya graf, bir dizi nokta ve bu noktaları birbirine bağlayan çizgilerden oluşur (Hillier and Lieberman, 1995:356). Noktalar düğüm, çizgiler de dal olarak adlandırılır. Bir şebeke $G=\{N,A\}$ notasyonu ile ifade edilir. Buradaki N, düğümler kümesi, A ise dallar kümesidir (Taha, 2000:212). Şekil-8'deki şebeke aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N=\{1,2,3,4\}$$

$$A=\{(1,2),(1,3),(1,4),(2,4),(3,4)\}$$



Şekil-8: Örnek Şebeke

Bir dal iki düğümden oluşur ve yönlü şebekelerde, ilk düğümden ikinci düğüme akış olduğunu gösterir. Eğer bir daldaki akış tek yönde ise bu dala yönlendirilmiş dal denir ve akış yönü dal üzerinde ok işareti ile gösterilir. Şebekedeki bütün dallar yönlendirilmiş dal olarak gösterildiğinde yönlendirilmiş şebeke(graf) olarak adlandırılır (Hillier and Lieberman, 1995:357).

Güzergâh, iki düğümü birbirine bağlayan dalların sıralanmış halidir. Örneğin Şekil-8'de 1 düğümünden 4 düğümüne olan güzergâhlar aşağıdaki gibi ifade edilir:

$(1,2)$, $(2,4)$ veya $(1 \rightarrow 2 \rightarrow 4)$

$(1,4)$ veya $(1 \rightarrow 4)$

$(1,3)$, $(3,4)$ veya $(1 \rightarrow 3 \rightarrow 4)$

Her dalın bir ağırlığı yani değeri vardır. Bu değer iki düğüm arasındaki mesafe, süre vb. şeklinde tanımlanabilir. Güzergâhtaki dalların toplam ağırlığı, o güzergâhın değerini verir. Şekil-8'deki $(1-3-4)$ güzergâhının değeri,

$(1,3) = 4$

$(3,4) = 3$

$(1 \rightarrow 3 \rightarrow 4) = 4+3=7$ olarak bulunur.

Bir şebekede, belirlenen iki düğüm noktası arasındaki en kısa yolu ve uzunluğunu bulan problemlere en kısa yol problemleri denir.

En Kısa Yol probleminde, ulaştırma şebekesindeki kaynak ile varış noktası arasındaki en kısa yol belirlenir. Amaç, şebeke üzerindeki iki düğüm noktası arasındaki en kısa uzunluğu ve güzergâhı bulmaktır.

Örneğin, Şekil-8'deki şebekede 1 den 4 e gidebilmek için $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$ güzergâhı, $1 \rightarrow 4$ güzergâhı ve $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ güzergâhı vardır. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$ güzergâhının uzunluğu $(3+2 = 5)$, $1 \rightarrow 4$ güzergâhının uzunluğu (6) ve

1 → 3 → 4 güzergâhının uzunluğu (4+3= 7)'dir. En kısa yol 5 uzunluğu ile 1 → 2 → 4 güzergâhıdır.

Aşağıda başlangıç düğümünden diğer düğümlere olan en kısa yolu ve şebekedeki herhangi iki düğüm arasındaki en kısa yolu bulan Dijkstra ve Floyd algoritmaları açıklanmaktadır.

2. DIJKSTRA ALGORİTMASI

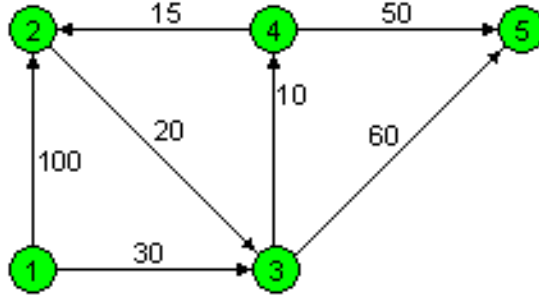
En kısa yol probleminin çözümü için kullanılan ilk algoritma olan Dijkstra algoritması, Alman bilim adamı Dijkstra tarafından 1959 yılında bulunmuştur. Bu algoritmada, düğümler kalıcı ve geçici olmak üzere iki gruba ayrılır. Başlangıç düğümünden diğer düğümlere olan en kısa yola sahip düğümler kalıcı gruba dahil edilerek hedef düğüme kadar ilerlenir. Bütün düğümler kalıcı gruba dahil olduğunda işlem sona ermiş olur (Dijkstra, 1959).

Bu algoritmada her düğüm için etiket verilir. Bu etiketler "Geçici" ve "Kalıcı" olarak değer alırlar. Daha iyi bir yol bulunana kadar etiket değeri "Geçici"dir. Eğer en iyi yol bulunmuşsa etiket "Kalıcı"ya dönüştürülür. Bu algoritma sadece, seçilen iki düğüm noktası arasındaki en kısa yolu verir. Algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir.

0. Adım : Kaynak düğümü "Kalıcı" olarak etiketlenir. Adım Sayısı "i", "1" yapılır.

i. Adım : j'nin "Kalıcı" etiketlenmemiş olması şartıyla, i düğümünden ulaşılabilen her j düğümü için geçici mesafeler hesaplanır. Eğer j düğümü başka bir k düğümü ile zaten etiketlenmişse ve daha iyi bir i,j bağlantısı bulunuyorsa j,k bağlantısı i,j bağlantısı ile değiştirilir. Tüm düğümlerde "Kalıcı" etiketi varsa işlem sona ermiştir. Aksi halde tüm "Geçici" etiketlerin arasından en kısa mesafeli bağlantı seçilir ve i. adımı tekrarlanır.

Örnek:



Şekil-9: Dijkstra Algoritması İçin Örnek Şebeke

0. yineleme : 1.düğüm $[0 , -]$ kalıcı etiketi atanır.

1. yineleme : 2. ve 3. düğümlere (en son "Kalıcı" olarak etiketlenen)

1. düğümden ulaşılabilir. Böylece etiketlenen düğümlerin "Geçici" ve "Kalıcı" listesi aşağıdaki gibi olur.

Tablo-4: 1. Yineleme Düğüm Etiketi ve Durumu(a)

Düğüm	Etiket	Durum
1	$[0 , -]$	Kalıcı
2	$[0 + 100 , 1] = [100 , 1]$	Geçici
3	$[0 + 30 , 1] = [30 , 1]$	Geçici

2. ve 3. düğümün etiketleri olan iki geçici etiketten $[100 , 1]$ ve $[30 , 1]$ 'e bakıldığında, 3. düğümün daha kısa uzaklığı verdiği görülür. Dolayısıyla 3. düğümün etiketi "Kalıcı" olarak değiştirilir.

Tablo-5: 1. Yineleme D ğ m Etiketi ve Durumu(b)

D�ğ�m	Etiket	Durum
1	[0 , -]	Kalıcı
2	[100 , 1]	Geçici
3	[30 , 1]	Kalıcı

2. yineleme : 4. ve 5. düğümlere 3. düğümden ulaşılabilir ve etiketlenen düğümlerin listesi aşağıdaki gibi oluşur.

Tablo-6: 2. Yineleme D ğ m Etiketi ve Durumu(a)

D�ğ�m	Etiket	Durum
1	[0 , -]	Kalıcı
2	[100 , 1]	Geçici
3	[30 , 1]	Kalıcı
4	[30 + 10 , 3] = [40 , 3]	Geçici
5	[30 + 60 , 3] = [90 , 3]	Geçici

3. düğümdeki [40 , 3] geçici etiketinin durumu "Kalıcı" olarak değiştirilir.

Tablo-7: 2. Yineleme D ğ m Etiketi ve Durumu(b)

D�ğ�m	Etiket	Durum
1	[0 , -]	Kalıcı
2	[100 , 1]	Geçici
3	[30 , 1]	Kalıcı
4	[40 , 3]	Kalıcı
5	[90 , 3]	Geçici

3. yineleme : 2. ve 5. düğümlere 4. düğümden ulaşılabilir. Böylece etiketlenmiş düğümlerin listesi aşağıdaki gibi olur.

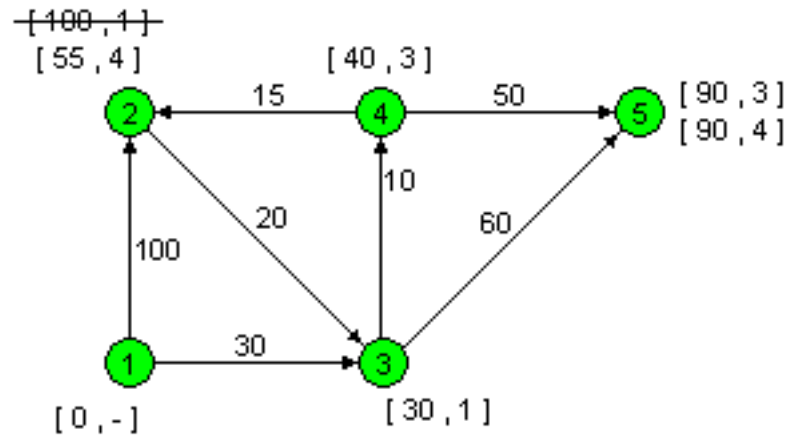
Tablo-8: 3. Yineleme Düğüm Etiketi ve Durumu

Düğüm	Etiket	Durum
1	[0 , -]	Kalıcı
2	[40 + 15 , 4] = [55 , 4]	Geçici
3	[30 , 1]	Kalıcı
4	[40 , 3]	Kalıcı
5	[90 , 3] veya [40 + 50 , 4] = [90 , 4]	Geçici

2. yinelemede 2. düğümün geçici etiketi [100 , 1], 3. yinelemede 4. düğüm için daha kısa bir yol bulunduğunu gösterdiğinden [55 , 4] olarak değiştirilir. Ayrıca 3. yinelemede 5. düğümün aynı uzaklığa sahip iki alternatifi vardır.

4. yineleme : 2. düğümden sadece 3. düğüme ulaşılabilir. Bununla birlikte 3. düğüm "Kalıcı" olarak etiketlendiğinden yeniden etiketlenmez. Etiketlerin yeni listesi 3. yinelemede 2. düğümdeki etiketin kalıcı olması dışında aynı kalır. Bu da 5. düğümü tek "Geçici" etiket olarak bırakır. 5. düğüm diğer düğümlere gitmediğinden statüsü "Kalıcı"ya dönüştürülür ve süreç tamamlanır.

Algoritmanın hesaplamaları Şekil-10'da gösterildiği gibi şebeke üzerinde kolayca gerçekleştirilebilir.



Şekil-10: Şebeke Üzerinde Algoritma Hesaplamaları

1. düğüm ile şebekedeki başka bir düğüm arasındaki en kısa yolu belirlemek için, istenilen varış düğümünden başlanır ve "Kalıcı" etiketlerin verdiği bilgi kullanılarak düğümlerden geriye doğru gidilir. Örneğin 1. düğümünden 2. düğüme en kısa yolu aşağıdaki sıra belirler.

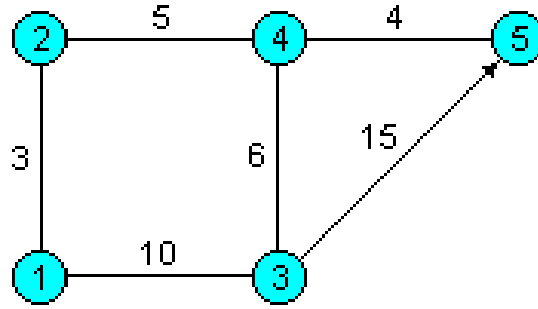
(2) → [55 , 4] → (4) → [40 , 3] → (3) → [30 , 1] → (1)

Böylece, istenilen yol 1→3→4→2 ve toplam uzunluk 55 km olarak bulunur (Taha, 2000:225).

3. FLOYD ALGORİTMASI

Floyd Algoritması Dijkstra algoritmasının daha genel halidir. Çünkü şebekedeki herhangi iki düğüm arasındaki en kısa yolu belirler. Algoritma, n düğümlü şebekeyi n satırlı ve n sütunlu kare matris olarak gösterir. Matrisin (i, j) elemanı, i. düğümden j. düğüme olan uzaklığı verir. i doğrudan j'ye bağlıysa bağlantı değeri, değilse sonsuz değeri alır.

Örnek :



Şekil-11: Floyd Algoritması İçin Örnek Şebeke

Floyd Algoritmasında Uzaklıklar Matrisi (D) ve Düğüm Sırası Matrisi (S) bulunur. D matrisi bağlantıları birer matematiksel bağıntı olarak ele alır ve (i,j) elemanını i. düğümden j. düğüme olan uzaklık olarak seçer. S matrisi düğümlerin bağlanma sırasını tutar. Her i farklı j olmak üzere (i, j) = j yapılır. Şebekenin bağlantıları, D ve S matrisleri Tablo-9'da gösterilmiştir.

Tablo-9: Uzaklıklar Matrisi (D) ve Düğüm Sırası Matrisi (S)

		D							S				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1		—	3	10	∞	∞	1		—	2	3	4	5
2		3	—	∞	5	∞	2		1	—	3	4	5
3		10	∞	—	6	15	3		1	2	—	4	5
4		∞	5	6	—	4	4		1	2	3	—	5
5		∞	∞	∞	4	—	5		1	2	3	4	—

Şebeke üzerindeki ilişkilerin bağıntı değerleri yazılır. Bağlantı olmaması sonsuz uzaklık demektir.

$$(1 , 2) = 3$$

$$(2 , 1) = 3$$

$$(1, 3) = 10$$

$$(3, 1) = 10$$

$$(2, 4) = 5$$

$$(4, 2) = 5$$

$$(3, 4) = 6$$

$$(4, 3) = 6$$

$$(3, 5) = 15$$

$$(4, 5) = 4$$

$$(5, 4) = 4$$

Genel kural; $D(i, j)$ karesi için, $D(i, k) + D(k, j) < D(i, j)$ var ise

$D(i, j) = D(i, k) + D(k, j)$ yapılır.

$S(i, j) = k$ yapılır.

0. Yineleme : D ve S matrisleri yukarıda şebekenin başlangıç durumunu vermektedir. D matrisindeki sonsuz ifadesi ilgili i ve j düğüm noktalarının bağlı olmadığı anlamına gelir. Ayrıca "-" ile gösterilen veriler de bir düğüm noktasının kendisi ile bağlı olamayacağını belirtir.

Tablo-10: 0. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Düğüm Sırası Matrisi

		D_0							S_0				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1		—	3	10	∞	∞	1		—	2	3	4	5
2		3	—	∞	5	∞	2		1	—	3	4	5
3		10	∞	—	6	15	3		1	2	—	4	5
4		∞	5	6	—	4	4		1	2	3	—	5
5		∞	∞	∞	4	—	5		1	2	3	4	—

1. Yineleme : Anahtar satır ve sütun, yukarıda da görüldüğü gibi "MAVİ" renkle gösterilmektedir. $K = 1$ 'dir. Buna göre mavi kareler haricindeki bütün kareler taranırsa görülecektir ki $D(2, 1) + D(1, 3) < D(2, 3)$ ve $D(3, 1) + D(1, 2) < D(3, 2)$ olduğundan $D(2, 3)$ ve $D(3, 2)$ karelerinin değerleri genel kuralda olduğu gibi değiştirilir.

$$D(2, 3) = D(2, 1) + D(1, 3) \text{ ve } D(3, 2) = D(3, 1) + D(1, 2)$$

S tablosunda da $S(2, 3) = 1$ ve $S(3, 2) = 1$ yapılır.

Tablo-11:1. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Düğüm Sırası Matrisi

		D_1							S_1				
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
1		—	3	10	∞	∞	1		—	2	3	4	5
2		3	—	13	5	∞	2		1	—	1	4	5
3		10	13	—	6	15	3		1	1	—	4	5
4		∞	5	6	—	4	4		1	2	3	—	5
5		∞	∞	∞	4	—	5		1	2	3	4	—

2. Yineleme : $K = 2$ 'dir. Genel kural yine tüm beyaz karelere uygulandığında yukarıdaki gibi $D(1, 4)$ ve $D(4, 1)$ kareleri değişikliğe uğrar.

$$D(1, 4) = D(1, 2) + D(2, 4) \text{ ve } D(4, 1) = D(4, 2) + D(2, 1)$$

S tablosunda da $S(1, 4) = 2$ ve $S(4, 1) = 2$ yapılır.

Tablo-12: 2. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Düğüm Sırası Matrisi

D_2						S_2					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	—	3	10	8	∞	1	—	2	3	2	5
2	3	—	13	5	∞	2	1	—	1	4	5
3	10	13	—	6	15	3	1	1	—	4	5
4	8	5	6	—	4	4	2	2	3	—	5
5	∞	∞	∞	4	—	5	1	2	3	4	—

3. Yineleme : $K = 3$ 'tür. Genel kural yine tüm beyaz karelere uygulandığında yukarıdaki gibi $D(1, 5)$ ve $D(2, 5)$ kareleri değişikliğe uğrar.

$$D(1, 5) = D(1, 3) + D(3, 5) \text{ ve } D(2, 5) = D(2, 3) + D(3, 5)$$

S tablosunda da $S(1, 5) = 3$ ve $S(2, 5) = 3$ yapılır.

Tablo-13: 3. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Düğüm Sırası Matrisi

D_3						S_3					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	—	3	10	8	25	1	—	2	3	2	3
2	3	—	13	5	28	2	1	—	1	4	3
3	10	13	—	6	15	3	1	1	—	4	5
4	8	5	6	—	4	4	2	2	3	—	5
5	∞	∞	∞	4	—	5	1	2	3	4	—

Algoritma bu şekilde N . adıma kadar gider. Tüm adımlar yukarıdaki tablolardan görülebilir. Sonuç olarak şebeke üzerindeki herhangi iki düğüm

noktası için gereken tüm bilgiler Tablo-14'de mevcuttur. Tek yapılması gereken iki tablodan da bilgileri belli bir sistematikte okumaktır.

Tablo-14: 4. Yineleme Uzaklıklar Matrisi ve Düğüm Sırası Matrisi

D_4						S_4					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	—	3	10	8	12	1	—	2	3	2	4
2	3	—	11	5	9	2	1	—	4	4	4
3	10	11	—	6	10	3	1	4	—	4	4
4	8	5	6	—	4	4	2	2	3	—	5
5	12	9	10	4	—	5	4	4	4	4	—

Örnek 1: 1 ile 5 arasındaki en kısa uzaklık D tablosunda 12 olarak belirtilmiştir. Rota S tablosundan bulunur. $S(i, j) = j$ olduğunda tam bağlantı vardır. $S(1, 5) = 4$ 'tür. O halde 1 ile 5 arasına 4 yazılır. $1 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

En baştan itibaren sayılar ikili olarak kontrol edilir. $S(1, 4) = 2$

O halde 1 ile 4 arasına da 2 yazılacaktır. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

Yine en baştan kontrol edilirse; $S(1, 2) = 2$, $S(2, 4) = 4$ ve $S(4, 5) = 5$ 'tir. O halde rota tamamlanmıştır (Taha, 2000:231).

Örnek 2 : 3.düğüm noktası ile 2. düğüm noktası arasındaki en kısa uzaklık bulunmak istendiğinde. $S(3, 2) = 4$ 'tür.

O halde 3 ile 2 arasına 4 yazılır. $3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$

Bu rota ikili olarak kontrol edildiğinde, $S(3, 4) = 4$ ve $S(4, 2) = 2$ olduğu görülür o halde rota tamamlanmıştır. $D(3, 2) = 11$ olduğundan rota $3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ ve uzaklık 11 birimdir.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

En kısa yol problemlerinde dalların ağırlıkları (süre, uzunluk ve maliyet) dikkate alınarak genellikle en kısa süreli yol (en hızlı yol), en kısa yol veya en ucuz yol bulunmaya çalışılmaktadır. Gerçek hayat problemlerinde ise en hızlı, en kısa veya en ucuz yol bulunmak istendiğinde yolların tek yada çift yönlü oluşu, trafik yoğunluğu, hareket saati, trafik ışıkları, dönüş yasakları, yolun güvenliği, yolun eğimi, viraj yarıçapı, genişliği, düşey gabarisi ve taşıma kapasitesi gibi durumların dikkate alınması gereklidir. Özellikle ağır ve geniş araçlar için bu durumlar daha da belirleyici olmaktadır. Bundan dolayı son yıllardaki çalışmaların bu alanda yapıldığı gözlemlenmektedir.

Hall (1986); trafik yoğunluğu, aracın varış zamanı gibi seyahat süresinin zamana göre farklılık gösterdiği durumları dikkate alarak en kısa yolu bulan bir çalışma yapmıştır.

Drezner ve Wesolowsky (1997); yolların tek yönlü veya çift yönlü oluşuna göre seyahat sürelerindeki değişimi dikkate alarak en kısa yolu bulan bir çalışma yapmıştır.

Chen ve Tang (1998); tren, otobüs gibi hareket saatleri planlı farklı ulaştırma vasıtalarının kullanıldığı durumlarda en kısa yolu bulan; Chen ve Yang (2003); yollar üzerindeki trafik ışıklarını dikkate alarak en kısa yolu bulan ve 2004 yılında; yolların ulaşım için elverişli olduğu zaman aralıklarını dikkate alarak en kısa yolu bulan bir çalışma yapmıştır.

Ray (2007); ağır ve geniş araçlar için yolun genişliğini, düşey gabarisini ve taşıma kapasitesini dikkate alarak en kısa yolu bulan konuma dayalı web tabanlı bir KDS önermiştir.

Huang ve Pan (2007); şebeke üzerinde meydana gelen kazalara en kısa sürede müdahalede bulunmak için trafik akışını simüle ederek CBS'den faydalanan bir çalışma; Thomas ve White (2007); mobil iletişim

teknolojisinden istifade ederek ulaşım ağındaki trafik yoğunluğunda gerçek zamanlı olarak meydana gelen değişikliklere göre en kısa yolu bulan bir çalışma yapmıştır.

Gutierrez ve Medaglia (2008); CBS yardımıyla yollar üzerindeki dönüş yasaklarını dikkate alarak en kısa yolu bulan bir algoritma ve KDS önermiştir.

Panahi ve Delavar (2009); ambulanslar için CBS yardımıyla trafik yoğunluğundaki değişimi dikkate alarak en kısa yolu bulan dinamik bir çalışma yapmıştır.

Jigang ve diğerleri (2011); tehlikeli madde taşıyan araçlar için yolların güvenlik durumunu dikkate alarak zaman bağımlı en kısa yolu bulan bir algoritma önermiştir.

Bu çalışmalar incelendiğinde yolun eğimi ve viraj yarıçapının dikkate alınmadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmada en hızlı- en iyi güzergâhın bulunmasında yolun eğimini, viraj yarıçapını, genişliğini, düşey gabarisini ve taşıma kapasitesini dikkate alan bir matematiksel model önerilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

1. GENEL

Gerek günlük yaşamda gerekse çeşitli hizmet, yönetim ve karar organlarında ihtiyaç duyulan bilgilerin içerisinde konuma bağlı bilgiler önemli bir yer tutmaktadır. Harita, plan gibi ortamlar üzerinde yol, nehir, bina vb. dünya varlıklarına ait grafik gösterimler ile çeşitli basılı materyal ve formlar üzerinde yer alan nüfus sayımı, hava sıcaklığı, seçim oy yüzdeleri vb. varlık ve olaylar hakkındaki rakamlar ve yazılar, konuma bağlı olduklarından coğrafi bilgi niteliğindedir.

Coğrafi bilginin bilgisayar teknolojisi ile tanışması 1960'lı yıllara dayanır. Coğrafi bilgiler başlangıçta, grafik ve grafik olmayan şeklinde ayrık olarak ele alınmış; grafik bilgiler için bilgisayar destekli tasarım sistemleri kullanılırken; grafik olmayan bilgiler için veritabanı yönetim sistemlerinden yararlanılmıştır (Altan ve diğ.,1991). Bu tür sistemler, coğrafi bilgilerin toplanmasında, depolanmasında, işlenmesinde ve sunulmasında tatmin edici sonuçlar verirken; bu bilgilerin analizinde yetersiz kaldıkları, dolayısıyla kullanıcıların konuma dayalı kararlar vermelerine yardımcı olma amacını tam olarak karşılamadıkları gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak grafik ve grafik olmayan verileri ve bu veriler arasındaki mantıksal ve topolojik ilişkileri bütünlük olarak işleyebilme ve böylece konuma dayalı analizleri gerçekleştirme olanağına sahip Coğrafi Bilgi Sistemi teknolojisi geliştirilmiştir (Taştan ve diğ.,1994).

2. CBS'NİN TANIMI VE BİLEŞENLERİ

Star ve Estes (1990)'e göre CBS, coğrafi veya konumsal koordinatlar ile temsil edilen verilerle çalışacak şekilde tasarlanmış bir bilgi sistemidir. ESRI (1992)'ye göre, coğrafyaya ilişkin bilgilerin her türlü şeklinin etkin bir

şekilde toplanması, depolanması, güncelleştirilmesi, işlenmesi, analizi ve görüntülenmesi amacıyla tasarlanmış, bilgisayar donanımı, yazılım, coğrafi veri ve personelin düzenli bir şekilde bir araya getirilmiş halidir. Montgomery ve Schuch (1993) ise CBS'yi karmaşık planlama ve yönetim problemlerini çözmek için, konuma ilişkin verilerin toplanması, yönetilmesi, işlenmesi, analizi, modellenmesini ve görüntülenmesini desteklemek amacıyla tasarlanmış bilgisayar donanımı, yazılımı ve yordamlar sistemi olarak tanımlamıştır. Yomralıoğlu (2002:49)'na göre ise CBS, konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir.

CBS'nin temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için CBS'nin bileşenleri olarak isimlendirilen donanım, yazılım, veri, personel ve yöntemlerin bir arada olması gerekmektedir (Yomralıoğlu, 2002:55). CBS'nin donanım bileşenini; yazılımların üzerinde çalıştırıldığı bilgisayarlar, veri toplamada kullanılan grafik veri giriş birimleri ve bilgilerin sunulmasında kullanılan veri sunuş birimleri olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür. Yazılım bileşeni; coğrafi bilgileri depolamak, analiz etmek ve görüntülemek gibi ihtiyaç ve fonksiyonları kullanıcıya sağlamak üzere, yüksek düzeyli programlama dilleriyle gerçekleştirilen algoritmalar (Yomralıoğlu, 2002:56). Veri bileşeni, toplanmasının uzun zaman alması ve oldukça yüksek maliyetler gerektirmesi bakımından en önemli bileşendir. CBS'de veriler; konum verisi, öznitelik verisi, topolojik veri ve meta veri (veri hakkında bilgi) olarak sınıflandırılabilir. CBS personeli ise sistemi tasarlayan ve yaşatan teknik uzmanlardan, günlük işlerini gerçekleştirmek için CBS'yi kullanan son kullanıcılara kadar olan tüm kullanıcıları içermektedir.

3. COĞRAFİ VERİ VE BİLGİ

CBS'ye ilişkin uygulama ve projelerin gerçekleştirilmesi ancak uygun yapıda verilerin mevcut olmasına bağlıdır. Bu nedenle CBS'de veri önemli bir unsurdur. Veriler grafik ve grafik olmayan nitelikte olup, farklı kaynaklardan

değişik yöntemlerle toplanarak konumsal bilgi analizlerinde kullanılacak hale dönüştürülür (Yomralıoğlu, 2002:61).

Doğada belli bir konumu ve biçimi olan somut veya soyut nesneler coğrafi varlıktır. Coğrafi veri, bir coğrafi varlığa ilişkin bilgidir. Coğrafi varlık kapsamına, belli bir konumu ve biçimi olan somut ya da soyut, doğal ya da insan yapısı bütün nesneler girer. Bir bina, bir yol, ağaçlık alan veya nokta yüksekliği hep birer coğrafi varlıktır.

Matematiksel modeller için girdi olabilecek yükseklik, uzaklık, nüfus, kirlilik oranı, bölgesel suç oranı gibi veriler günümüzde coğrafi veriler olarak CBS’de sunulabilir ve depolanabilir. CBS bu bilgileri belli bir düzene göre depolamakla beraber bu bilgilere ulaşımı da kolaylaştırmaktadır.

CBS’deki detaylar için toplanacak veriler konumsal, özniteliksel ve topolojik veriler olarak üç grupta ele alınabilir. Konumsal ve topolojik veriler grafik, özniteliksel veriler ise grafik olmayan veriler olarak isimlendirilir.

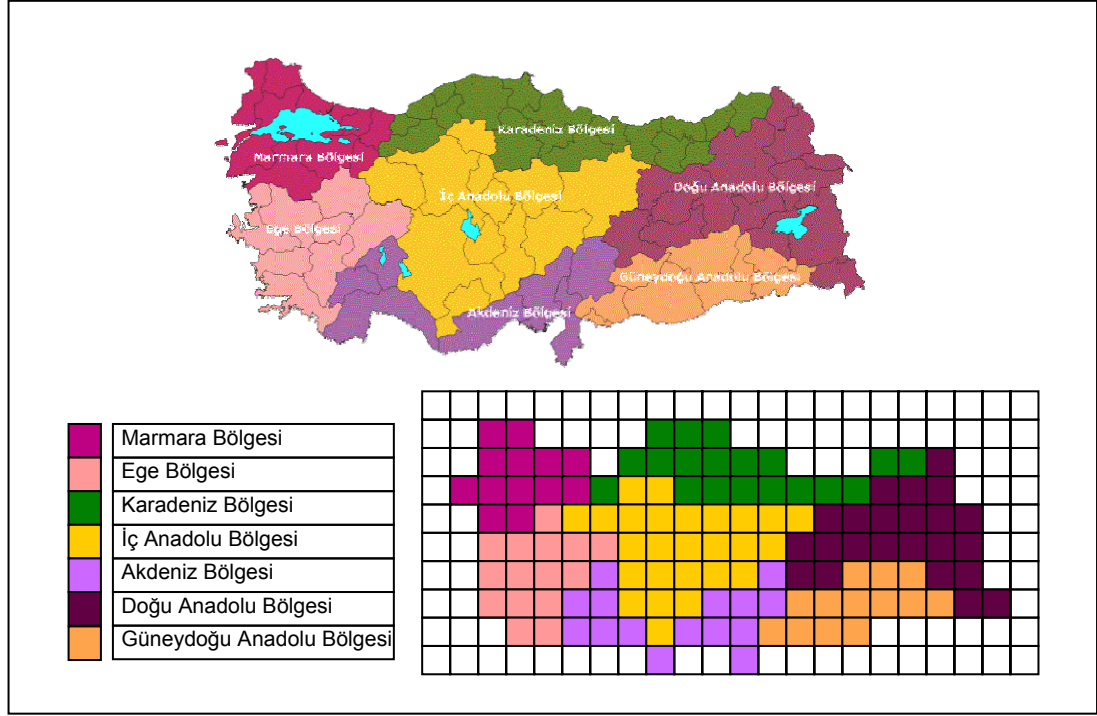
a. Konumsal Veriler

Konumsal veriler, coğrafi varlığın belli bir referans sistemine göre yerini ve biçimini belirten koordinat değeridir. Konum ve biçim bilgisi iki boyutlu olabileceği gibi üç boyutlu da olabilir. Konumsal veriler, bilgisayar belleğinde ve depolama birimlerinde raster veya vektör formda veya Sayısal Yükseklik Modeli yapılarında temsil edilirler.

(1) Raster Veri Modelleri

Raster veri modeli coğrafi özelliklerin çekilmiş fotoğrafı gibidir. Dijital fotoğraf makinesinde çekilmiş böyle bir fotoğraf yaklaştırıldığında çok küçük boyutlarda, farklı renklere sahip kare biçimindeki kutucukların bir araya gelmesiyle bütün görüntünün olduğu görülebilir. Fotoğraf özelliğine sahip bir gösterim şekli olan raster veri modelinde, herhangi bir görüntü bütünü

piksel veya hücre adı verilen seri haldeki küçük boyutlu kutulardan yada diğer bir deyişle gridlerden meydana gelir (Yomralıoğlu, 2002:83). Her hücre temsil ettiği bölgenin özelliğine bağlı olarak tek bir değer taşır.

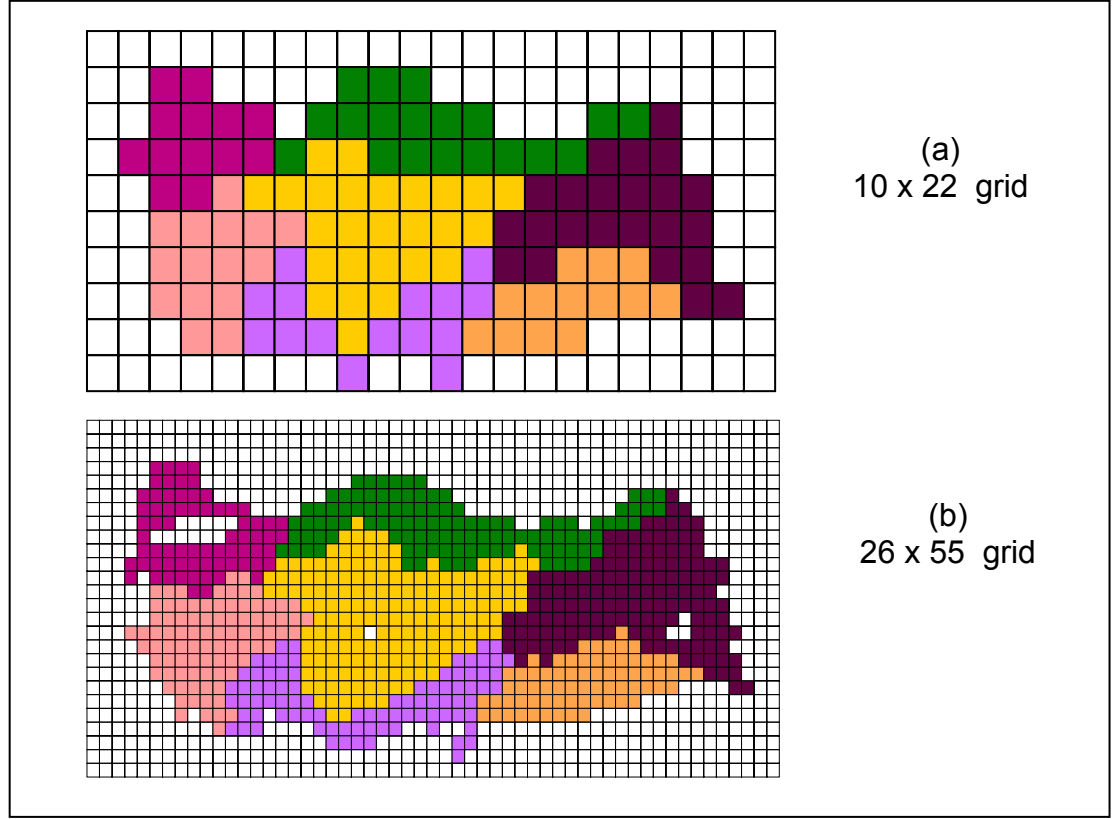


Şekil-12: Raster Gösterim

Şekil-12’de Türkiye coğrafi bölgelerinin, renk bilgisi ile kodlanmış raster gösterimi görülmektedir. Her renk kodu ayrı bir coğrafi bölgeyi temsil etmektedir.

Raster gösterimde farklı özellik gösteren coğrafi varlıklar arasında aynı hücrede (piksel) bir sınır olmayıp sürekli bir gösterim söz konusudur. Farklı özelliklerin ayırımı komşu hücrelerin farklı renk değerleriyle olur. Raster veri modellerinde hücrelerin boyutu, gerçek yeryüzünün gösterilmesindeki hassasiyeti ve doğruluğu etkilemektedir. Bir hücrede sadece bir tek veri bulunabileceği için gerçek dünyada aynı hücre içinde iki adet veri olduğunda baskın olanı değerlendirilir. Yomralıoğlu (2002:83), raster verilerle gösterilen coğrafi varlığın gerçeği yansıtırma gücünün, başka bir deyişle hassasiyetinin, piksel boyutuna yani hücre büyüklüğüne bağlı olduğunu belirtmiştir. Hücre boyutu ne kadar küçük olursa bir hücre içine

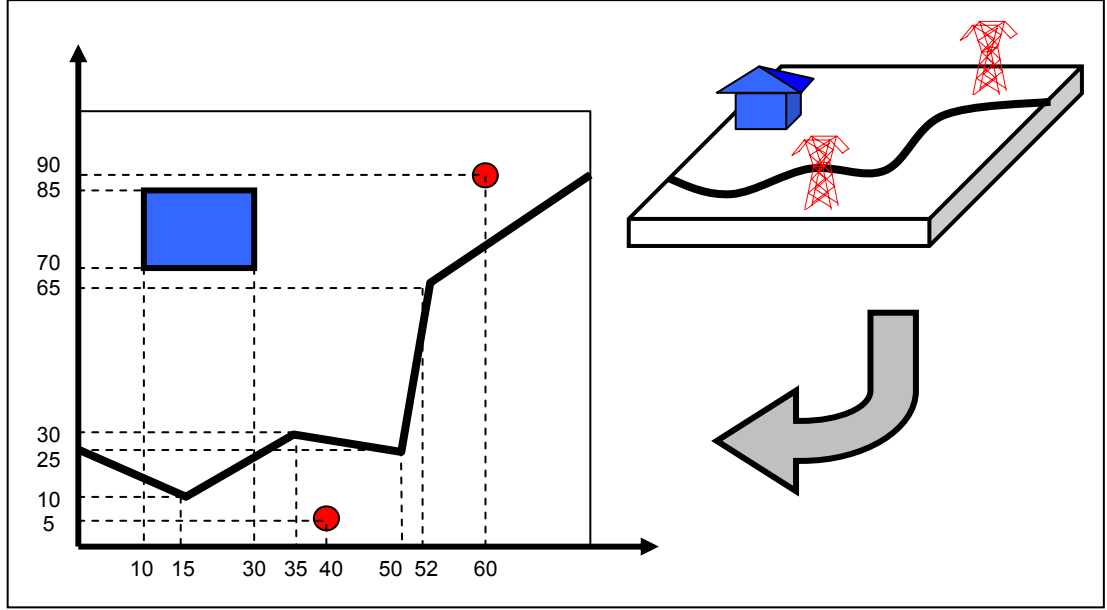
birden fazla veri tipinin girme olasılığı azalacak ve gerçek dünyayı temsil etme doğruluğu artacaktır. Şekil-13'de (b)'deki hücre büyüklüğü (a)'dakinden küçük olduğu için gerçeği daha doğru temsil edebilmektedir.



Şekil-13: Hücre Büyüklüğüne Bağlı Olarak Raster Görünüm

(2) Vektör Veri Modelleri

Vektör veri modelleri, coğrafi varlıkları noktalar, çizgiler yada alanlar şeklinde temsil eder. Gerçek dünyadaki coğrafi varlıklar incelendiğinde bu üç temel geometrik yapıda oldukları görülür. Örneğin; ağaç, elektrik direği, kavşak noktası vb. coğrafi detaylar nokta ile; akarsu, yol, su şebekesi, demiryolu vb. coğrafi detaylar çizgi ile; parsel, göl, orman vb. coğrafi detaylar alan ile ifade edilirler.



Şekil-14: Vektörel Gösterim

Coğrafi varlıkların gerçek modeldeki konumu, referans tabanlı herhangi bir koordinat sisteminde (x,y) koordinat değerleriyle gösterilir. Noktalar tek bir koordinat değeriyle temsil edilirken çizgi ve alanlar sıralı koordinat serileriyle temsil edilirler. Ancak alanları temsil eden koordinat serisinde başlangıç ve bitiş noktasının koordinatı aynı olup, bu özelliğiyle çizgilerden ayrılmaktadırlar (Yomralıoğlu, 2002:69). Örneğin Şekil-14’de elektrik direkleri (40,5) ve (60,90) koordinat değerlerinde birer nokta olarak, karayolu (0,25)-(15,10)-(35,30)-(50,25)-(52,65) koordinat serisiyle bir çizgi olarak, bina ise (10,70)-(10,85)-(30,85)-(30,70)-(10,70) koordinat serisiyle bir alan olarak temsil edilir.

(3) Sayısal Yükseklik Modelleri

Yer yüzeyinin şekli, hava sıcaklığı, yer altı suyu derinliği gibi kavramlar kesikli bilgidен ziyade sürekli bilgi içerirler. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde bu kavramlardan yeryüzünün şeklini ifade eden veriler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür yüzeyleri modelleyebilmek için sonsuz sayıda veriye ihtiyaç vardır. Dolayısıyla sürekli bilgi içeren yüzeyleri kesikli verilerle ifade edebilmek için birçok yöntem bulunmuştur. Bu yöntemlerden biri de

yeryüzünün üç boyutlu olarak tanımlanmasını sağlayan Sayısal Yükseklik Modelidir (SYM).

SYM genelde yeryüzünün dijital olarak temsil edilmesi olarak tanımlansa da SYM, özellikle ve sadece yeryüzünün yükseklik verilerinin belirli bir referans sistemine ve düzene göre sunulmasıdır. Sayısal Arazi Modeli (SAM) ise fiziksel yeryüzünün tüm yapay ve doğal ayrıntılarının sayısal gösterimidir (Çiçek, 1990).

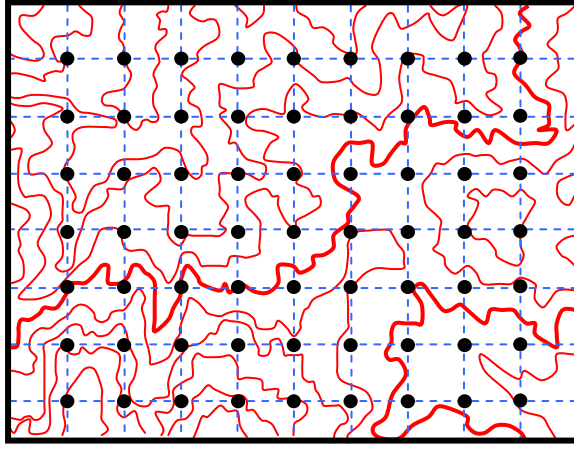
Maraş (1993:4), SYM'yi, SAM'den daha dar kapsamlı olarak fiziksel yeryüzünün sınırlı bir bölümünden örnekleme yolu ile seçilmiş bir grup veriye uygun bir enterpolasyon fonksiyonunun uygulanması ve ilgili yüzeye en uygun yaklaşmanın sağlanarak arazinin topoğrafik yapısının sayısal olarak gösterimi olarak tanımlamıştır.

Yomralıoğlu (2002:231), gerek yükseklik analizleri ve gerekse de üçüncü boyuta bağlı diğer analiz ve işlemlerin klasik haritalar üzerinden yapılmasının ve verim alınmasının oldukça güç olduğundan söz etmiştir. Bu sorunu giderebilmek ve kullanıcıların araziye üçüncü boyuttan bakabilmelerini sağlayacak ve üçüncü boyutta analiz yapmasını kolaylaştıracak şekilde (x,y,z) koordinatlarıyla üç boyutlu olarak tanımlanan coğrafik yüzeylerin bilgisayar ortamında oluşturulmasını SYM olarak tanımlamıştır.

Bunun yanında günümüzde, radar ve laser teknolojileri ile havadan veya uzaydan yeryüzüne ait verilerin doğrudan toplanabilmesi yöntemlerindeki gelişmeler nedeniyle yeryüzünü, üzerinde bulunan doğal ve yapay nesneleri de içerecek şekilde temsil edebilen Sayısal Yüzey Modeli kavramı ortaya çıkmıştır. Bu model ile dünya yüzeyi binalar ve ağaçlar gibi belirli bir yüksekliği olan nesneler de model içinde temsil edilebilmektedir.

(a) SYM' nin Yapısı

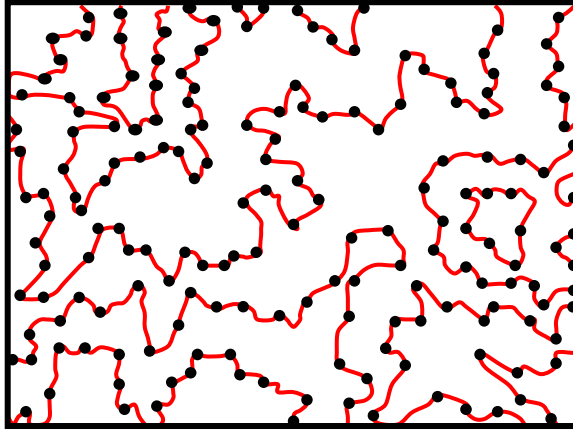
Yeryüzünün yeterli hassasiyette temsil edilebilmesi için yeterli sayıda koordinatları bilinen noktalara ihtiyaç vardır. Daha sonra bu noktalara ait yükseklik bilgileri elde edilir ve depolanır. Genel olarak kullanılan dört değişik yükseklik verisi toplama ve depolama yöntemi vardır. Yükseklik verilerinin toplanmasında veya depolanması için kullanılan birinci yöntemde veriler grid yapısındadır.



Şekil-15: Grid Yapısında Sayısal Yükseklik Verisi

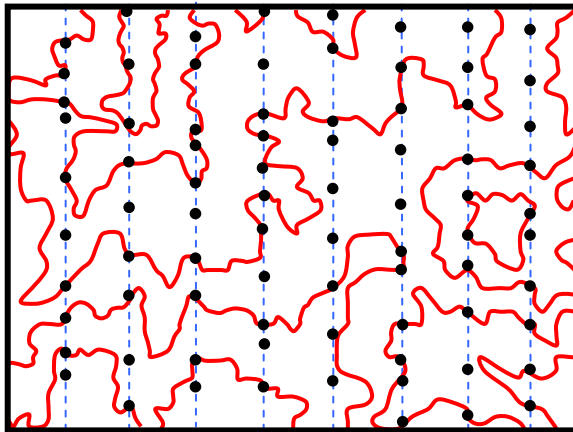
Bu yöntemde model eşit aralıklı grid çizgilerinin kesişim noktalarında yükseklik değerlerinin bilgisayar ortamında temsili ile oluşur (Şekil-15). Veriler toplanırken veya depolanırken başlangıç noktasının yatay koordinatları, grid aralığı, satır ve sütunların sayıları ve bu verilerin işleme sırası gibi bazı ön bilgiler verildikten sonra sadece yükseklik değerlerinin dikkate alınması hem zaman hem de depolama yeri açısından büyük kazanç sağlamaktadır (Maraş, 1993:5).

İkinci yöntemde SYM, eş yükseklik eğrilerinin kırılma ve bükülme noktalarında yükseklik değerlerinin bilgisayar ortamında temsili ile oluşturulur (Şekil-16). Veriler toplanırken veya depolanırken önce eş yükseklik eğrisinin yükseklik değeri, ardından da eğriyi oluşturan noktaların yatay koordinatları belirlenir (Maraş, 1993:6).



Şekil-16: Eş Yükseklik Eğrilerinden Sayısal Yükseklik Verisi Toplama ve Depolama

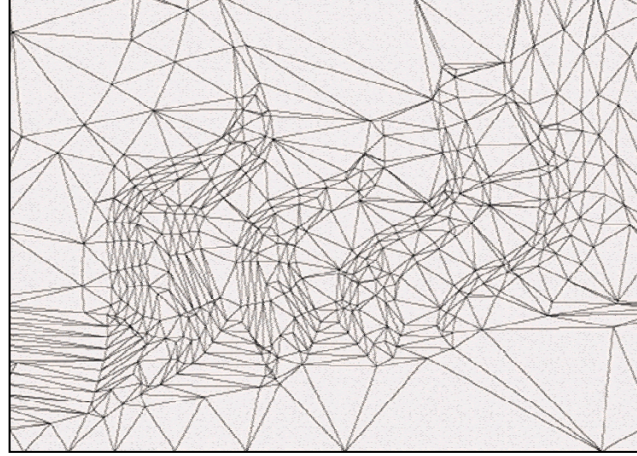
Üçüncü yöntem olan profilleme yönteminde model koordinat eksenlerine paralel aralıklarla seçilen kesitler üzerinde eğim değişimlerini temsil edecek yeterli sayıda noktanın kesit başlangıç noktasına olan uzaklığı ve yükseklik değerinin hesaplanması ile oluşturulur (Şekil-17). Veriler toplanırken ve depolanırken başlangıç noktasının koordinatları, kesit aralıkları ve bu verilerin işleme sırası gibi bazı ön bilgiler verildikten sonra kesit başlangıç belirteci, başlangıca olan uzaklık ve yükseklik değerleri belirlenir (Maraş, 1993:6).



Şekil-17: Profilleme ile Sayısal Yükseklik Verisi Toplama ve Depolama

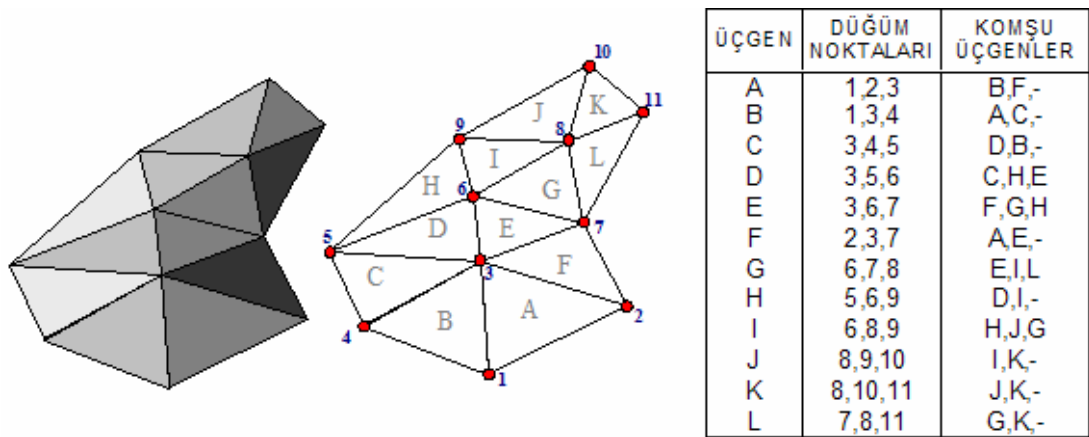
Dördüncü yöntem düzensiz üçgenler ağı (Triangulated Irregular Network) yöntemidir. Bu yöntem, bir doğru üzerinde bulunmayan üç noktadan bir düzlemin geçmesi ve bu noktaların oluşturduğu üçgenin

topografyaya en uygun şekilde yaklaştırılması teorisinden yararlanmaktadır (Maraş, 1993:6). Bu veri modelinde yüzey, birbirine komşu bu üçgenlerin köşe noktaları ile yükseklikleri ve her üçgenin komşularının bilgisayarda temsil edilmesiyle oluşturulur (Şekil-18).



Şekil-18: Düzensiz Üçgenler Ağı

Bu modelde üçgenler, üç düğüm noktası ve üç ayrı kenardan ibaret olup, her bir üçgen bağımsız bir kimlik numarasıyla kodlanarak, üç düğüm noktası ve komşusu olan iki ya da üç üçgenle sabitlenip tanımlanır (Şekil-19). Üçgenler kendi sınırlarındaki düğüm noktalarını 1-2, 2-3 ve 3-1 şeklinde takip ederek kapanırlar. Her bir düğüm noktasının (x,y) koordinat değeri ile z değerlerinin bilinmesi gerekir.



Şekil-19: Düzensiz Üçgenler Ağı ile Sayısal Yükseklik Verisi Toplama ve Depolama

(b) SYM'nin Uygulama Alanları

İlk olarak 1950 yıllarında karayollarına yönelik olarak en-boy kesitlerinin hesap ve çizimlerinde kullanılan SYM, günümüzde bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, haritacılık, tıp, mimarlık, arkeoloji, hidroloji, inşaat, madencilik, ziraat, morfoloji ve geniş uygulama alanı bulunan askeri alanlarda da kullanılır hale gelmiştir (Yomralıoğlu, 2002:232). Maraş (1993:41) ise SYM'nin yol ağı planlamasında, gözetleme, hedef bulma, komuta kontrol, muhabere ve istihbarat, eğitim ve uçuş simülasyonu gibi askeri uygulama alanlarında da kullanılabileceğini belirtmiştir.

SYM yeryüzünün üçüncü boyutu olan yükseklik boyutunu da gösterebilme yeteneği sayesinde, bir çok farklı kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan bilgi için değişik analiz imkanları da sağlamaktadır. Bu analizlerden en yaygın olanları yükseklik tahmini, kesit çıkarma, üç boyutlu görünüm, görünürlük analizi, görüş analizi, hacim hesabı ve eğim hesabı olarak sıralanabilir.

b. Öznitelik Verileri

Öznitelik verileri ise konuma bağlı olmayan, doğrudan detaya bağlı ve detayı tanıtıcı grafik olmayan verilerdir. Örneğin; nokta şeklinde grafik olarak gösterilen bir detay gerçekte yada harita üzerinde bir elektrik direğini gösteriyor ise, bu direğin; cinsi, yüksekliği, tesis tarihi gibi özelliklerin her biri grafik olmayan bilgidir. Yine aynı şekilde grafik olarak bir çizginin gerçekte herhangi bir yolu gösterdiği düşünülürse; yolun cinsi, yapım tarihi, şerit sayısı, genişliği gibi bilgiler de öznitelik bilgileridir. Öznitelik bilgileri genellikle yazılı olarak tablo dokümanları halinde toplanan verilerden oluşurlar (Yomralıoğlu, 2002:66).

c. Topolojik Veriler

Topolojik veriler ise detaylar arasında ölçülebilir olmayan uzaysal ilişkileri belirler. Komşuluk, çakışıklık, içerme, bağlantı vb. ilişkileri ifade eder.

CBS’de topolojik bilginin tutulmasının esas amacı konumsal analiz olanaklarının artırılmasıdır. Örneğin A noktası ile B noktası arasında mevcut yol alternatiflerinden hangilerinin Ankara’dan geçtiği bilgisi topolojik veriler sayesinde elde edilebilir.

Topolojik özelliklerin de depolanabildiği ve kullanılabildiği veri tabanlarında, bir çizgi detayın, hangi çizgi detaylara bağlı olduğu, hangi nokta detaylarda hangi çizgi detayların birleştiği, çizgi detayların sağında ve solunda hangi alan detayların bulunduğu ve alan detayların hangi çizgi detaylar ile çevrelendiği bilgileri bulunmakta ve istendiğinde kolayca ve hızlı bir şekilde sorgulanabilmektedir.

4. CBS KULLANILARAK VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Daha önceki bölümlerde CBS’nin coğrafi verileri sınıflandırarak depolayabildiğini ve bu bilgilerden yola çıkarak bazı analizler sonucunda daha farklı bilgilere de ulaşabildiğinden bahsedilmiştir. Yomralıoğlu (2002:195)’na göre CBS’nin bir karar verme aracı olarak, çeşitli uygulama alanları tarafından tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri de grafik ve grafik olmayan bilgilerin bir bütün halinde çok yönlü olarak analizine imkan vermesidir.

Çalışmada, kullanılacak verilerin CBS’den faydalanılarak nasıl hesaplandığı aşağıda açıklanmıştır.

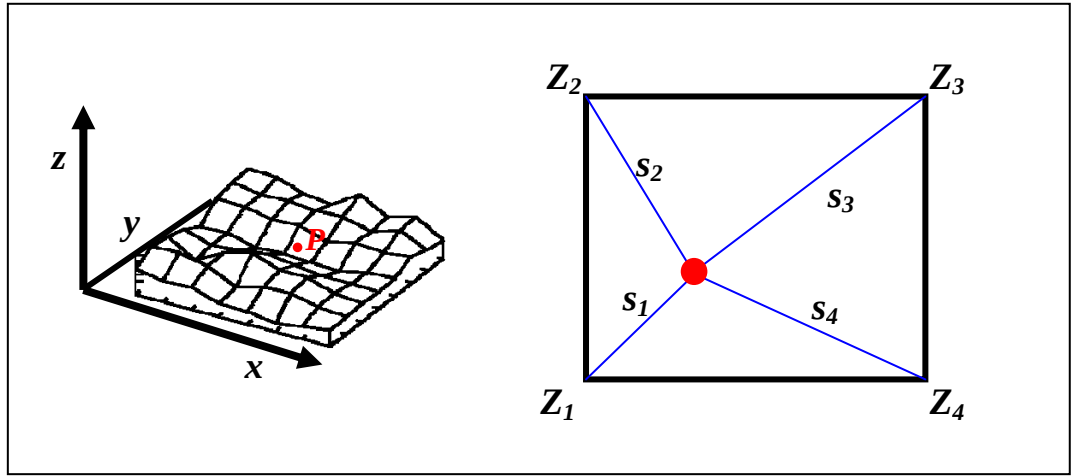
a. Eğim ve Yükseklik Tayini

Eğim, düşey olarak gidilen mesafenin yatay mesafeye oranıdır. CBS’de eğimi belirlemek için gerekli yatay mesafe iki düğümün/verteksin X,Y koordinatları kullanılarak rahatça bulunabilir. Düğümler arasındaki ara koordinat dizileri verteks olarak adlandırılmaktadır. Düşey mesafenin tespiti için düğümlerin/vertekslerin yükseklik değerlerinin bulunması gereklidir.

Düğüm/vertekslerin yükseklik değerleri arasındaki fark düşey mesafeyi verir.

Kare grid yapısındaki SYM'den, koordinatları ile belirli herhangi bir noktada yükseklik değerinin bulunması için değişik enterpolasyon teknikleri kullanılmaktadır. Çünkü SYM, düzenli grid yapısında temsil edildiyse, yükseklik bilgileri sadece grid köşelerinde mevcuttur.

Bu tekniklerden biri olan ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon, yüksekliği belirlenecek noktanın, herhangi bir grid karesinin kenarlarında değil de içinde kaldığında tercih edilecek bir yöntemdir (Maraş, 1993:13). Bu yöntemde, noktanın yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılacak dayanak noktalarına uzaklıklarına göre ağırlıklar verilmektedir. Dayanak noktaları noktanın içinde bulunduğu grid karesinin köşe noktalarıdır.



Şekil-20: Ağırlıklı ortalama ile yükseklik belirleme

Şekil-20'deki P noktasının yüksekliğini (Z_P) bulmak için, noktanın içinde bulunduğu grid karesinin her bir kenarındaki yükseklik değeri (Z_i) ve bu kenarlardan P noktasına olan uzaklık (S_i) kullanılır. Bu maksatla ilk olarak her köşe noktasının P noktasına olan uzaklığı (3.1)'e göre bulunur. Daha sonra her köşe noktasının ağırlık değeri (W_i), (3.2.)'e göre hesaplanır. (3.2)'deki k sayısının değeri arttıkça P noktasına en yakın köşe noktasının

yükseklik değerinin etkisi artmakta uzak olanınki ise azalmaktadır. Son olarak P noktasının yükseklik değeri ise (3.3)'deki eşitlikten bulunur.

$$S_i = \sqrt{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2} \quad (3.1)$$

$$W_i = (S_i)^{-k} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (3.2)$$

$$Z_p = \frac{\sum_i W_i Z_i}{\sum_i W_i} \quad (3.3)$$

Düğüm/vertekslerin yükseklik değerleri bulunduğundan sonra eğim yüzde cinsinden aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$GR_{(p+1,p)} = \frac{Z_{p+1} - Z_p}{\sqrt{(x_{p+1} - x_p)^2 + (y_{p+1} - y_p)^2}} 100 \quad (3.4)$$

b. Viraj Açısının Tayini

(1.16) numaralı eşitlikteki viraj açısı (DC), CBS kullanılarak aşağıdaki eşitlikten hesap edilebilir. Viraj açısı, kesişen iki dal arasındaki açığı (α) bütünleyen açıdır. CBS'de bu açı, dalların kuzey istikametine göre olan açıların farkı bulunarak elde edilebilir.

$$DC = (180 - \alpha) = D_{(p,p+1)} - D_{(p+1,p+2)} \quad (3.5)$$

$D_{(p,p+1)}$ = p düğüm/verteksi ile p+1 düğüm/verteksi arasındaki dalın kuzey istikameti ile yaptığı açı.

c. Yol Genişliği, Düşey Gabari ve Taşıma Kapasitesinin Tayini

CBS öznitelik verilerinden, yol genişliği, düşey gabari ve taşıma kapasitesi bilgileri doğrudan elde edilebilir. Birden çok şeritli yollarda yol genişliği, tek şerit genişliği olarak alınmıştır. Düşey gabari, yola düşey istikametteki engel yüksekliğidir. Aracın ve yolun taşıma kapasitesi için askeri yük sınıflandırma sistemi (NATO STANAG 2021) kullanılmıştır. Yolun taşıma kapasitesi, yol üzerinde askeri yük sınıflandırma sistemine göre en düşük kapasiteye sahip köprü sınıfıdır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

AĞIR ARAÇ ULAŞTIRMASINDA COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNİ KULLANARAK EN HIZLI/ EN KISA GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ

1. PROBLEMİN TANIMI

Araçlar için en hızlı yol hesaplamalarında intikal süresi kullanılan en önemli unsurdur. İntikal sürelerinin hesaplanmasında genellikle trafik yoğunluğu ve sabit hızlar kullanılmakta, aracın performansı ve yolun topoğrafik özellikleri dikkate alınmamaktadır. Halbuki eğimli yollarda ağır araçların hızı, motor gücü ve yüklü ağırlıklarına göre önemli değişiklikler göstermektedir. Bu sebepten dolayı ağır araçlar için en hızlı yol hesaplamalarında yolun eğimi ve virajlar dikkate alınarak intikal sürelerinin hesaplanması gerekir.

Ayrıca aracın tırmanma ve dönme kabiliyeti ile genişlik, yükseklik ve yüklü ağırlığına göre geçemeyeceği yol kesimleri de tespit edilmelidir. Bunu yaparken iki düğüm arasındaki eğimi ortalama bir değer kabul etmek hatalı sonuç verebilir. Örneğin tırmanma kabiliyeti % 30 olan bir araç için en hızlı yol belirlenirken iki düğüm arasındaki yolun ortalama % 10 eğime sahip olduğu belirlendiğinde aracın bu yolu kat edebileceği düşünülebilir. Fakat bu yolun herhangi bir kesiminde % 30'dan fazla bir eğimin varlığı durumunda aracın bu yoldan gidemeyeceği açıktır. Bu yüzden yol bilgilerinin sıklığı çok önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hassasiyeti sağlamak için de CBS'yi kullanmak kaçınılmaz hale gelmektedir.

Bu çalışmada, CBS yardımıyla yolun topoğrafik özelliklerini ve aracın performansını dikkate alarak, ağır araçların intikal süreleri hesaplanmış ve en hızlı güzergâhı belirlemede kullanılacak bir model ve KDS önerilmiştir.

2. MODEL

a. Modelin Varsayımları

✓ Hesaplamalarda motor gücünün verilen en yüksek değerinde sabit olduğu varsayılmıştır.

✓ Virajlara giriş ve çıkışlardaki yavaşlama ve hızlanma hesaba katılmamıştır.

✓ Viraj hızı seçildiğinde viraj boyunca hız sabit kabul edilmiştir.

✓ % 4'ten daha büyük iniş eğimli yollarda aracın aynı eğimi çıkarken kullandığı hızla seyahat ettiği varsayılmıştır.

✓ Yollar üzerindeki trafik yoğunluğunun hıza etkisi hesaba katılmamıştır.

✓ Havanın rüzgarsız olduğu ve yağış olmadığı varsayılmıştır.

✓ Araç hızının en düşük değeri 1,45 m/s kabul edilmiştir.

✓ Düşümlerde aracın en düşük hızda geçtiği varsayılmıştır.

✓ İniş eğimli yollarda yavaşlama ivmesi $3,4 \text{ m/s}^2$ olarak kabul edilmiştir.

✓ Transmisyon verimi 0,9 olarak alınmıştır.

✓ Aerodinamik direnç katsayısı 0,8 olarak alınmıştır.

✓ Yanal tutunma katsayısı 0,14 olarak alınmıştır.

✓ Vertekslerdeki kırılma açısının 30 dereceyi geçtiği durumlarda aracın en düşük hızla geçtiği varsayılmıştır.

b. Modelde Kullanılan Notasyon ve İndisler

t_{ij} = Aracın (i,j) yolunu kat etme süresi (dakika).

d_{ij} = (i,j) yolunun mesafesi (m).

WR_{ij} = (i,j) yolunun en küçük şerit genişliği (m).

WV = Aracın genişliği (m).

HR_{ij} = (i,j) yolunun en küçük düşey gabarisi (m).

HV = Aracın yüksekliği (m).

LR_{ij} = (i,j) yolunun en küçük taşıma kapasitesi değeri.

LV = Aracın askeri yük sınıfı.

$$\begin{aligned}
GR_{ij} &= (i,j) \text{ yolunun bölünmüş alt kısımlarının en büyük eğimi (\%)}. \\
GV &= \text{Aracın maksimum tırmanma kabiliyeti (\%)}. \\
RR_{ij} &= (i,j) \text{ yolunun bölünmüş alt kısımlarının en küçük viraj yarıçapı (m)}. \\
RV &= \text{Aracın dönme kabiliyeti (m)}. \\
X_{ij} &= \begin{cases} 1 & (i,j) \text{ yolu seçilirse} \\ 0 & (i,j) \text{ yolu seçilmezse} \end{cases}
\end{aligned}$$

Yolun eğimini, genişliğini, düşey gabarisini, taşıma kapasitesini ve viraj yarıçapını dikkate alarak ulaşılmak istenen noktaya en hızlı ulaşımı sağlayan, en hızlı güzergâh modeli aşağıdadır:

$$\min z = \sum_{(i,j) \in A} t_{ij} X_{ij} \quad (4.1)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} X_{ij} - \sum_{(j,i) \in A} X_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{başlangıç } i \text{ ise} \\ -1 & \text{bitiş } j \text{ ise} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (4.2)$$

$$(WR_{ij} - WV) X_{ij} \geq 0, \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.3)$$

$$(HR_{ij} - HV) X_{ij} \geq 0, \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.4)$$

$$(LR_{ij} - LV) X_{ij} \geq 0, \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.5)$$

$$(GR_{ij} - GV) X_{ij} \leq 0, \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.6)$$

$$(RR_{ij} - RV) X_{ij} \geq 0, \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.7)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.8)$$

(4.1) numaralı kısıt en hızlı yolu vermektedir. (4.2) numaralı kısıt ise klasik en kısa yol problemlerinde olduğu gibi yolların başlangıç-bitiş ve

ara düğümlerini tanımlamaktadır. (4.3) - (4.7) numaralı kısıtlarda, aracın özellikleri yol bilgileri ile karşılaştırıldığında aracın (i,j) yolunu geçip geçemeyeceğine karar verilmektedir. Araç (i,j) yolundan geçemiyorsa X_{ij} "0" değerini almaktadır. Aksi halde X_{ij} amaç fonksiyonuna göre belirlenmektedir. (4.3) numaralı kısıtta yolun genişliği aracın genişliğinden büyük ise geçiş olmakta; aksi halde araç (i,j) yolundan geçememektedir. (4.4) numaralı kısıtta yolun minimum düşey gabarisi araç yüksekliğinden büyükse (i,j) yolundan geçiş olmakta aksi halde geçiş mümkün olamamaktadır. (4.5) numaralı kısıtta yolun minimum taşıma kapasitesi aracın askeri yük sınıfından büyükse geçiş olmakta; aksi halde geçiş olamamaktadır. (4.6) numaralı kısıtta aracın maksimum tırmanma kabiliyeti yolun maksimum eğiminden büyükse (i,j) yolundan geçiş mümkün olmakta, aksi halde olamamaktadır. (4.7) numaralı kısıtta aracın dönme kabiliyeti yoldaki en keskin virajın yarıçapından küçükse geçiş mümkün olmakta, aksi halde olamamaktadır. (4.8) numaralı kısıt ise karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

Önerilen modelde (4.1) numaralı amaç fonksiyonunun yerine aşağıdaki amaç fonksiyonu kullanıldığında ilgili kısıtlar altında en kısa yol bulunur.

$$\min z = \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} X_{ij} \quad (4.9)$$

c. Modeldeki Verilerin Elde Edilmesi

Aşağıdaki tablolarda yer alan tüm yolların öznitelik (genişlik, düşey gabari, kapasite) ve konumsal (X, Y, Z) verileri örnek olarak kullanılmak üzere türetilmiştir. Verilerde iki düğüm arası, vertekslerden istifade ederek SYM verisinin aralığından daha küçük kısımlara (segmentlere) bölünerek gerekli hesaplamalar yapılmalıdır. Aşağıdaki örnekte iki düğüm arası 26 m lik segmentlere bölünmüştür. Modelin çözümü için gerekli bilgilerin hesaplanması aşağıda açıklandığı gibi gerçekleştirilmektedir.

Araca ait bilgiler kullanıcı tarafından belirlenecektir. Modele veri girişini sağlayacak nihai veri matrisi Tablo-15’de gösterildiği gibi oluşturulur.

Tablo-15: Nihai Veri Matrisi

Dal	Genişlik (WR_{ij})(m)	Düşey Gabari (HR_{ij})(m)	Kapasite (LR_{ij})	Eğim (GR_{ij})(%)	Viraj Yarıçapı (RR_{ij})(m)	Mesafe (d_{ij})(m)	Süre (t_{ij})(min)
(1,2)	3	4	50	7	20	130	0,492408
(1,3)	3	5	50	9	10	2600	3,971471
(1,4)	4	-	50	5	100	1260	1,906325
(2,4)	4	4	-	6	60	926	1,585057
(3,4)	4	3,9	-	7	100	260	0,717413

Tablo-15’de 1. sütun, şebekedeki dalları; 2. sütun, ilgili dala ait yol genişliğini; 3. sütun, ilgili dala ait düşey gabariyi; 4. sütun, ilgili dala ait yolun taşıma kapasitesini; 5. sütun, ilgili dala ait en büyük eğimi; 6. sütun ilgili dala ait en küçük viraj yarıçapını; 7. sütun, ilgili dalın uzunluğunu; 8. sütun, ilgili dalın araç tarafından ne kadar sürede kat edildiğini göstermektedir. 2.-4. Sütun verileri öznitelik verilerinden; 5.-8. sütundaki veriler ise, Tablo-16 ve Tablo-17’den elde edilmektedir.

Tablo-16’da bölünmüş alt kısımlara ait yol bilgileri bulunmaktadır. Örneğin Tablo-16’da (1,2) dalı 130 m olup, (1,a1)-(a1,a2)-(a2,a3)-(a3,a4)-(a4,2) şeklinde 5 bölünmüş alt kısımdan oluşmaktadır. Her bölünmüş alt kısma ait mesafe (d_{ij}) değerleri (3.1) numaralı eşitlik kullanılarak elde edilmiştir. Eğim (GR), (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) numaralı eşitlikler kullanılarak elde edilmiştir. Viraj yarıçapı (RR), (3.5) ve (1.16) numaralı eşitlikler kullanılarak elde edilmiştir. Bölünmüş alt kısımlar için hesaplanan eğimlerin en büyüğü; viraj yarıçaplarının en küçüğü o dalın eğim ve viraj yarıçapını belirlemektedir. Yuvarlanma direnci katsayısı (f_r) öznitelik verilerinden elde edilen yolun kaplama durumuna göre Tablo-1’den elde edilmektedir.

Tablo-16: Yol Veri Matrisi

Dal	Bölünmüş Kısım	Mesafe (d_{ij}) (m)	Eğim (GR_{ij}) (%)	Viraj Yarıçapı (RR_{ij})(m)	fr
(1,2)		130	7	20	
	(1,a1)	26	2	100	0,01
	(a1,a2)	26	7	100	0,01
	(a2,a3)	26	-8	20	0,01
	(a3,a4)	26	-2	100	0,01
	(a4,2)	26	-1	100	0,01
(1,3)		2600	9	30	
(1,4)		1260	5	100	
(2,4)		926	6	60	
(3,4)		260	7	100	
	(3,e1)	26	7	500	0,01
	(e1,e2)	26	7	500	0,01
	(e2,e3)	26	7	500	0,01
	(e3,e4)	26	7	500	0,01
	(e4,e5)	26	7	100	0,01
	(e5,e6)	26	5	100	0,01
	(e6,e7)	26	5	500	0,01
	(e7,e8)	26	5	500	0,01
	(e8,e9)	26	5	500	0,01
	(e9,4)	26	5	500	0,01

Tablo-17’de her bir dala ait bölünmüş alt kısımların araç tarafından ne kadar sürede kat edildiği hesaplanmıştır. Tablo-16’da eğim sütununda artı değerli eğimler çıkış eğimli yolu; eksi değerler iniş eğimli yolu tanımlanmaktadır. Çıkış eğimli yolun bölünmüş kısımlarında kat etme süresini hesaplamak için öncelikle (1.11) ve (1.12) numaralı eşitliklerden ulaşılabilecek maksimum hız ($V_{eğim}$) hesaplanır. Sonra aracın ilk hızına göre

(1.13) numaralı eşitlikten ivme (a) hesaplanır. Aracın ilk hızı ve ivmesine göre bölünmüş kısmın sonunda ulaşacağı hız (Vivme) aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$Vivme^2 = Vilk^2 + 2a d_{ij} \quad (m/s) \quad (4.10)$$

Bu hız hesaplanan maksimum hızdan (Veğim) hızlanma neticesinde büyük, yavaşlama neticesinde küçükse aracın bölünmüş kısım sonunda ulaşacağı hız (Vivme) hesaplanan maksimum hız (Veğim) olarak kabul edilir (Vivme=Veğim).

% 4'e kadar iniş eğimli yollarda aracın hız performansı eğimden negatif yönde etkilenmeyeceği için ulaşılabilecek maksimum hız seyahat süresince araç için belirlenen maksimum hız (Vmaks) olarak kabul edilebilir (Veğim=Vmaks). Sonra aracın ilk hızına göre ivme hesaplanır. Yavaşlama ivmesi 3,4 m/s² olarak alınır. Hızlanma ivmesi (1.13) numaralı eşitlikten hesaplanır. Aracın ilk hızı ve ivmesine göre bölünmüş kısmın sonunda ulaşacağı hız bulunur (Vivme). Bu hız hesaplanan maksimum hızdan (Veğim) hızlanma neticesinde büyük, yavaşlama neticesinde küçükse aracın bölünmüş kısmın sonunda ulaşacağı hız (Vivme) hesaplanan maksimum hız olarak kabul edilir (Vivme=Veğim).

% 4'ten daha yüksek iniş eğimli yolun bölünmüş kısımlarında kat etme süresini hesaplamak için aracın aynı eğime sahip çıkış eğimli yoldaki hızla seyahat ettiği varsayılmıştır. Bu maksatla eğim değeri pozitif alınarak (1.11) ve (1.12) numaralı eşitliklerden ulaşılabilecek maksimum hız (Veğim) hesaplanır. Sonra aracın ilk hızına göre ivme hesaplanır. Yavaşlama ivmesi 3,4 m/s² olarak alınır. Hızlanma ivmesi (1.13) numaralı eşitlikten hesaplanır. Aracın ilk hızı ve ivmesine göre bölünmüş kısmın sonunda ulaşacağı hız bulunur (Vivme). Bu hız hesaplanan maksimum hızdan (Veğim) hızlanma neticesinde büyük, yavaşlama neticesinde küçükse aracın bölünmüş kısmın sonunda ulaşacağı hız (Vivme) hesaplanan maksimum hız olarak kabul edilir (Vivme=Veğim).

Yolun bölünmüş kısımlarında elde edilen viraj yarıçapına göre (1.14) numaralı eşitlikten maksimum viraj hızı (V_{viraj}) hesaplanır.

Seyahat süresince araç için belirlenen maksimum hız (V_{maks}), bölünmüş kısmın sonunda aracın ulaşacağı eğime bağlı hız (V_{ivme}) ve viraj yarıçapına göre hesaplanan maksimum viraj hızından (V_{viraj}) en düşük olanı son hız (V_{son}) olarak seçilir.

Bölünmüş kısım sonunda aracın ulaşacağı hız (V_{son}), bölünmüş kısım başlangıcındaki araç hızı ve ivme değerlerine göre kat etme süresi aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$t_{ij} = (V_{son} - V_{ilk}) / a \text{ (s)} \quad (4.11)$$

Son hız (V_{son}), viraj hızı (V_{viraj}) veya bölünmüş kısmın başlangıcındaki hıza (V_{ilk}) eşit olarak seçildiyse hız sabit kalacağından kat etme süresi aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$t_{ij} = d_{ij} / V_{son} \text{ (s)} \quad (4.12)$$

Bir sonraki bölünmüş kısmın kat etme süresi hesaplanırken bir önceki bölünmüş kısmın sonunda ulaşılan hız (V_{son}), bu kısmın ilk hızı olarak hesap edilir ($V_{ilk}=V_{son}$).

İki düğüm arasındaki yolun bölünmüş kısımları için hesaplanan kat etme süreleri toplanarak dakikaya çevrildiğinde bu yolun kat etme süresi (t_{ij}) bulunur.

Tablo-17: Zaman Veri Matrisi

Dal	Böl. Kısım	İvme(a) (m/s ²)	Veğim (m/s)	Vivme (m/s)	Vviraj (m/s)	Vmaks (m/s)	Vilk (m/s)	Vson (m/s)	Süre (t _{ij})(min)
(1,2)									0,492408
	(1,a1)	0,087271896	20,23434	2,576944	11,71921	25	1,45	2,576944	12,91302
	(a1,a2)	0,840203278	8,547663	7,094449	11,71921	25	2,576944	7,094449	5,376682
	(a2,a3)	1,330576347	7,623127	7,623127	5,240992	25	7,094449	5,240992	4,960893
	(a3,a4)	1,028872659	25	8,998299	11,71921	25	5,240992	8,998299	3,651867
	(a4,2)	0,637945444	25	10,68375	11,71921	25	8,998299	10,68375	2,642001
(1,3)									3,971471
(1,4)									1,906325
(2,4)									1,585057
(3,4)									0,717413
	(3,e1)	0,077494637	8,547663	2,476332	26,20496	25	1,45	2,476332	13,24391
	(e1,e2)	0,844487863	8,547663	7,074291	26,20496	25	2,476332	7,074291	5,444671
	(e2,e3)	0,13594279	8,547663	7,557421	26,20496	25	7,074291	7,557421	3,553925
	(e3,e4)	0,087017534	8,547663	7,851084	26,20496	25	7,557421	7,851084	3,374759
	(e4,e5)	0,059483237	8,547663	8,045661	11,71921	25	7,851084	8,045661	3,271110
	(e5,e6)	0,20594953	11,25292	8,685737	11,71921	25	8,045661	8,685737	3,107929
	(e6,e7)	0,155550893	11,25292	9,139512	26,20496	25	8,685737	9,139512	2,917210
	(e7,e8)	0,123134062	11,25292	9,483335	26,20496	25	9,139512	9,483335	2,792269
	(e8,e9)	0,100187823	11,25292	9,754149	26,20496	25	9,483335	9,754149	2,703056
	(e9,4)	0,083010048	11,25292	9,972960	26,20496	25	9,754149	9,97296	2,635967

3. KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

Çalışmada, ağır araç ulaştırmasında CBS'yi kullanarak en hızlı/en kısa güzergâhın belirlenmesini hedefleyen KDS tasarlanmıştır. KDS için, British Columbia (Kanada) eyaletine ait CBS yol verileri ile bu verilere ait sayısal yükseklik verilerinden oluşan SYM kullanılmıştır.

KDS, verilerin hesaplanması, en hızlı ve en kısa yolun bulunması modüllerinden oluşmaktadır. Verilerin hesaplanması modülünden önce verilerin hazırlanması gerekmektedir. Verilerin hazırlanmasında ArcGis 9.3.1 paket programı kullanılmıştır. Verilerin hesaplanması modülünde, hazırlanan veriler aracın özellikleri ile birleştirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. En hızlı ve en kısa yollar, önerilen matematiksel modelde kısıtlar aynı alınıp; amaç fonksiyonları (4.1) ve (4.9) kullanılarak hesaplanmaktadır.

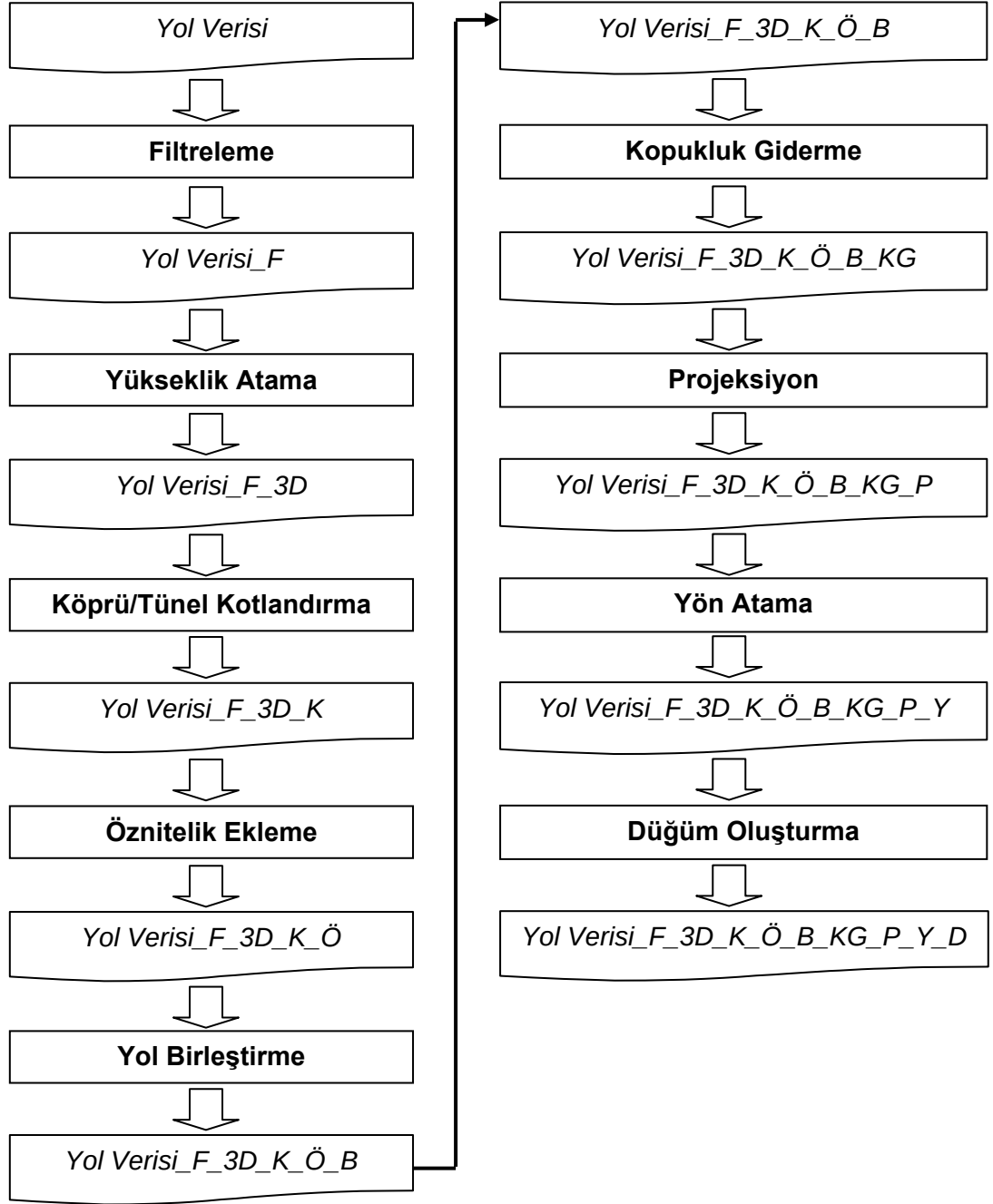
a. Verilerin Hazırlanması

Öncelikle çalışmada kullanılabilecek uygun veri seti araştırılmıştır. Yapılan çalışmada yolların 3 boyutlu uzunlukları ve ulaşım sürelerinin hesaplanması gerektiğinden, kullanılacak verinin sıklığı ve çözünürlüğü önem arz etmektedir. Eğim ve viraj hesaplamalarında gerçeğe uygun sonuçların alınabilmesi için veri sıklığının 30 m yi geçmemesi hedeflenmiştir. Bu maksatla çalışmada 1:25.000 veya 1:50.000 ölçekli vektör verilerin kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Kullanılacak vektör verinin 3 boyutlu olmaması durumunda, yükseklik bilgilerinin çıkarılacağı SYM örnekleme aralığının da en fazla 30 m olması hedeflenmiştir.

Söz konusu özellikleri taşıyan verilerin ülkemiz için açık kaynaklardan ücretsiz olarak temin edilemeyeceği veya tam olarak hazır olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, internet ortamında yapılan araştırmalar sonucunda, Kanada'ya ait uygun veri setlerinin bulunduğu ve ücretsiz olarak indirilebileceği tespit edilmiştir. Çalışma bölgesi olarak, British Columbia eyaleti seçilmiş, bölgeye ait 2 boyutlu vektör veriler ile 0.75 saniye (~20 m) aralıklı, yol verilerine üçüncü boyutu kazandırmak amacıyla kullanılacak SYM verileri Kanada Geomatik Konseyinin GeoBase [web] portalından indirilmiştir.

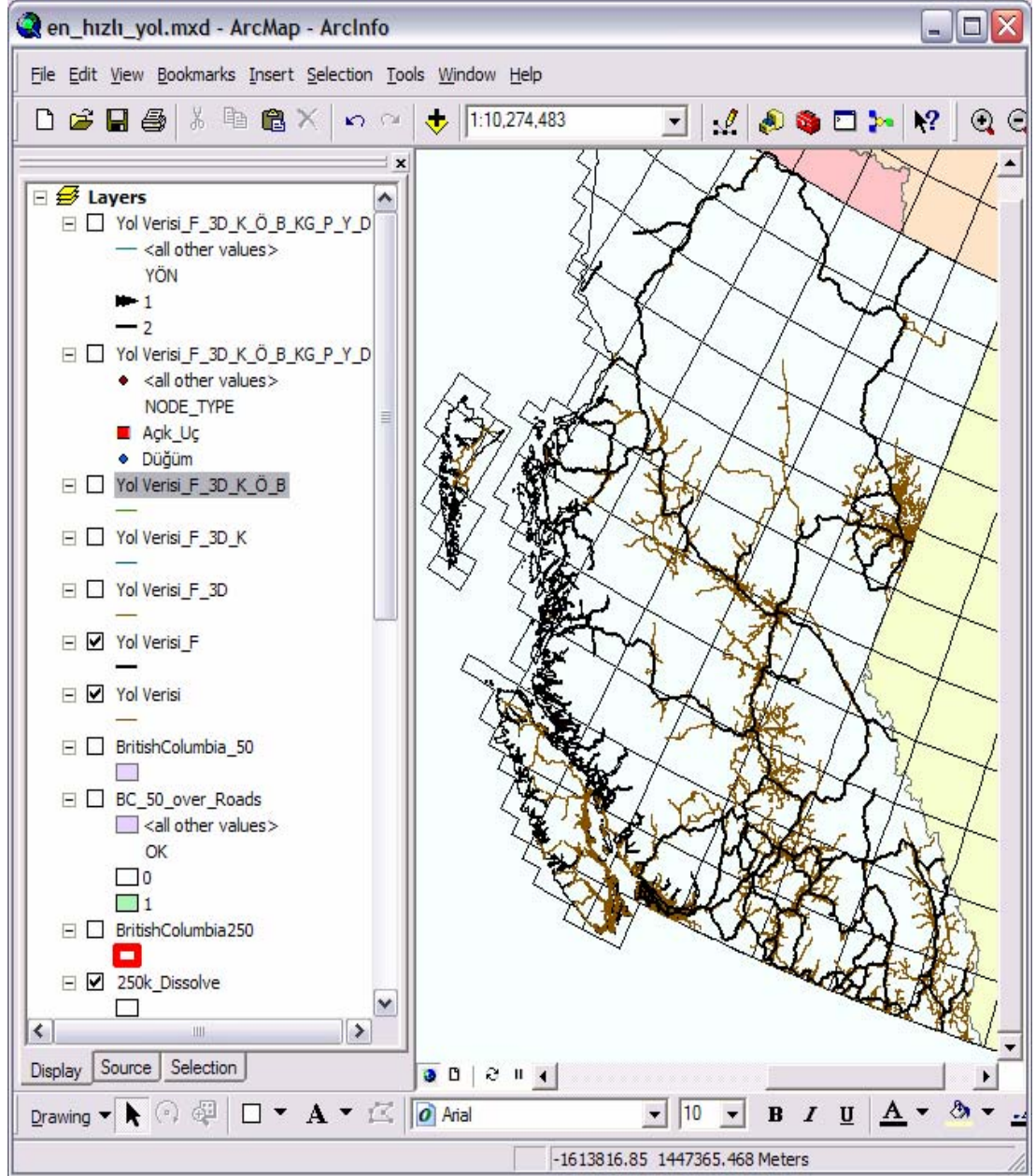
Elde edilen vektör veriler Environmental Systems Research Institute (ESRI) Shapefile formatında, SYM verileri ise United States Geological Survey (USGS) DEM formatındadır.

Çalışma bölgesi için elde edilen yol verileri öncelikle, kalite, tamlık ve uygunluk açısından incelenmiştir. Sonrasında, geliştirilen KDS'de kullanılabilmesi için verilere ArcGIS 9.3.1 paket programında bir dizi işlem uygulanmıştır. Dolayısıyla KDS içinde kullanılacak olan veriler, modelin çözümü için gerekli verilerin hesaplanabilmesi için hazır bulunmaktadır. Yapılan işlemler Şekil-21'de gösterilmiştir.



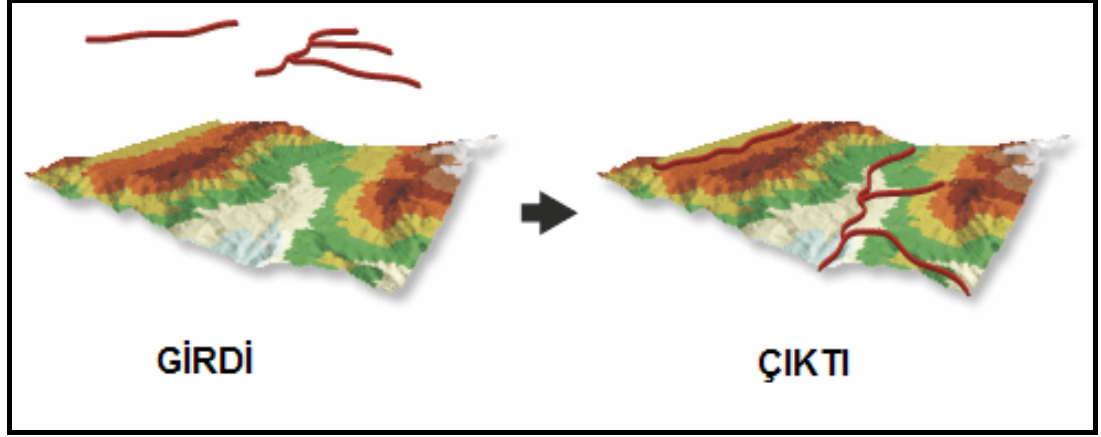
Şekil-21 : Yol Verilerinin Hazırlanması İş Akışı

İlk olarak iki boyutlu yol verileri öznitelik filtrelemesine tabi tutulmuştur. Filtreleme çok yoğun ve gereksiz verileri ayıklamak amacı ile yapılmıştır. Filtreleme neticesinde yol sınıfı 'Expressway / Highway' ve 'Freeway' olan yollar ile bu yolları birbirine bağlayan, yol sınıfı 'Arterial' ve 'Ramp' olup da anayollara bağlantı özelliği taşıyan yollar alınmıştır. Şekil-22'de koyu renkli çizgiler filtrelenmiş yolları temsil etmektedir.



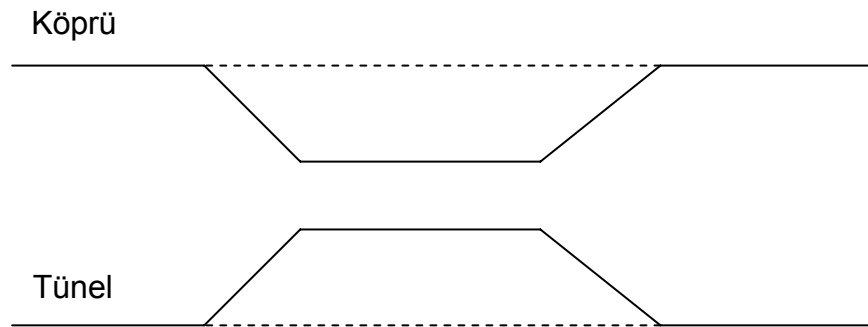
Şekil-22: Filtrelenmiş Yol Verileri

İkinci aşamada SYM verileri kullanılarak filtrelenmiş yol verilerine topoğrafyayı temsil edecek şekilde üçüncü boyut kazandırılmıştır (Şekil-23).



Şekil-23: Yolların Araziye Yerleştirilmesi

SYM verileriyle iki boyutlu veriler birleştirildiğinde yollar üzerindeki köprü ve tüneller de araziye (topoğrafyaya) yapışık bir şekilde yükseklik değerleri almıştır. Oysa köprü ve tüneller genellikle başlangıç ve bitiş noktaları arasında düzgün eğimle devam eden yapılardır. Bunun için üçüncü aşamada hazırlanan bir program aracılığıyla köprü ve tüneli oluşturan vertekslerin yükseklikleri gerçeğe uygun duruma getirilmiştir. (Şekil-24).



Şekil-24: Köprü ve Tünel Kodlarını Düzeltme

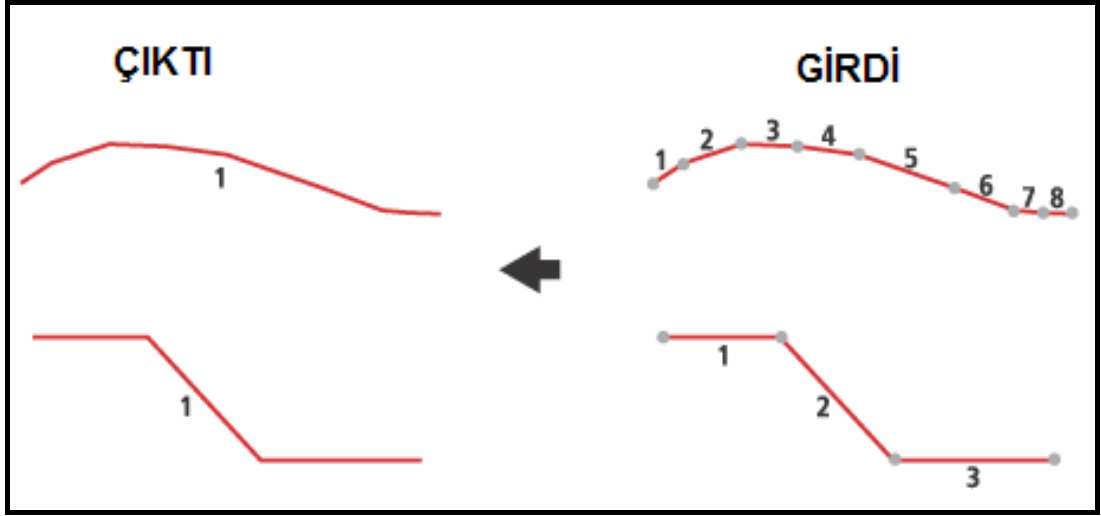
Dördüncü aşamada öznitelik tablosunda (Şekil-25), modelin çözümü için ihtiyaç duyulan mesafe ve süre bilgilerine ait öznitelik sütunları oluşturulmuştur. Ayrıca köprü, tünel ve yollara ait genişlik, düşey gabari ve taşıma kapasitesi öznitelik bilgileri mevcut olmadığı için bunlara ait öznitelik

sütunları da oluşturularak çalışmanın test edilebilmesi amacıyla uygun değerler verilmiştir.

Attributes of Yol Verisi_F_3D_K_Ö_B											
FID	Shape *	FIRST RTEN	WRij	HRij	LRij	MESAFE 2D	MESAFE 3Dg	MESAFE 3Dd	SÜRE q	SÜRE d	
0	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	
1	Polyline ZM	Hwy 97C	3	5	100	0	0	0	0	0	
2	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	
3	Polyline ZM	Hwy 33	3	5	100	0	0	0	0	0	
4	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
5	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
6	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	
7	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	
8	Polyline ZM	Crowsnest Highway	3	5	100	0	0	0	0	0	
9	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
10	Polyline ZM	Hwy 6	3	5	100	0	0	0	0	0	
11	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
12	Polyline ZM	Hwy 3B	3	5	100	0	0	0	0	0	
13	Polyline ZM	Hwy 6	3	5	100	0	0	0	0	0	
14	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
15	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
16	Polyline ZM	Hwy 33	3	5	100	0	0	0	0	0	
17	Polyline ZM	Crowsnest Highway	3	5	100	0	0	0	0	0	
18	Polyline ZM	Crowsnest Highway	3	5	100	0	0	0	0	0	
19	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
20	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
21	Polyline ZM	Hwy 3A	3	5	100	0	0	0	0	0	
22	Polyline ZM	Hwy 41	3	5	100	0	0	0	0	0	
23	Polyline ZM	Hwy 22A	3	5	100	0	0	0	0	0	
24	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	
25	Polyline ZM	Crowsnest Highway	3	5	100	0	0	0	0	0	
26	Polyline ZM	Hwy 3B	3	5	100	0	0	0	0	0	
27	Polyline ZM	Hwy 3B	3	5	100	0	0	0	0	0	
28	Polyline ZM	Crowsnest Highway	3	5	100	0	0	0	0	0	
29	Polyline ZM	Hwy 22A	3	5	100	0	0	0	0	0	
30	Polyline ZM	Hwy 33	3	5	100	0	0	0	0	0	
31	Polyline ZM	Hwy 97	3	5	100	0	0	0	0	0	
32	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	
33	Polyline ZM	Hwy 41	3	5	100	0	0	0	0	0	
34	Polyline ZM	Hwy 3B	3	5	100	0	0	0	0	0	
35	Polyline ZM	Crowsnest Highway	3	5	100	0	0	0	0	0	
36	Polyline ZM	Hwy 97C	3	5	100	0	0	0	0	0	
37	Polyline ZM	Hwy 3A	3	5	100	0	0	0	0	0	
38	Polyline ZM	Hwy 22	3	5	100	0	0	0	0	0	

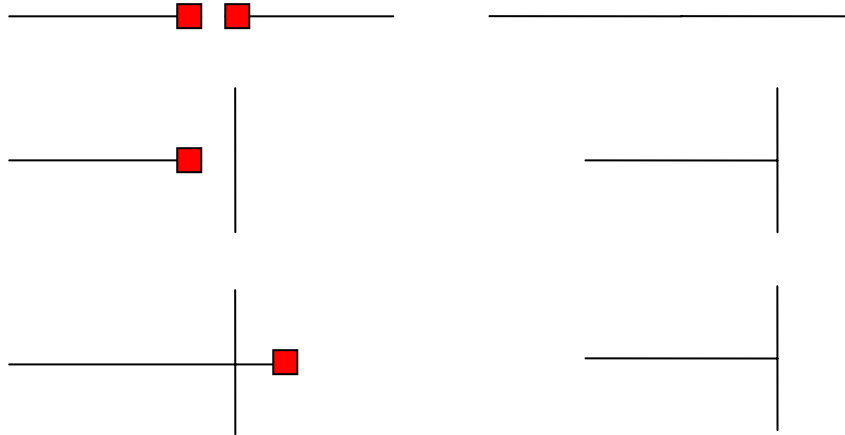
Şekil-25: Yollara Ait Öznitelik Tablosu

Beşinci aşamada, filtreleme sonucunda dikkate alınmamış olan yan yolların birleşme yerlerinden kaynaklanan aynı özellikleri taşıyan ancak birden fazla parçadan oluşan yollar Şekil-26’da gösterildiği gibi birleştirilerek tek yol haline getirilmiştir. Bu işlem sırasında köprü ve tünellerin genişlik, düşey gabari ve taşıma kapasitesi öznitelikleri ise kendisine komşu yollara aktarılmıştır.



Şekil-26: Tek Yolların Birleştirilmesi

Altıncı aşamada sayısal harita oluşturulurken yapılan sayısallaştırma hataları (Şekil-27) başka bir ifadeyle yollardaki gözle görülemeyecek miktardaki (< 0.0001), kopukluklar yapılacak analizlerde yanlışlıklara neden olmaması amacıyla düzeltilmiştir.

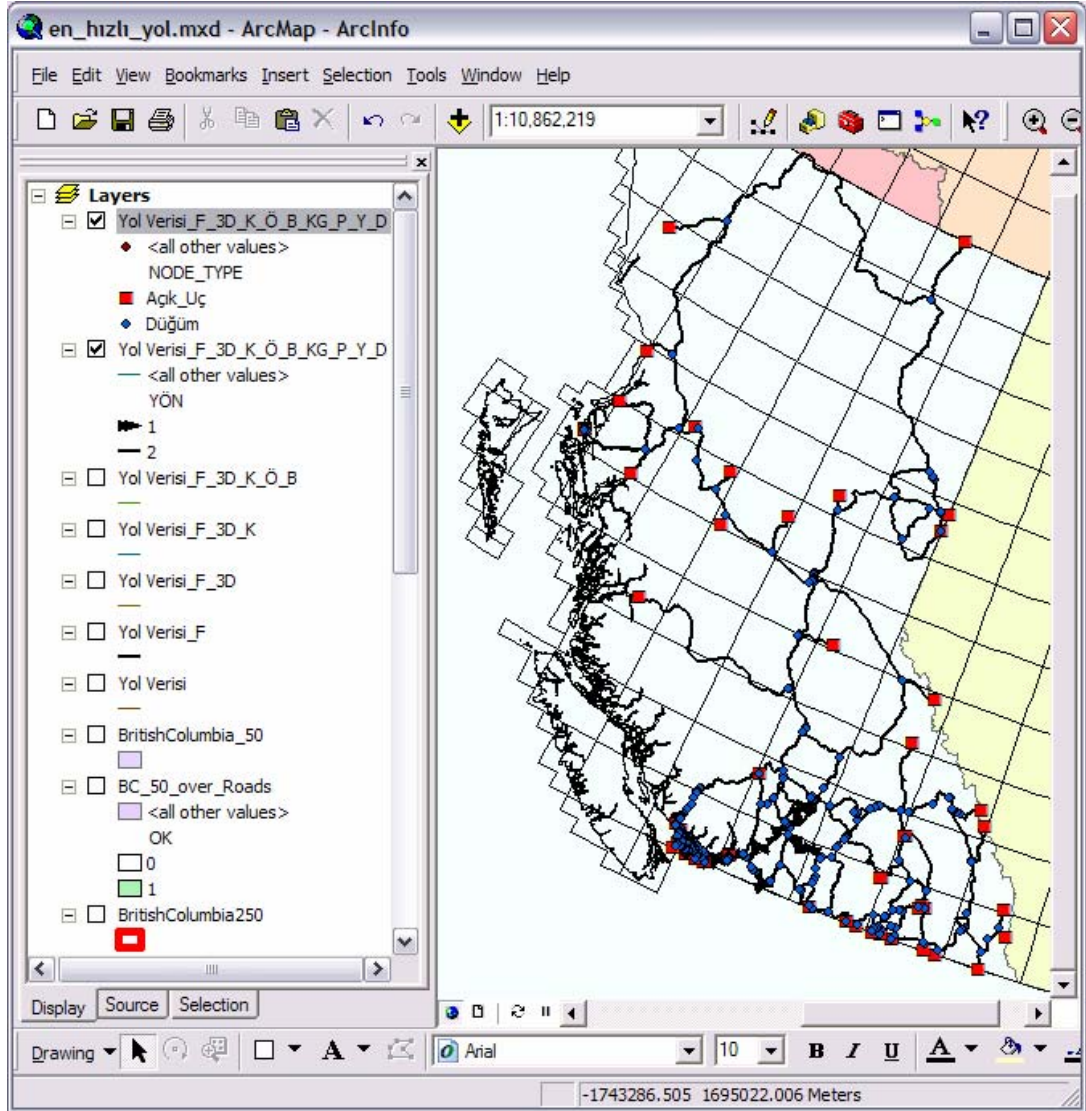


Şekil-27: Kopuklukların Giderilmesi

Yedinci aşamada, mesafe hesaplamalarının metre biriminde yapılabilmesi amacıyla coğrafi koordinat sistemindeki (GCS North American 1983) yol verileri açılı koruyan metrik projeksiyon sistemine (NAD 1983 Lambert Konformal Konik) dönüştürülmüştür.

Sekizinci aşamada, yine analizlerde dikkate alınabilmesi amacıyla, yolların trafik akış yönleri dikkate alınarak, bu bilgilerin öznitelik bilgilerine aktarılması sağlanmıştır. Öznitelik tablosunda yön bilgisi için 'YÖN' sütunu oluşturuldu. Tek yönlü yollar için '1', çift yönlü yollar için '2' değeri verilmiştir.

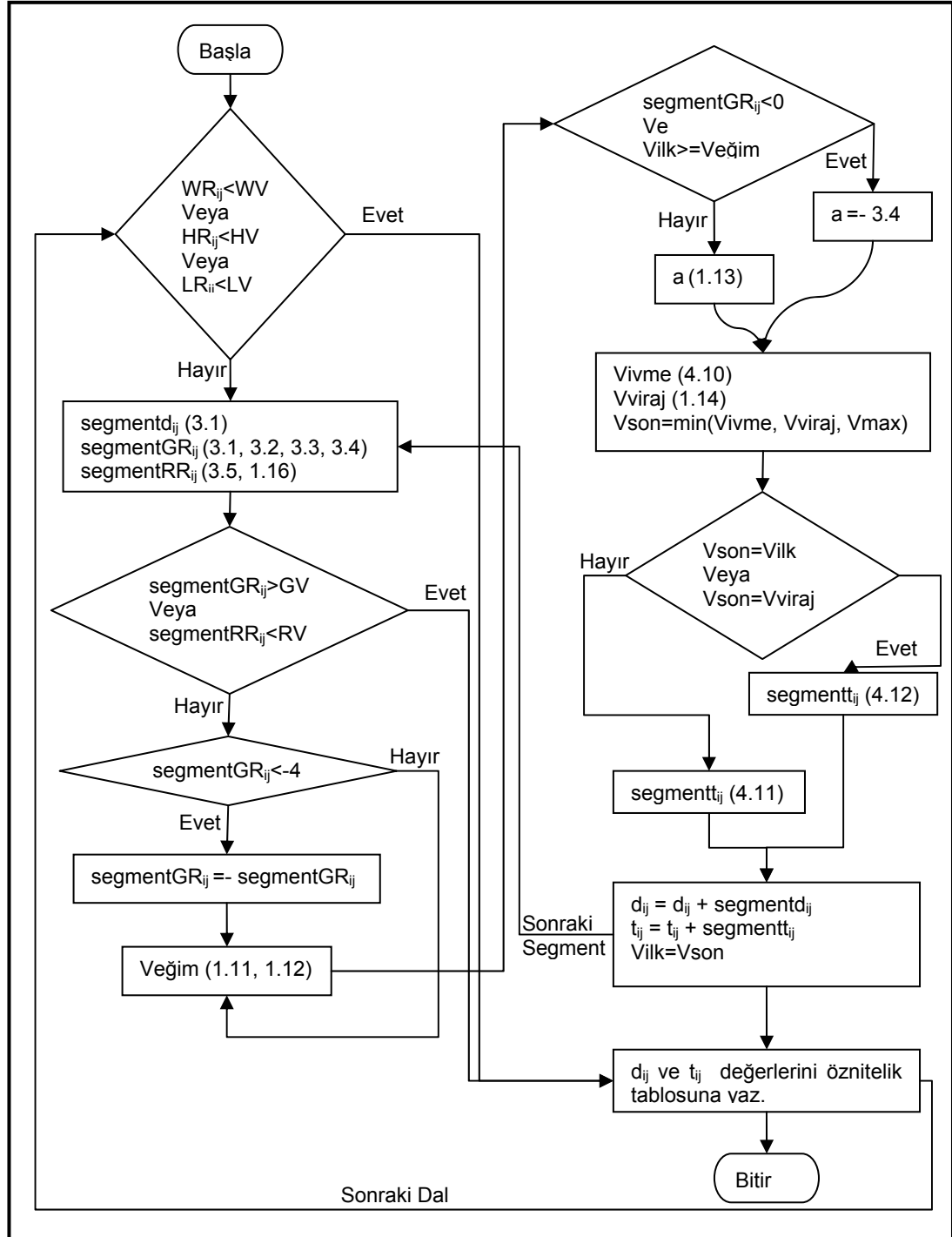
Son aşamada, yol uzunlukları ve kat etme sürelerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere, Şekil-28'de görüldüğü gibi, yolların birleşim yerlerinde bulunan düğüm noktalarına bir numara verilerek, her bir yolun başladığı ve bittiği düğüm noktası numaraları da veri tabanı tablosunda o yola ait veri satırında ilgili öznitelik sütunu oluşturularak değer olarak kaydedilmiştir.



Şekil-28: Yolların Başlangıç ve Bitiş Düğümlerinin Oluşturulması

b. Verilerin Hesaplanması

Bu modül ile KDS için uygun hale getirilmiş üç boyutlu yol verileri kullanılarak; 4. Bölüm 2.c.deki “Modeldeki Verilerin Elde Edilmesi” başlığı altında detayı açıklanan gerekli hesaplamalar Şekil-29’daki mantıksal akışa göre yapılır.



Şekil-29: Süre Hesabı Mantıksal Akışı

Parantez içerisindeki numaralar hesaplama yapılan eşitlik numaralarını göstermektedir. Bu hesaplamaların neticesinde modelin çözümü için elde edilen veriler (mesafe ve süre) yolların öznitelik tablosunda oluşturulan alanlara yazdırılır. Modeldeki (4.3)-(4.7) kısıtlarına göre, genişlik, düşey gabari, taşıma kapasitesi, eğim ve viraj yarıçapı açısından, geçilemeyecek yolların süre ve uzunluk değerlerine çok büyük bir değer ataması yapılır. Bu sayede en hızlı ve en kısa yol çözümlerinde bu yolların seçilmesi engellenmiş olur.

c. En Hızlı ve En Kısa Yolun Bulunması

Bu modülde en hızlı ve en kısa yolun belirlenmesi önerilen model ile hesaplanmaktadır.

ç. KDS'nin Çalışma Prensipleri

KDS, ArcGIS 9.3.1 programında oluşturulan bir arayüz vasıtasıyla çalışmaktadır. Arayüz, ArcGIS 9.3.1 uygulama penceresine eklenen düğme sayesinde etkin hale gelmektedir. KDS'nin yazılımı Visual Basic programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. Yazılım, Şekil-30'da gösterildiği gibi kullanıcı ve ArcGIS 9.3.1 programı ile etkileşimdedir.

Kullanıcı Şekil-30'da görülen arayüz aracılığıyla en hızlı/en kısa yolu bulmak için kullanacağı aracın bilgilerini tanımlar. Tanımlanan araç bilgileri doğrultusunda en hızlı/en kısa yolun çözümünde gerekli verilerin oluşturulması için “verileri hesapla” komutunu verir. Bu komut ile veriler hesaplandıktan sonra, en hızlı/en kısa yolun çözümü için arayüz penceresinden çıkış ve varış noktalarının düğüm numaraları girilerek “en hızlı yol” veya “en kısa yol” komutu verilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

ÖRNEK UYGULAMA ÇÖZÜM VE YORUMLAR

1. ÖRNEK UYGULAMA

Ağır araçlar için en hızlı/en kısa yolun belirlenmesi için hazırlanan KDS, ArcGIS 9.3.1 paket programı ile birlikte kullanılmaktadır. Aşağıda KDS'nin açıklandığı örnek bir uygulama sunulmuştur.

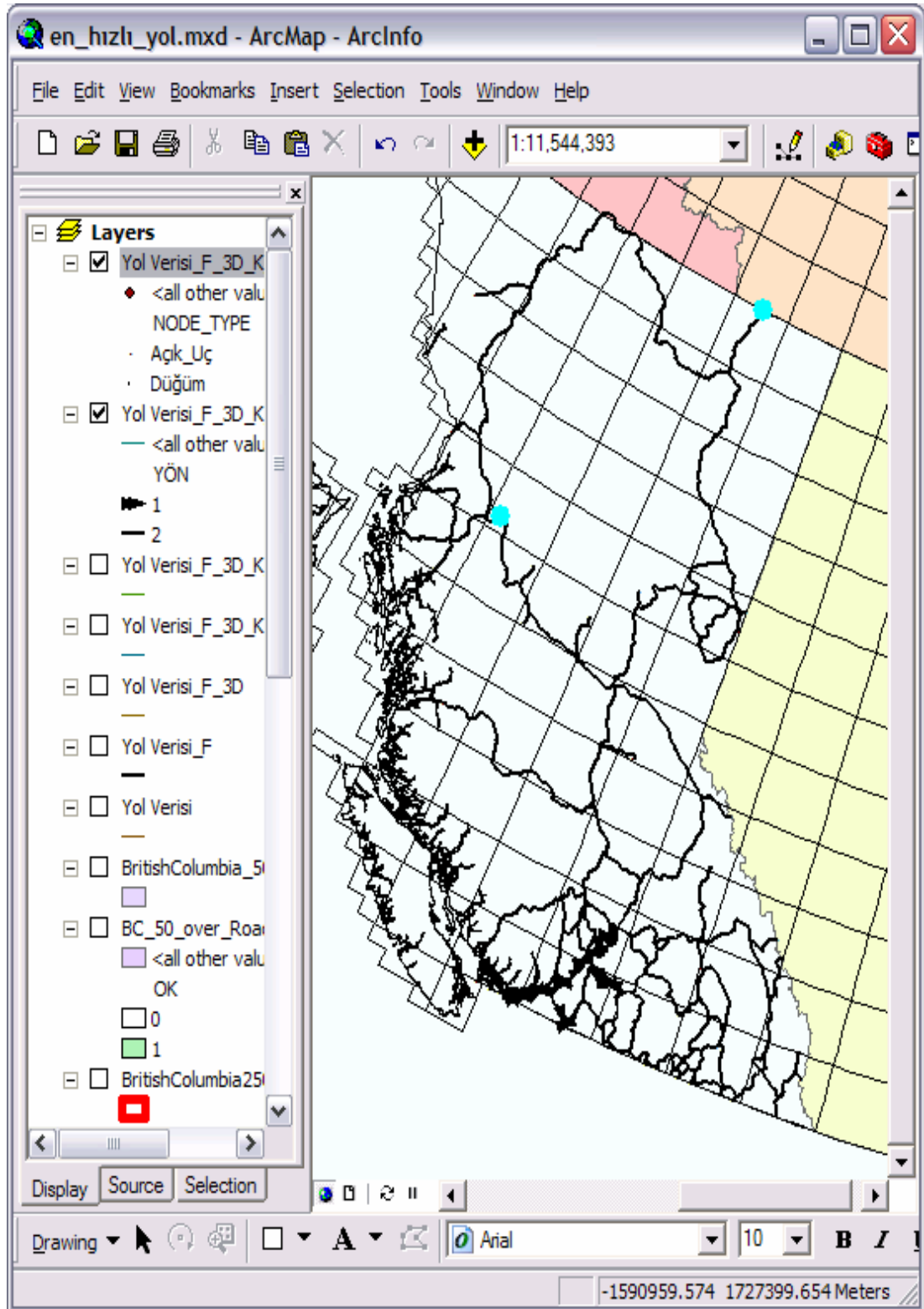
Aynı zamanda bu örnek uygulamada kullanılan araç bilgileri bu bölümde sunulan diğer uygulamalar için de esas alınacaktır.

Çalışmada kullanılan yol verileri ise önceki bölümde izah edildiği gibi KDS'de kullanılmaya hazır durumdadır.

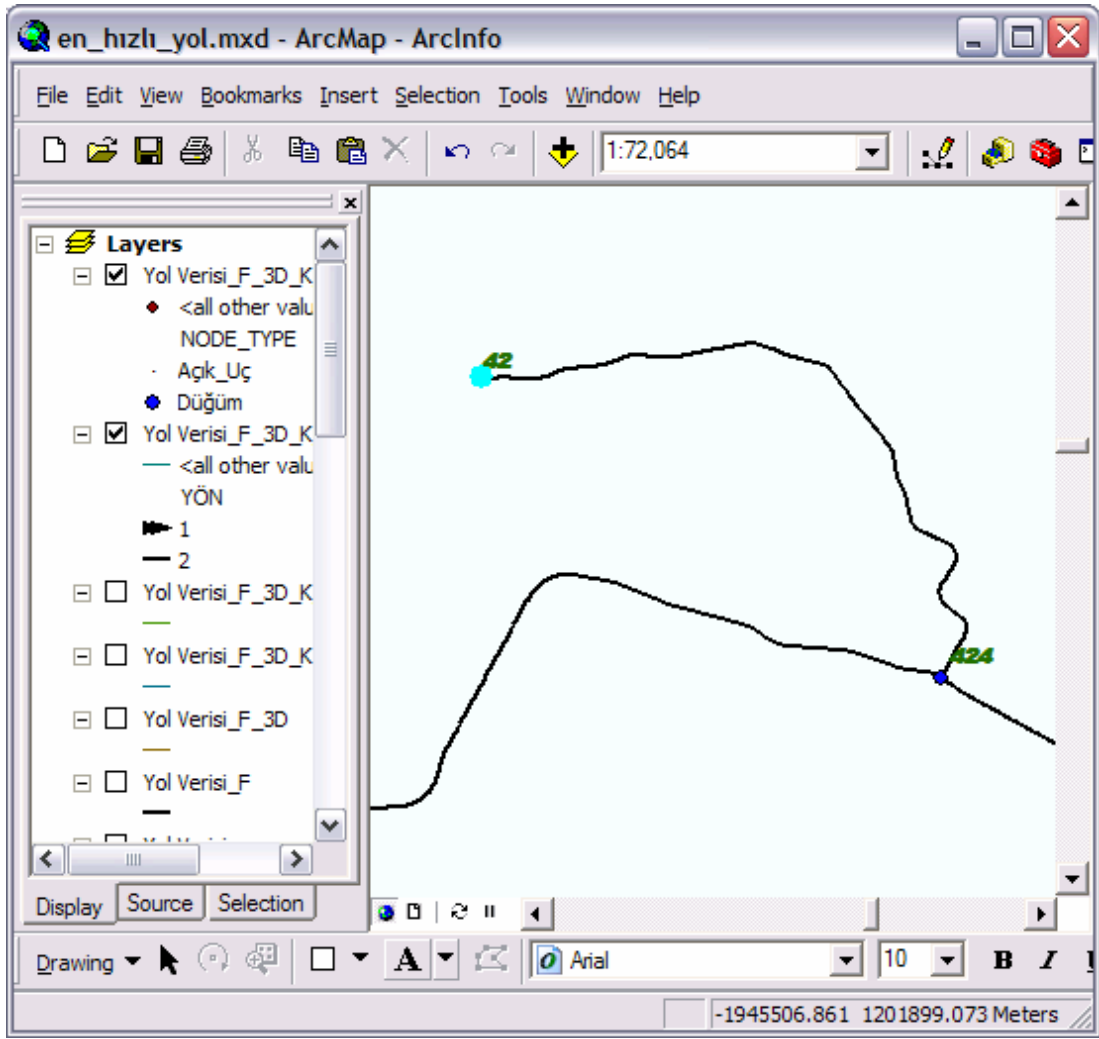
a. Uygulamanın Oluşturulması

Uygulamanın başlatılması için öncelikle ArcGIS 9.3.1 paket programı çalıştırılarak KDS için uygun hale getirilen yol verileri görüntülenmelidir. Sonra en hızlı yolun belirleneceği çıkış ve varış noktaları Şekil-31'de görüldüğü gibi (mavi noktalar) belirlenir ve bu noktalara yaklaştırma yapılarak düğüm numaralarına bakılır (Şekil-32).

Yol verileri toplam olarak 671 adet düğüm içermektedir. Bu sebepten dolayı düğüm numaralarının her zaman ekranda görünmesi karışıklığa sebep olacağından düğümlerin rahat seçilebilecek seviyede yaklaştırılmasından sonra görüntülenmesi sağlanmıştır.



Şekil-31: Örnek Uygulama Şebekesi



Şekil-32: Düğüm Numaralarının Görüntülenmesi

Örneğimizde belirlenen çıkış noktasının düğüm numarası 42, varış noktasının düğüm numarası 6 olarak görüntülenmiştir. Düğüm numaraları belirlendikten sonra KDS'nin arayüzü ArcGIS 9.3.1 programına eklenen düğme vasıtasıyla başlatılmaktadır (Şekil-33).



Şekil-33: Arayüz Düğmesi

Uygulama başlatıldıktan sonra Şekil-34'de görünen arayüzdeki araç bilgileri güncellenerek “verileri hesapla” komutu verilir. Araç bilgileri

değiştirildiği anda “en hızlı yol” ve “en kısa yol” komut düğmeleri devre dışı kalır. Bunun sebebi araç bilgilerinin değişmesi durumunda verilerin yeniden hazırlanmasının gerekliliğidir. Aksi taktirde hesaplanan en hızlı yol ve kat etme süreleri değişiklikten önceki araca ait olacaktır.

AGIR ARAÇLAR ICIN EGIM VE VIRAJA GORE EN HIZLI YOLUN BULUNMASI
X

ARAÇ BİLGİLERİ

Genişliği giriniz	:	2.5	(m)
Yüksekliği giriniz	:	3.5	(m)
Yüklü Ağırlığı giriniz	:	40000	(kg)
Max tırmanma kabiliyetini giriniz	:	50	(%)
Dönme kabiliyetini giriniz	:	19	(m)
Belirlediğiniz max hızı giriniz	:	90	(km/saat)
Motor gücünü giriniz	:	300	(kW)
Askeri yük sınıfını giriniz	:	50	

Çıkış Noktası

42

Varış Noktası

6

VERİLERİ HESAPLA

EN KISA YOL

EN HIZLI YOL

ÇIKIŞ

İşlem Tamamlandı.

Şekil-34: Arayüz ve Örnek Uygulama Veri Girişi

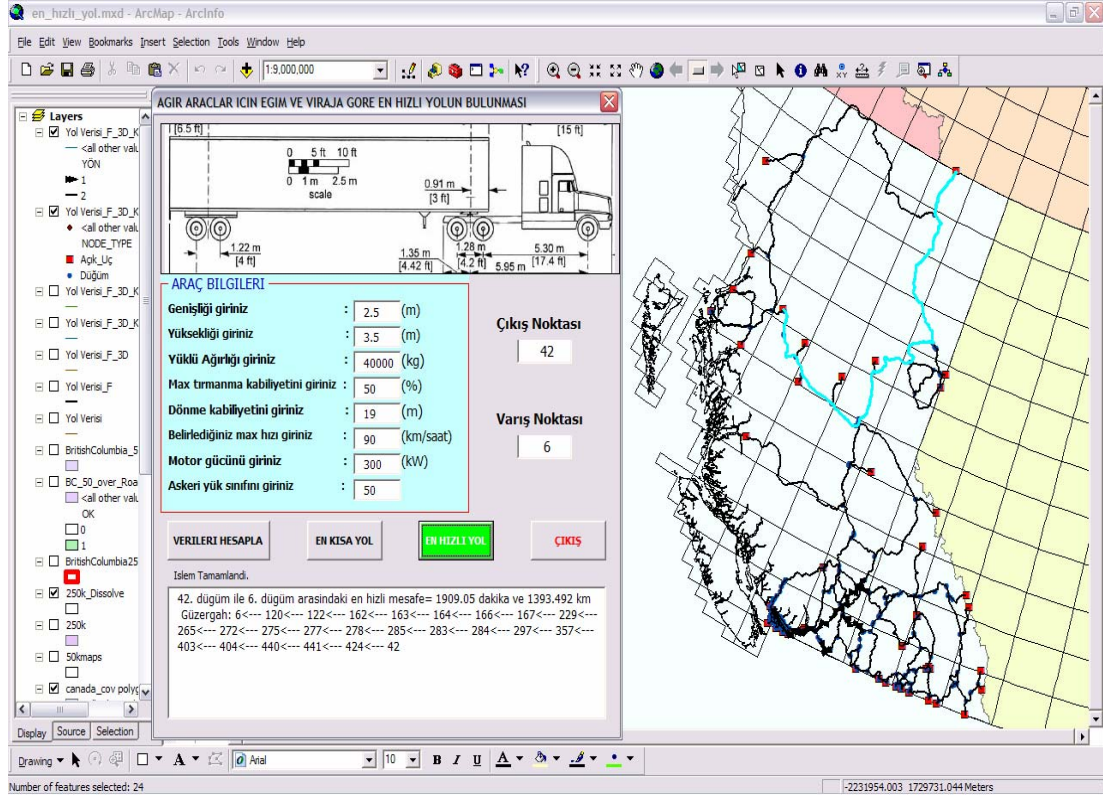
Verilerin hesaplanması sonucunda örnek uygulamaya ait elde edilen öznitelik tablosu Şekil-35’de gösterilmiştir. KDS’deki “verileri hesapla”

komutuyla bu tablodaki mesafe ve süre sütunları araç ve yol bilgilerine göre daha önce açıklandığı gibi hesaplanarak dolmaktadır. Başlangıç düğümünden bitiş düğümüne olan mesafe ve süre hesaplamaları “MESAFE_3Dg” ve “SÜRE_3Dg” sütunlarına, bitiş düğümünden başlangıç düğümüne olan mesafe ve süre değerleri ise “MESAFE_3Dd” ve “SÜRE_3Dd” sütunlarına yazdırılmaktadır. Hesaplamalar sonucunda geçişi mümkün olmayan yollar ile tek yönlü yolların ilgili süre ve mesafe sütunlarına çok büyük bir değer ataması yapılmaktadır (Tek yönlü yollar için ‘600001’, geçişi mümkün olmayan yollar için ‘600000’).

Attributes of Yol Verisi_F_3D_K_Ö_B_KG_P_Y_D													
FID	FIRST RTEN	YON	WRij	HRij	LRij	MESAFE_2D	MESAFE_3Dd	MESAFE_3Dg	SÜRE_d	SÜRE_g	BŞL DÜĞÜMÜ	BITİŞ DÜĞÜMÜ	
0	Hwy 22	2	3	5	100	0.106	0.107	0.107	0.287	0.418	199	201	
1	Hwy 97C	1	3	5	100	0.015	0.015	600001	0.129	600001	250	251	
2	Hwy 22	1	3	5	100	0.257	0.257	600001	0.572	600001	182	185	
3	Hwy 33	1	3	5	100	0.013	0.013	600001	0.103	600001	233	234	
4	Hwy 97	1	3	5	100	0.008	0.008	600001	0.081	600001	261	259	
5	Hwy 97	1	3	5	100	0.1	0.1	600001	0.402	600001	245	246	
6	Hwy 22	2	3	5	100	0.165	0.165	0.165	0.466	0.406	25	203	
7	Hwy 22	1	3	5	100	0.008	0.008	600001	0.078	600001	195	194	
8	Crowsnest Highway	2	3	5	100	0.228	0.229	0.229	0.509	0.717	174	176	
9	Hwy 97	1	3	5	100	0.342	0.342	600001	0.539	600001	248	251	
10	Hwy 6	2	3	5	100	0.081	0.081	0.081	0.325	0.292	18	170	
11	Hwy 97	2	3	5	100	0.201	0.202	0.202	0.579	0.436	255	252	
12	Hwy 3B	1	3	5	100	0.014	0.015	600001	0.051	600001	193	195	
13	Hwy 6	2	3	5	100	0.024	0.024	0.024	0.162	0.18	142	143	
14	Hwy 97	1	3	5	100	0.008	0.008	600001	0.08	600001	260	261	
15	Hwy 97	1	3	5	100	0.161	0.161	600001	0.478	600001	250	249	
16	Crowsnest Highway	2	3	5	100	0.061	40.707	40.707	59.402	59.256	243	292	
17	Crowsnest Highway	1	3	5	100	0.278	0.278	600001	0.632	600001	292	293	
18	Hwy 97	1	3	5	100	0.495	0.495	600001	0.905	600001	249	247	
19	Hwy 97	1	3	5	100	0.014	0.014	600001	0.132	600001	234	236	
20	Hwy 3A	1	3	5	100	0.218	0.218	600001	0.513	600001	144	145	
21	Hwy 41	2	3	5	100	0.137	0.137	0.137	0.491	0.428	28	221	
22	Hwy 22A	2	3	5	100	0.093	0.094	0.094	0.364	0.344	23	189	
23	Hwy 22	1	3	5	100	0.01	0.01	600001	0.095	600001	185	186	
24	Crowsnest Highway	2	3	5	100	0.319	0.32	0.32	0.654	0.592	177	176	
25	Hwy 3B	1	3	5	100	0.008	0.009	600001	0.092	600001	192	193	
26	Hwy 3B	1	3	5	100	0.015	0.015	600001	0.154	600001	194	192	
27	Crowsnest Highway	2	3	5	100	0.118	0.118	0.118	0.374	0.353	180	181	
28	Hwy 22A	2	3	5	100	0.062	0.062	0.062	0.274	0.27	22	189	
29	Hwy 33	1	3	5	100	0.014	0.014	600001	0.128	600001	236	235	
30	Hwy 97	1	3	5	100	0.014	0.014	600001	0.129	600001	235	233	
31	Hwy 22	2	3	5	100	0.174	0.174	0.174	0.42	0.469	24	203	
32	Hwy 41	2	3	5	100	0.158	0.158	0.158	0.489	0.37	27	221	
33	Hwy 3B	2	3	5	100	0.056	0.056	0.056	0.291	0.199	200	199	
34	Crowsnest Highway	2	3	5	100	0.306	0.307	0.307	0.723	0.636	181	184	
35	Hwy 97C	1	3	5	100	0.548	0.549	600001	1.029	600001	248	253	
36	Hwy 3A	1	3	5	100	0.201	0.201	600001	0.589	600001	177	178	
37	Hwy 22	1	3	5	100	0.207	0.207	600001	0.542	600001	183	181	
38	Hwy 3A	1	3	5	100	0.231	0.231	600001	0.673	600001	141	144	
39	Hwy 33	2	3	5	100	0.093	128.254	128.254	163.596	169.687	243	232	
40	Hwy 3A	1	3	5	100	0.222	0.462	600001	0.949	600001	142	144	
41	Hwy 3A	1	3	5	100	0.874	0.874	600001	1.246	600001	176	175	
42	Hwy 22	2	3	5	100	0.13	0.131	0.131	0.35	0.462	200	201	
43	Hwy 6	1	3	5	100	0.381	0.382	600001	0.887	600001	145	143	
44	Hwy 3A	1	3	5	100	0.599	0.601	600001	1.053	600001	175	179	
45	Hwy 3A	1	3	5	100	0.484	0.485	600001	1.062	600001	178	174	
46	Hwy 22	1	3	5	100	0.246	0.246	600001	0.626	600001	184	183	
47	Hwy 95A	2	3	5	100	0.17	0.17	0.17	0.407	0.478	80	82	
48	Crowsnest Highway	2	3	5	100	0.715	0.715	0.715	1.182	1.148	83	79	

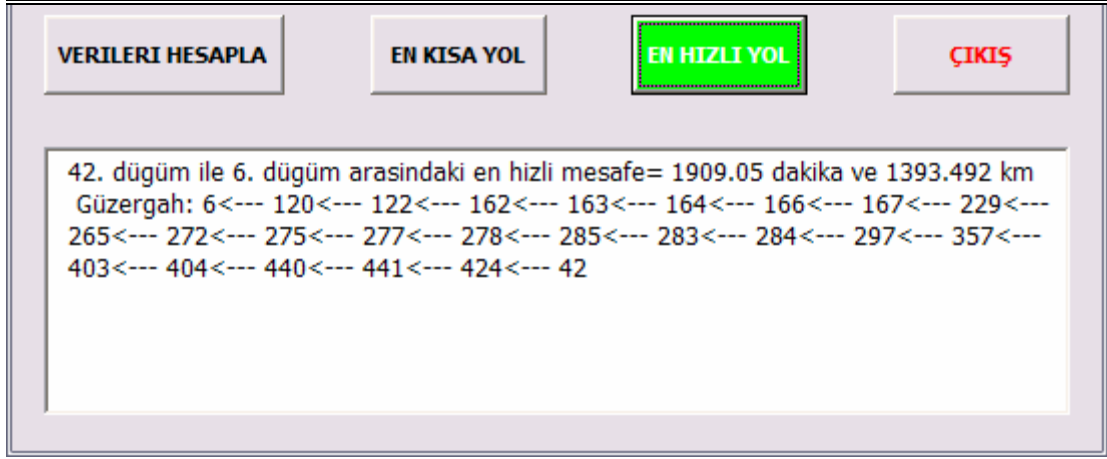
Şekil-35: Örnek Uygulama Öznitelik Tablosu

Verileri hesaplama işlemi tamamlandıktan sonra arayüze çıkış ve varış noktalarının düğüm numaraları girilerek “en hızlı yol” komutu verilir. “En hızlı yol” komutu verildikten sonra Şekil-36’da görüldüğü gibi çözüm, arayüzdeki metin kutusuna yazdırılır ve ArcGIS 9.3.1 paket programında görüntülenir.



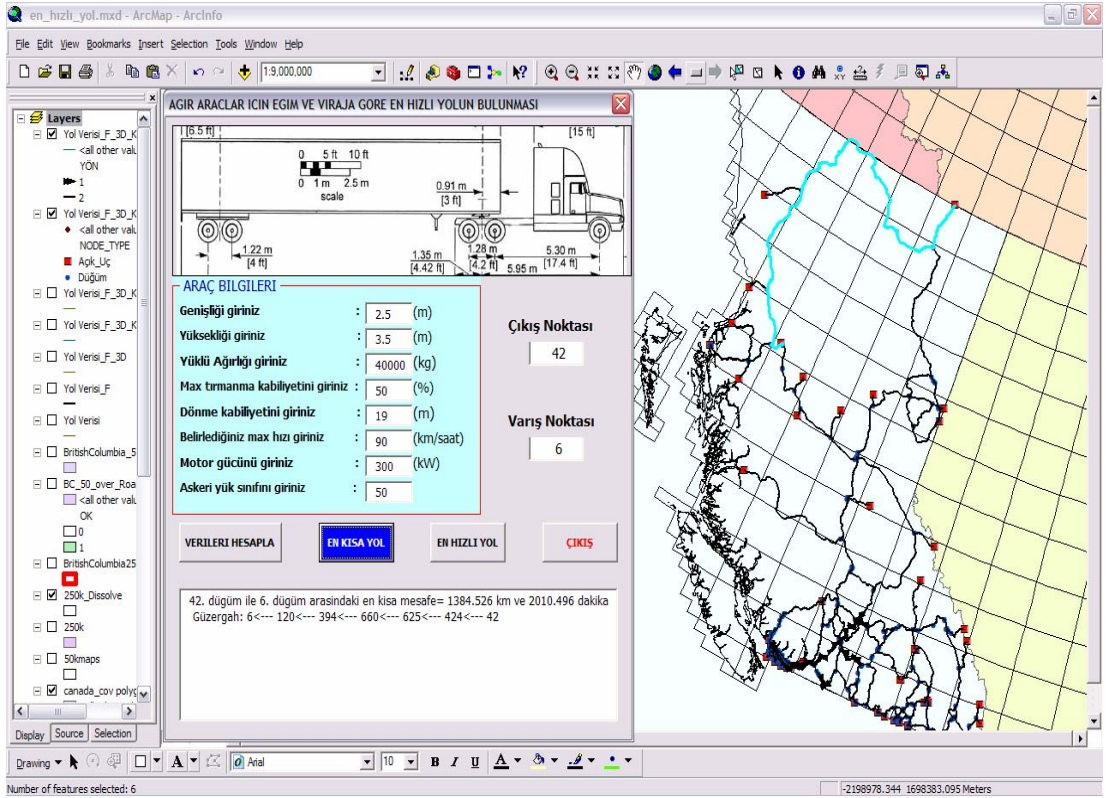
Şekil-36: Örnek Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı

Örnek uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en hızlı yolun çözümü Şekil-37’de görüldüğü gibidir. Çözüm ekranında iki nokta arasındaki güzergâhın düğüm numaraları, güzergâhın toplam uzunluğu ve arayüze bilgileri girilen aracın bu güzergâhı ne kadar sürede kat edebileceği görüntülenmektedir.



Şekil-37: Örnek Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu

KDS'ye, kıyaslama yapabilmek maksadıyla “en kısa yol” komut düğmesi de eklenmiştir. Bu komut verildiği zaman iki nokta arasında mesafeye bağlı olarak en kısa yol bulunur. Çözüm ekranında güzergâhın düğüm numaraları, bu güzergâhı oluşturan yolların toplam uzunluğu ve arayüze bilgileri girilen aracın bu güzergâhı ne kadar sürede kat edebileceği gösterilmektedir. Örnek uygulama için hesaplanan en kısa yolun çözüm ekranı Şekil-38’de, çözüme ait metin kutusu Şekil-39’dadır.



Şekil-38: Örnek Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı

VERİLERİ HESAPLA	EN KISA YOL	EN HIZLI YOL	ÇIKIŞ
42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en kısa mesafe= 1384.526 km ve 2010.496 dakika Güzergah: 6<--- 120<--- 394<--- 660<--- 625<--- 424<--- 42			

Şekil-39: Örnek Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu

b. Çözümün Yorumlanması

Örnek uygulamadaki çözümler incelendiğinde en kısa yol ile en hızlı yolun birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Şekil-36'dan görüleceği üzere seçilen çıkış noktası ve varış noktası arasındaki en hızlı yol güney istikametinden geçen güzergâhtır ve araç bu yolu 1909,05 dakikada kat edebilmektedir. Bu güzergâhın toplam uzunluğu ise 1393,492 kilometredir (Şekil-37). En kısa yol ise Şekil-38'den görüleceği üzere kuzey istikametinden geçen güzergâhtır ve araç bu yolu 2010,496 dakikada kat edebilmektedir. Bu güzergâhın toplam uzunluğu ise 1384,526 kilometredir (Şekil-39). En hızlı yolun mesafesi en kısa yoldan 8,996 kilometre fazla olmasına rağmen bilgileri girilen araç tarafından 101,446 dakika daha kısa sürede kat edilmektedir. Buradan da anlaşılabacağı gibi eğim ve viraj yarıçapının ağır araçların hızları üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.

En hızlı yol olarak belirlenen güzergâhın 90 km/h sabit hızla kat edildiği varsayıldığında kat etme süresi 928,99 dakika hesaplanır. Oysa yol ve araç bilgileri hesaba katıldığında bu sürenin gerçeği yansıtmadığı açıkça görülmektedir.

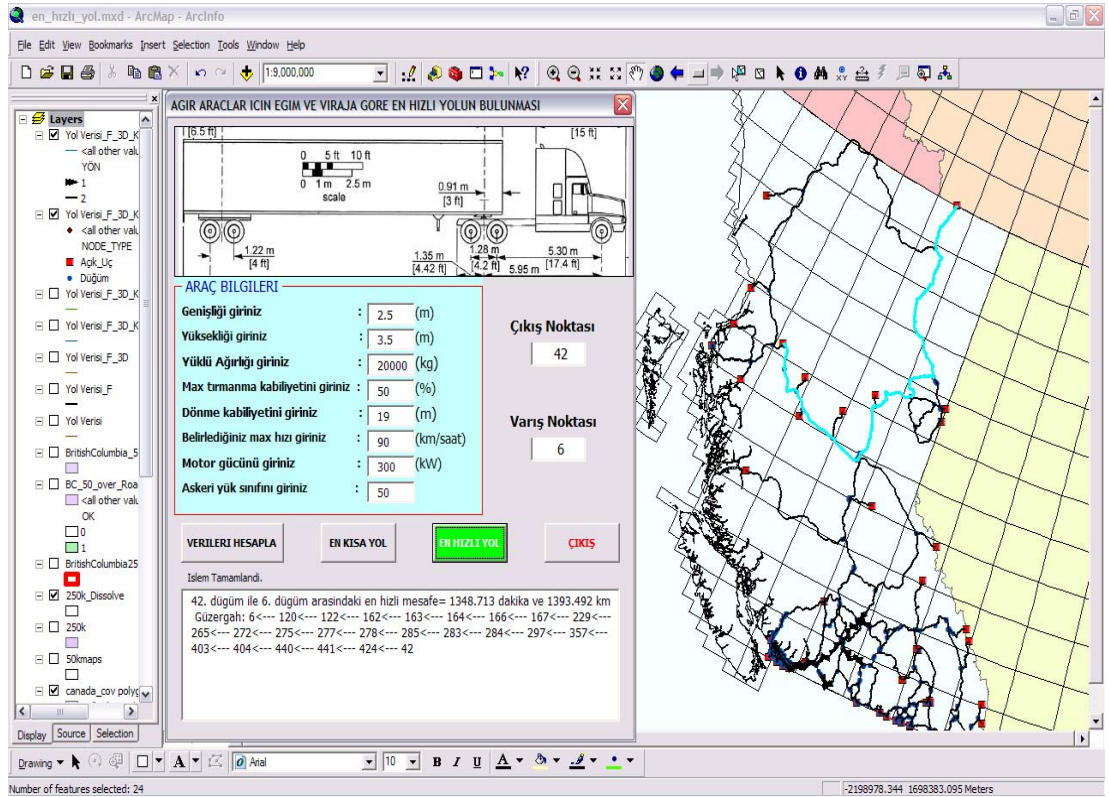
2. UYGULAMALAR VE ÇÖZÜMLERİ

Bu bölümde dört farklı uygulama yapılmıştır. İlk üç uygulamada, örnek uygulamada kullanılan araç bilgilerinde değişiklikler yapılarak aradaki farklar; dördüncü uygulamada ise yol bilgisinde değişiklik yapılarak sonuç gözlenmiştir.

a. Birinci Uygulama ve Çözümü

Bu uygulamada örnek uygulamadaki araç bilgilerinden yüklü ağırlık 20.000 kg olarak değiştirilmiştir. Diğer bilgiler aynı kalacaktır.

Yukarıdaki bilgiler arayüz yardımıyla girildikten sonra “verileri hesapla” komutuyla veriler oluşturulur. Şekil-40’da “en hızlı yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir.



Şekil-40: Birinci Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı

Birinci uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en hızlı yolun çözümü Şekil-41’de olduğu gibidir.

VERİLERİ HESAPLA

EN KISA YOL

EN HIZLI YOL

ÇIKIŞ

İşlem Tamamlandı.

42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en hızlı mesafe= 1348.713 dakika ve 1393.492 km
Güzergah: 6<--- 120<--- 122<--- 162<--- 163<--- 164<--- 166<--- 167<--- 229<---
265<--- 272<--- 275<--- 277<--- 278<--- 285<--- 283<--- 284<--- 297<--- 357<---
403<--- 404<--- 440<--- 441<--- 424<--- 42

Şekil-41: Birinci Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu

Şekil-42’de “en kısa yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir. En hızlı ve en kısa yolların farklı güzergâhlardan oluştuğu görülmektedir.

en_hızlı_yol.mxd - ArcMap - ArcInfo

File Edit View Bookmarks Insert Selection Tools Window Help

1:9,000,000

AGIR ARAÇLAR İÇİN EGİM VE VIRAJA GÖRE EN HIZLI YOLUN BULUNMASI

0 5 ft 10 ft
0 1 m 2.5 m
scale

0.91 m (3 ft)
1.22 m (4 ft)
1.35 m (4.42 ft)
1.28 m (4.2 ft)
5.30 m (17.4 ft)
5.95 m (19.5 ft)

ARAÇ BİLGİLERİ

Genişliği giriniz : 2.5 (m)
Yüksekliği giriniz : 3.5 (m)
Yükü Ağırlığı giriniz : 20000 (kg)
Max tırmanma kabiliyetini giriniz : 50 (%)
Dönme kabiliyetini giriniz : 19 (m)
Belirlediğiniz max hızı giriniz : 90 (km/saat)
Motor gücünü giriniz : 300 (kW)
Askeri yük sınıfını giriniz : 50

Çıkış Noktası : 42
Varış Noktası : 6

VERİLERİ HESAPLA EN KISA YOL EN HIZLI YOL ÇIKIŞ

İşlem Tamamlandı.

42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en kısa mesafe= 1384.526 km ve 1431.919 dakika
Güzergah: 6<--- 120<--- 394<--- 660<--- 625<--- 424<--- 42

Number of features selected: 6

-2198978.344 1698383.095 Meters

Şekil-42: Birinci Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı

Birinci uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en kısa yolun çözümü Şekil-43’de olduğu gibidir.

The screenshot shows a software interface with four buttons at the top: "VERİLERİ HESAPLA", "EN KISA YOL" (highlighted with a blue border), "EN HIZLI YOL", and "ÇIKIŞ". Below the buttons, a status message reads "İşlem Tamamlandı.". A large text box displays the following information: "42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en kısa mesafe= 1384.526 km ve 1431.919 dakika" and "Güzergah: 6<--- 120<--- 394<--- 660<--- 625<--- 424<--- 42".

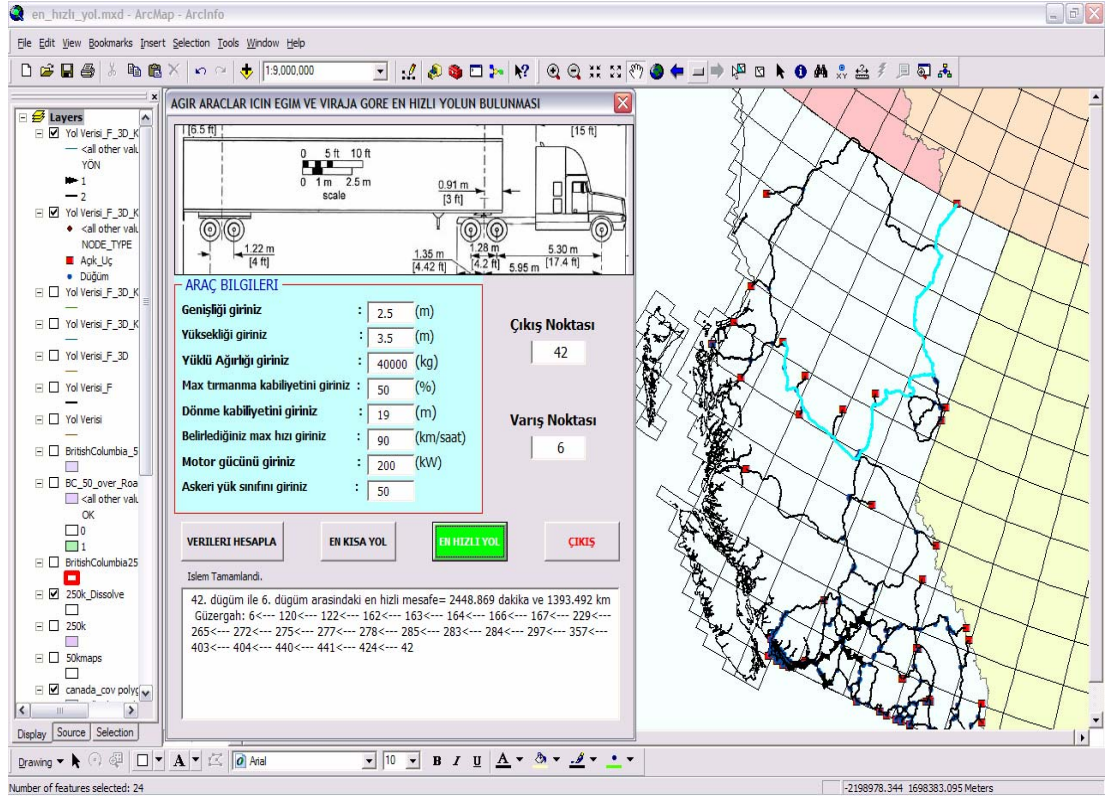
Şekil-43: Birinci Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu

b. İkinci Uygulama ve Çözümü

Örnek uygulamadaki araç bilgilerinden motor gücü (P_e), 200 kW olarak değiştirilmiştir. Diğer bilgiler aynı kalacaktır.

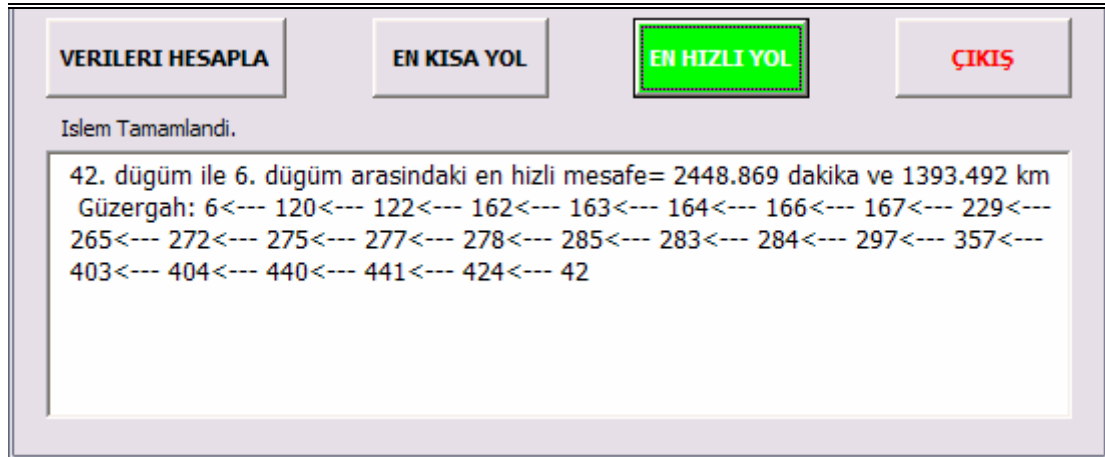
Şekil-44’de “en hızlı yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir.

Şekilden de anlaşılacağı üzere güzergâh birinci uygulamadaki en hızlı yolun güzergâhıyla aynıdır.



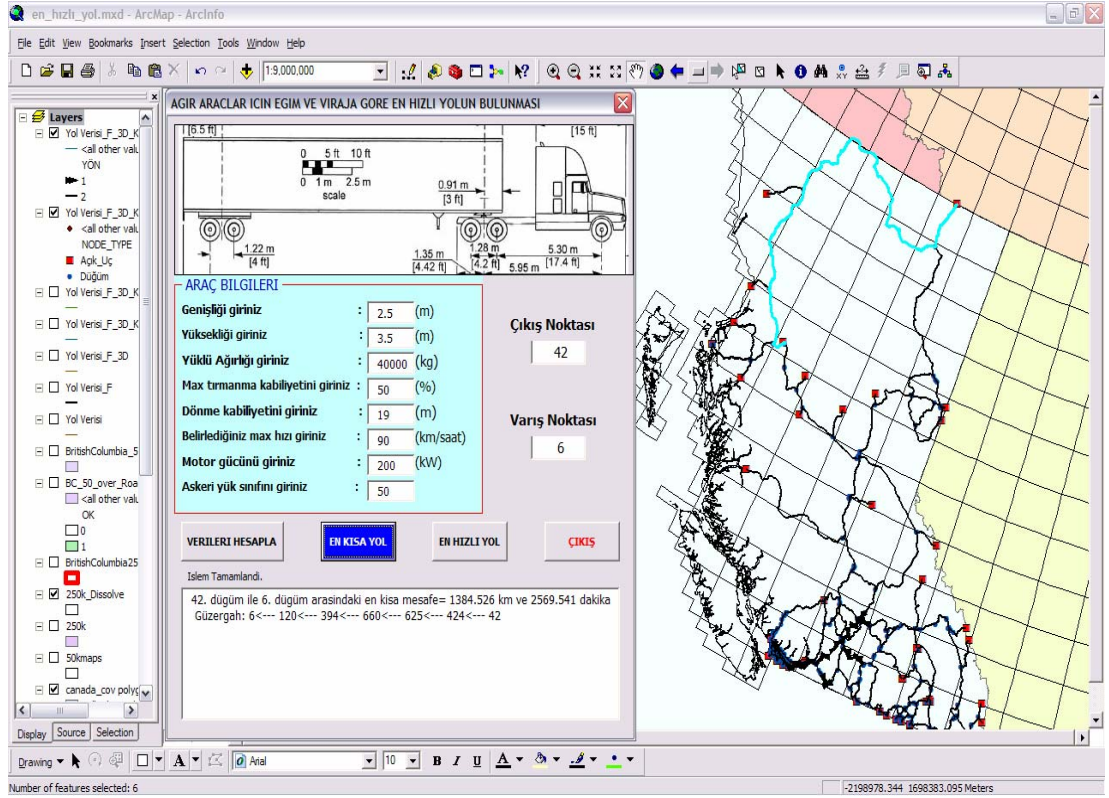
Şekil-44: İkinci Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı

İkinci uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en hızlı yolun çözümü Şekil-45’de olduğu gibidir.



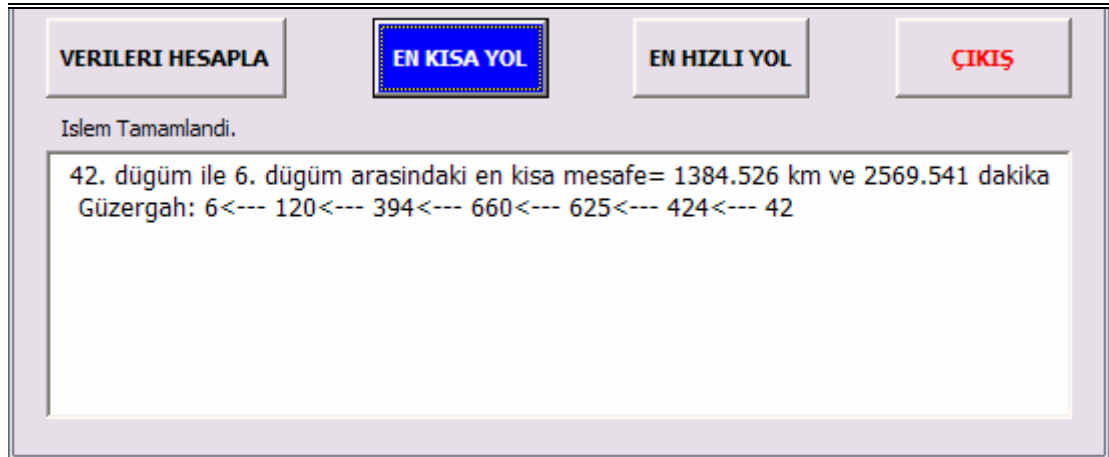
Şekil-45: İkinci Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu

Şekil-46’da “en kısa yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir. En hızlı ve en kısa yolların farklı güzergâhlardan oluştuğu görülmektedir.

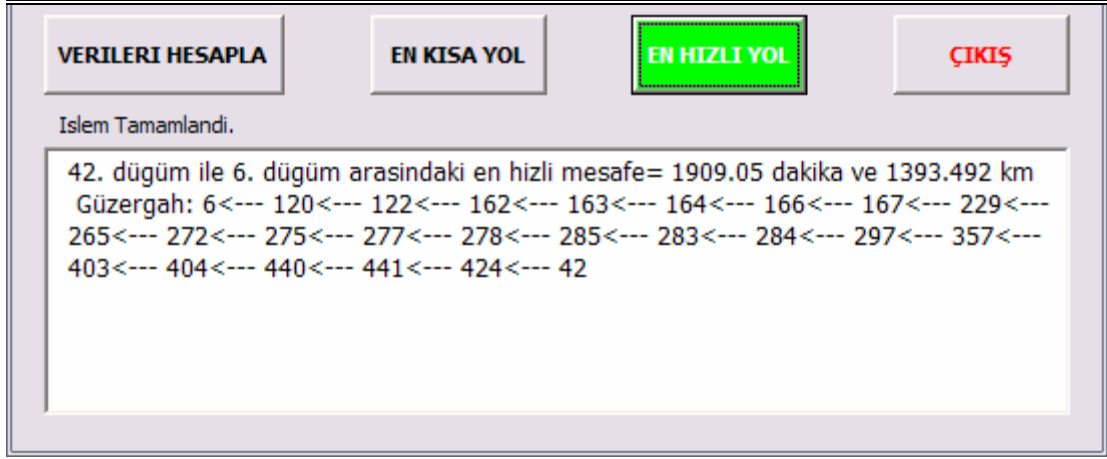


Şekil-46: İkinci Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı

İkinci uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en kısa yolun çözümü Şekil-47’de olduğu gibidir.

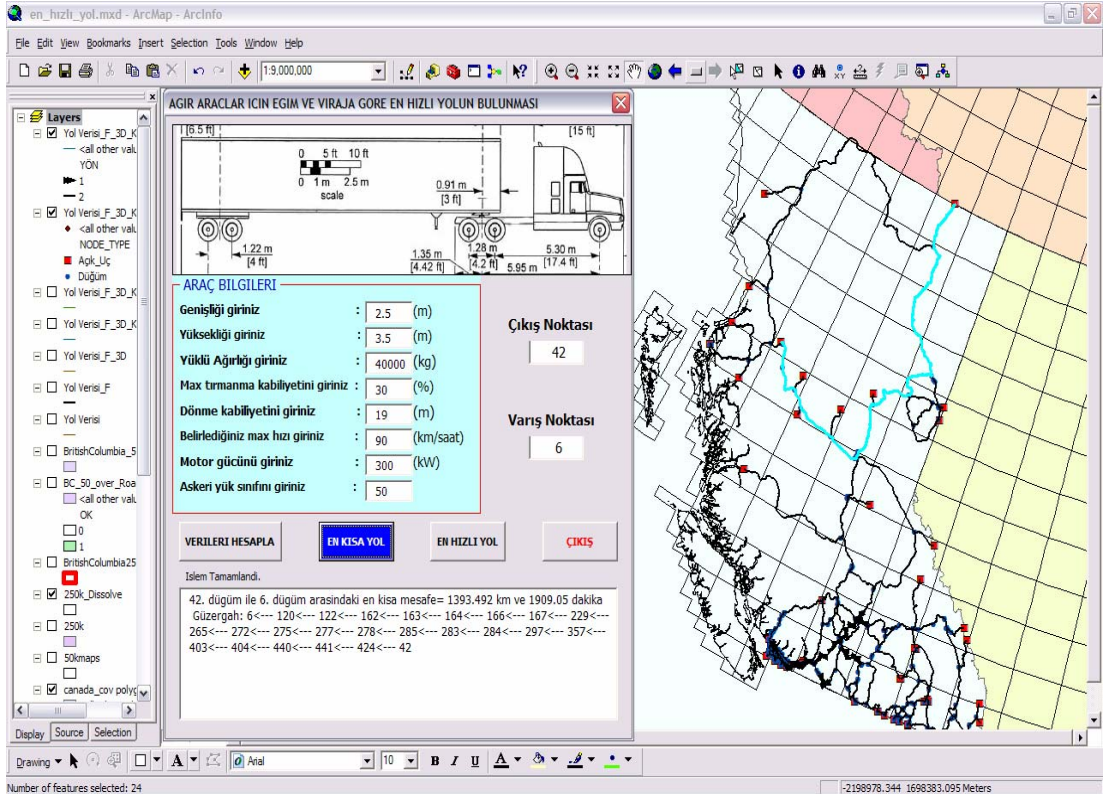


Şekil-47: İkinci Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu



Şekil-49: Üçüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu

Şekil-50’de “en kısa yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir. En hızlı ve en kısa yolların aynı güzergâh olduğu görülmektedir. Bunun sebebi aracın tırmanma kabiliyetinin % 30 a düşürülmesidir.



Şekil-50: Üçüncü Uygulama En Kısa Yol Çözüm Ekranı

Üçüncü uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en kısa yolun çözümü Şekil-51’de olduğu gibidir.

VERİLERİ HESAPLA

EN KISA YOL

EN HIZLI YOL

ÇIKIŞ

İşlem Tamamlandı.

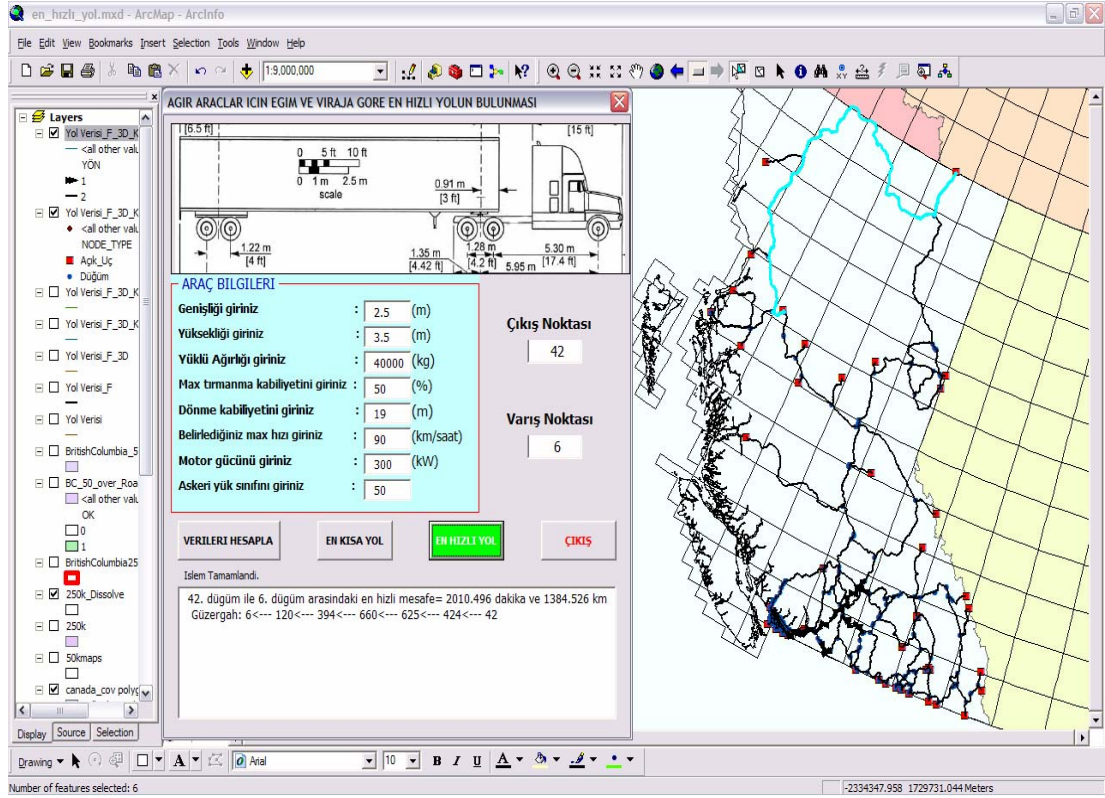
42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en kısa mesafe= 1393.492 km ve 1909.05 dakika
Güzergah: 6<--- 120<--- 122<--- 162<--- 163<--- 164<--- 166<--- 167<--- 229<---
265<--- 272<--- 275<--- 277<--- 278<--- 285<--- 283<--- 284<--- 297<--- 357<---
403<--- 404<--- 440<--- 441<--- 424<--- 42

Şekil-51: Üçüncü Uygulama En Kısa Yol Çözümü Metin Kutusu

ç. Dördüncü Uygulama ve Çözümü

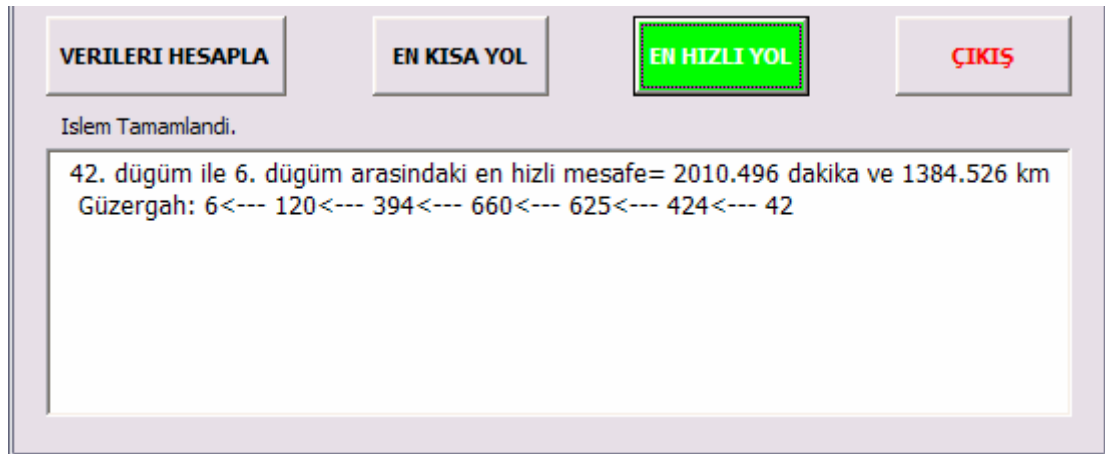
Örnek uygulamadaki en hızlı güzergâha ait -en kısa güzergâhla ortak olmayan- yolların genişlikleri 2 m olarak değiştirilmiştir. Diğer bilgiler aynı kalacaktır. Çözüm neticesinde en hızlı ve en kısa yolların aynı güzergâh olması beklenmektedir. Çünkü örnek uygulamada çıkış ve varış noktası arasındaki en hızlı güzergâhın yol genişliği araç genişliğinden daha küçük bir değere düşürüldüğü için aracın bu güzergâhı kullanmaması gerekmektedir. Dolayısıyla geriye sadece en kısa yolun bulunduğu güzergâh kalacaktır.

Şekil-52’de “en hızlı yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir.



Şekil-52: Dördüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözüm Ekranı

Dördüncü uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en hızlı yolun çözümü Şekil-53’de olduğu gibidir.



Şekil-53: Dördüncü Uygulama En Hızlı Yol Çözümü Metin Kutusu

Şekil-54’de “en kısa yol” komutuyla hesaplanan çözüm görülmektedir. En hızlı ve en kısa yolların beklendiği gibi aynı güzergâh

en_hizli_yol.mxd - ArcInfo - ArcInfo

File Edit View Bookmarks Insert Selection Tools Window Help

1:9,000,000

Layers

- ☒ Yol Versi_F_30_K
 - call other val.
 - YÖN
 - 1
 - 2
- ☒ Yol Versi_F_30_K
 - ◆ call other val.
 - NODE TYPE
 - Aplık
 - Düğüm
- ☐ Yol Versi_F_30_K
- ☐ Yol Versi_F_30_K
- ☐ Yol Versi_F_30
- ☐ Yol Versi_F
- ☐ Yol Versi
- ☐ BritishColumbia_5
- ☐ BC_50_over_Roa
 - call other val.
 - OK
 - 0
 - 1
- ☐ BritishColumbia25
- ☒ 250k_Dissolve
- ☐ 250k
- ☐ 50kmap
- ☒ canada_cov_polyv

Display Source Selection

AGIR ARACLAR ICIN EGIM VE VIRAJA GORE EN HIZLI YOLUN BULUNMASI

Diagram showing a truck on a road with dimensions: 16.5 ft, 15 ft, 0.91 m (3 ft), 1.22 m (4 ft), 1.35 m (4.42 ft), 1.28 m (4.2 ft), 5.30 m (17.4 ft), 5.95 m.

ARAÇ BİLGİLERİ

Genişliği giriniz : 2.5 (m)

Yüksekliği giriniz : 3.5 (m)

Yükü Ağırlığı giriniz : 40000 (kg)

Max tırmanma kabiliyetini giriniz : 50 (%)

Dönme kabiliyetini giriniz : 19 (m)

Belirlediğiniz max hızı giriniz : 90 (km/saat)

Motor gücünü giriniz : 300 (kW)

Askeri yük sınıfını giriniz : 50

Çıkış Noktası : 42

Varış Noktası : 6

VERİLERİ HESAPLA

EN KISA YOL

EN HIZLI YOL

ÇIKIŞ

İstem Tamamlandı.

42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en kısa mesafe= 1384.526 km ve 2010.496 dakika

Güzergah: 6<--- 120<--- 394<--- 660<--- 625<--- 424<--- 42

Number of features selected: 6

-2334347,958 -1729731,044 Meters

Dördüncü uygulamaya ait arayüz metin kutusuna yazdırılan en kısa yolun çözümü Şekil-55’de olduğu gibidir.

VERİLERİ HESAPLA

EN KISA YOL

EN HIZLI YOL

ÇIKIŞ

İşlem Tamamlandı.

42. düğüm ile 6. düğüm arasındaki en kısa mesafe= 1384.526 km ve 2010.496 dakika
Güzergah: 6<--- 120<--- 394<--- 660<--- 625<--- 424<--- 42

82

3. UYGULAMALARIN ÇÖZÜMLERİNİN YORUMLANMASI

Yukarıdaki örnek uygulama ve uygulamalara ait sonuçlar Tablo-18’de sunulmuştur. Tabloda uygulamalar için mevcut araç bilgileri örnek uygulamaya ait araç bilgilerinden farklılık gösteren araç bilgileridir. Diğer araç bilgileri örnek uygulamadaki araç bilgileriyle aynıdır.

Tablo-18: 42 Düğüm Numaralı Çıkış Noktası ile 6 Düğüm Numaralı Varış Noktasına İlişkin Uygulama Sonuçları

Uygulamalar	Araç ve Yol Bilgileri	En Kısa Yol		En Hızlı Yol	
		Süre(min)	Mesafe(km)	Süre(min)	Mesafe(km)
Örnek Uygulama	W=40.000 kg Pe=300 kW GV=% 50 RV=19 m WV=2.5 m HV=3 m LV=50	2010,496	1384,526	1909,05	1393,492
1. Uygulama	LV=20.000 kg	1431,919	1384,526	1348,713	1393,492
2. Uygulama	Pe=200 kW	2569,541	1384,526	2448,869	1393,492
3. Uygulama	GV=% 30	1909,05	1393,492	1909,05	1393,492
4. Uygulama	WR _{ij} =2 m	2010,496	1384,526	2010,496	1384,526

Tablo-18 incelendiğinde, birinci uygulamada, örnek uygulamadaki aracın yüklü ağırlığının 40.000 kg dan 20.000 kg a düşürüldüğü; en kısa yolda 578,577 dakika ile ve en hızlı yolda 560,337 dakika ile birinci uygulamanın daha kısa olduğu görülmektedir. Elde edilen güzergâhlar ise aynıdır. Bu durum aracın yüklü ağırlığına bağlı olarak hem en kısa yolda hem en hızlı yolda intikal süresinin değiştiğini; ağırlık azaldığında sürenin kısaldığını göstermektedir.

Tablo-18 incelendiğinde, ikinci uygulamada, örnek uygulamadaki aracın motor gücünün 300 kW dan 200 kW ya düşürüldüğü; en kısa yolda 559,045 dakika ile ve en hızlı yolda 539,819 dakika ile ikinci uygulamanın daha uzun olduğu görülmektedir. Elde edilen güzergâhlar ise aynıdır. Bu durum aracın motor gücüne bağlı olarak hem en kısa yolda hem en hızlı yolda intikal süresinin değiştiğini; motor gücünün azaldığında sürenin arttığını göstermektedir.

Tablo-18 incelendiğinde, üçüncü uygulamada, örnek uygulamadaki aracın tırmanma kabiliyeti % 50 den % 30 a düşürüldüğünde; örnek uygulamadaki en kısa yoldan geçemediği; en hızlı yolun üçüncü uygulamada hem en kısa hem de en hızlı yol olduğu görülmektedir. Süre açısından da, kat etme süresi değişmemiştir. Çünkü kat etme süresine tesir edecek bir değişiklik yapılmamıştır. Tırmanma kabiliyeti, modelde yer alan bir kısıt olduğu için sadece aracın o yoldan geçip geçemeyeceğine etki etmektedir.

Tablo-18 incelendiğinde dördüncü uygulamada, örnek uygulamadaki sadece en hızlı yolun güzergâhına ait, en kısa yol ile ortak olmayan yolların genişlikleri 2 m ye düşürüldüğünde aracın örnek uygulamadaki en hızlı yoldan geçemediği; en kısa yolun dördüncü uygulamada hem en kısa hem de en hızlı yol olduğu görülmektedir. Süre açısından da, kat etme süresi değişmemiştir. Çünkü kat etme süresine tesir edecek bir değişiklik yapılmamıştır. Yol genişliği, modelde yer alan bir kısıt olduğu için sadece aracın o yoldan geçip geçemeyeceğine etki etmektedir.

Sonuç olarak araç performansının ve yolun topoğrafik özelliklerinin hız üzerindeki etkisi dolayısıyla en hızlı yolun belirlenmesindeki etkisi küçümsenemeyecek derecede önemlidir.

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. SONUÇLAR

Ağır araçlar için en hızlı yol hesaplamalarında intikal süresi kullanılan en önemli unsurdur. İntikal sürelerinin hesaplanmasında genellikle trafik yoğunluğu ve sabit hızlar kullanılmakta aracın performansı ve yolun topoğrafik özellikleri dikkate alınmamaktadır. Halbuki eğimli yollarda ağır araçların hızı, motor gücü ve yüklü ağırlıklarına göre önemli değişiklikler göstermektedir. Bu sebepten dolayı bu çalışmada ağır araçlar için en hızlı yol hesaplamalarında yolun eğimi ve virajları dikkate alınarak en hızlı/en kısa güzergâhı belirleyen bir model ve KDS önerilmiştir.

Ayrıca aracın tırmanma ve dönme kabiliyeti ile genişlik, yükseklik ve yüklü ağırlığına göre geçemeyeceği yol kesimleri tespit edilerek en hızlı/en kısa güzergâh elde edilmiştir. Bunu yaparken iki düğüm arasındaki eğim, CBS'den istifade ederek düğümler arasındaki verteksler yardımıyla 30 m den küçük dilimler şeklinde hesaplanmış ve gerçeğe uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmada, ağır araçların ağırlık ve güç kapasitelerine göre eğimli yolda hız performansının ne ölçüde etkilendiği ve bu etkinin arzu edilen hıza göre nasıl değiştiği ortaya konmuştur. Önerilen KDS'de aracın yüklü ağırlığı, motor gücü, tırmanma kabiliyeti ve yol genişliğine göre örnek uygulamalar yapılmıştır. Aracın ağırlığı ve motor gücüne göre yapılan ilk iki uygulama örnek uygulama ile karşılaştırıldığında kat etme sürelerinin aracın ağırlığının arttıkça arttığı, motor gücünün arttıkça azaldığı görülmüştür. En kısa ve en hızlı yollar karşılaştırıldığında ise en hızlı yolların, en kısa yollardan mesafe olarak daha uzun olmasına rağmen daha kısa sürede kat edilebildiği görülmüştür. Tırmanma kabiliyeti ve yol genişliğine göre yapılan son iki

uygulamada ise aracın tırmanma kabiliyetinden daha büyük bir eğimin olması ve aracın genişliğinden daha dar bir yolun olması durumunda aracın ilgili güzergâhtan geçemediği gözlenmiştir.

Sonuç olarak ağır araçlar için eğim ve viraj yarıçapı dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda en kısa yolun süre ve mesafe açısından farklı olabileceği görülmüştür. Bu sebeple askeri ve lojistik faaliyetlerde kullanılan ağır araçlar için güzergâh hesaplamalarında eğim ve virajların dikkate alınmasının zorunlu olduğu tespit edilmiştir.

2. ÖNERİLER

Zamanın çok önemli olduğu hallerde özellikle seferberlik ve savaş durumlarında ağır askeri araç intikallerinin (tank ve iş makinesi nakli vb.) planlanmasında önerilen KDS'nin etkin bir şekilde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

KDS ile tespit edilen en hızlı yolun kat etme süresi mesafesine bölünerek ortalama intikal hızı belirlenebilir. Bu sayede konvoylar için gidilecek güzergâhın eğim ve viraj durumuna uygun ortalama intikal hızı tespit edilerek kopmaların önlenilebileceği ve konvoyların intikal zamanlarının daha hassas bir şekilde tespit edilebileceği değerlendirilmektedir.

Önerilen KDS'de sürücünün ilgili yola herhangi bir keşif faaliyeti icra etmesine gerek kalmadan aracın geçip geçemeyeceği belirlenebilecek; dolayısıyla zamandan tasarruf sağlanacaktır.

Yapılan çalışmada en iyi sonucu elde etmek için CBS'den elde edilen verilerin sıklığının artırılması gerekir. Bu maksatla çalışmada kullanılan 1:50000 ölçekli vektör verileri daha büyük ölçekte temin edildiği takdirde daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.

Bu çalışmada ülkemiz için hedeflenen ölçekte vektör veriler temin edilemediği için uygulama Kanada'nın British Columbia eyaleti için yapılmıştır. Gerekli vektör verilerin temin edilmesi durumunda aynı çalışma ülkemiz için de yapılabilir.

Çalışmada viraj yarıçapına göre hesaplanan hız, eğime bağlı hızdan düşük olduğu taktirde viraj boyunca hız sabit kabul edilmektedir. Görüş mesafesine göre viraja girmeden önceki araç hızına bağlı olarak yavaşlama ve hızlanma ivmeleri tespit edilerek önerilen KDS geliştirilebilir.

Çalışmada hava durumunun rüzgarsız ve yağış olmadığı varsayılmıştır. Hava durumunun değişken olduğu, mevsimsel ve bölgesel olarak farklılık gösterebileceği düşünüldüğünde özellikle yağışlı ve karlı hava koşullarında araç hızlarında değişiklikler meydana gelecektir. Hava tahmin raporlarından istifade ederek hava koşulları, oluşturulan KDS ile bütünleştirildiği taktirde mevcut KDS geliştirilebilir.

Önerilen KDS'de trafik yoğunluğu hesaba katılmamıştır. Mevcut çalışma zamana bağımlı trafik yoğunluğu dikkate alınarak geliştirilebilir.

Çalışmada önerilen KDS kullanılarak navigasyon sistemleri geliştirilebilir.

Önerilen KDS'den istifade ederek ağır araçların iniş eğimli ve virajlı yollara girmeden önce sürücünün ikaz edilerek hesaplanan emniyetli hız ayarlaması için navigasyon sistemleri geliştirilebilir veya araçlar için emniyetli hız kontrol sistemleri geliştirilebilir.

Çalışmada kullanılan yol izlenerek yaya askeri birliklerin arazinin eğimine bağlı olarak en hızlı intikal güzergâhları, personelin teçhizatlı olarak belirlenecek kalori tüketme kapasitesinin eğime bağlı değişimine göre hesaplanabilir.

KAYNAKÇA

Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik, 23.09.2004, 25592, Resmi Gazete.

AHANOTU, Dike N. **Heavy-Duty Vehicle Weight and Horsepower Distributions: Measurement of Class-Specific Temporal and Spatial Variability**, Ph. D., Georgia Institute of Technology, 1999.

AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, American Assoc. of State Highway and Transportation Officials, 2001.

ALTAN, M. O., F. G. TOZ, Z. CAN ve H. TAŞTAN. "Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde Veritabanı ve Bilgi Sistemleri", **İTÜ Dergisi**, Cilt 49, Sayı 4, 1991, 35–44.

ARASAN, V. T. and S. S. ARKATKAR. "Modelling Heterogeneous Traffic Flow on Upgrades of Intercity Roads", **Transport** , 25(2), 2010, 129–137.

AYMAN, A. Abdul-Mawjoud and G. Sofia GANDHI. "Development of Models for Predicting Speed on Horizontal Curves for Two Lane Rural Highways", **The Arabian Journal for Science and Engineering**, Volume 33. Number 2B, 2008, 365-377.

BAYAR, K. **Modeling of the Dynamics of Multi-Axle Steered Vehicles**, Master Thesis, Ankara, METU, 2006.

BENNETT, Christopher R. **A Speed Prediction Model for Rural Two-Lane Highways**, Ph. D., New Zeland, The University of Auckland, 1994.

BOYALI, A. **Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi ve Kontrolü**, Doktora Tezi, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

BROCKENBROUGH, R. L. **Highway Engineering Handbook : Building and Rehabilitating the Infrastructure**, McGraw-Hill Inc., 3rd Edition, New York, 2009.

CHEN, Y. L. and K. TANG. "Minimum Time Paths in a Network with Mixed Time Constraints", **Computers and Operations Research**, Volume 25, Issue 10, 1998, 793-805.

CHEN, Y. L. and H: H. YANG. "Minimization of Travel Time and Weighted Number of Stops in a Traffic Light Network", **European Journal of Operational Research**, Volume 144, Issue 3, 2003, 565-580.

CHEN, Y. L. and H: H. YANG. "Finding the First K Shortest Paths in a Time-Window Network", **Computers and Operations Research**, Volume 31, Issue 4, 2004, 499-513.

ÇETİNKAYA, S. **Taşıt Mekaniği**, Nobel Yayın Dağıtım, 3. Baskı, Ankara, 2004.

ÇİÇEK, Y. **Kare Grid Yapılı Sayısal Yükseklik Modellerinden Eşyükseklik Eğrilerinin Hesaplanması**, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, K.T.Ü., 1990.

DIJKSTRA, E. W. "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs", **Journal of Numerical Mathematics**, 1, 1959, 269–271.

DREZNER, Z. And G. O. WESOLOWSKY. "Selecting an Optimum Configuration of One-Way and Two-Way Routes", **Transportation Science**, Volume 31, 1997, 386-394.

ESRI. **Surface Modeling with TIN**, Esri Press, Redlands California, ABD, 1992.

FHWA. **Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways**, Publication 99-171, Federal Highway Administration (FHWA), US Department of Transportation, Washington, D.C., 2000.

FHWA. **Traffic Monitoring Guide**, Federal Highway Administration (FHWA), US Department of Transportation, Washington, D.C., 2001.
<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tmguide/>

GeoBase Portalı. Kanada Geomatik Konseyi. 23 Nisan 2011
<http://www.geobase.ca>.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992.

GUTIERREZ, E. and A. L. MEDAGLIA. "Labeling Algorithm for the Shortest Path Problem with Turn Prohibitions with Application to Large-Scale Road Networks", **Annals of Operations Research**, Volume 157, Issue 1, 2008, 169-182.

HALL, R. W. "The Fastest Path through a Network with Random Time-Dependent Travel Times", **Transportation Science**, Volume 20, 1986, 182-188.

HILLIER, Frederick S. and Gerald J. LIEBERMAN. **Introduction to Operations Research**, McGraw-Hill Inc., 6th Edition, USA, 1995.

HUANG, B. and X. PAN. "GIS Coupled with Traffic Simulation and Optimization for Incident Response", **Computers, Environment and Urban Systems**, Volume 31, Issue 2, 2007, 116-132.

JIGANG, W., S. JIN, H. JI and T. SRIKANTHAN. "Algorithm for Time-Dependent Shortest Safe Path on Transportation Networks", **Procedia Computer Science**, Volume 4, 2011, 958–966.

JUOSTAS, A. and A. JANULEVIČIUS. "Investigation of Tractor Engine Power and Economical Working Conditions Utilization During Transport Operation", **Transport**, 23(1), 2008, 37–43.

LAN, C-J. and M. MENENDEZ. "Truck Speed Profile Models for Critical Length of Grade", **Journal of Transportation Engineering– ASCE** 129(4), 2003, 408–419. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(408).

LUCIC, I. **Truck Modeling along Grade Sections**, Master Thesis, The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001. Available from Internet: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05162001-152228/unrestricted/ILucic_Thesis.pdf>.

LUGNER, P. "Tyre Models, Propulsion and Handling of Road Vehicles", **Dynamical Analysis of Vehicle Systems, CISM Courses and Lectures**, Volume 497, 2007, 129-182.

MARAŞ, H. H. **Sayısal Arazi Modeli Ürünleri**, Yüksek Lisans Tezi, Konya, Selçuk Üniversitesi, 1993.

MAVROMATIS, S. and B. PSARIANOS. "Analytical Model to Determine the Influence of Horizontal Alignment of Two-Axle Heavy Vehicles on Upgrades", **Journal of Transportation Engineering– ASCE** 129(6), 2003, 583-589. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:6(583)

MONTGOMERY, G. and H. SCHUCH. **GIS Data Conversion Handbook**, GIS World Books, GIS World Inc., 1993.

NATO STANAG (North Atlantic Treaty Organization, Standardization Agreement) 2021. **Military Computation of Bridge, Ferry, Raft and Vehicle Classifications**, NATO, 18 September 1990.

NICHOLAS, J. Garber and A. Hoel LESTER. **Traffic and Highway Engineering**, Nelson Engineering, Fourth Edition, USA, 2009.

PANAHI, S. and M. R. DELAVAR. "Dynamic Shortest Path in Ambulance Routing Based on GIS", **International Journal of Geoinformatics**, Volume 5, Issue 1, 2009, 13–19.

RAKHA, H. and B. YU. "Truck Performance Curves Reflective of Truck and Pavement Characteristics." **Journal of Transportation Engineering– ASCE** 130(6), 2004, 753–767.

RAY, J. J. "A Web-Based Spatial Decision Support System Optimizes Routes for Oversize/Overweight Vehicles in Delaware", **Decision Support Systems**, Volume 43, 2007, 1171-1185.

SAHLHOLM, P. and K. Henrik JOHANSSON. "Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control Using Multiple Measurement Runs", **Control Engineering Practice**, 2009. doi:10.1016/j.conengprac.2009.09.007

STAR, J. and J. ESTES. **Geographical Information Systems: An Introduction**, Prentice Hall, New Jersey, 1990.

TAHA, Hamdy A. **Yöneyem Araştırması**, (Çev. S. Alp BARAY ve Sakir ESNAF), İstanbul, Literatür Yayınları, 2000.

TAŞTAN, H., E. BANK. "Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Konuma Bağlı Analizler", **1. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu**, Trabzon, 1994, 33-52.

THOMAS, W. and C. C. WHITE. "The Dynamic Shortest Path Problem with Anticipation", **European Journal of Operational Research**, Volume 176, Issue 2, 2007, 836-854.

YEŞİLIRMAK, M. **Taşıtlarda İvme Analizi ve Matematiksel Modellemesi**, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

YOMRALIOĞLU, T. **Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar**, İstanbul, Seçil Ofset, 2000.

YU, B. **Modeling Truck Motion along Grade Sections**, Ph. D., The Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005.

EKLER

EK-A : FHWA ARAÇ SINIFLARI

EK-B : İVME VE HIZ ARASINDAKİ BAĞINTILAR

FHWA ARAÇ SINIFLARI

1. Motosikletler : Bütün iki veya üç tekerlekli motorlu araçlar.

2. Otomobiller

3. Diğer İki Akslı, Dört Tekerlekli Tek Ünite Araçlar: Otomobiller haricindeki bütün iki akslı dört tekerlekli araçlar.

4. Otobüsler

5. İki Akslı, Altı Tekerlekli, Tek Ünite Yük Araçları

6. Üç Akslı Tek Ünite Yük Araçları

7. Dört veya Daha Fazla Akslı Tek Ünite Yük Araçları

8. Dört veya Daha Az Akslı Tek Treylerli Yük Araçları: İki üniteden oluşan(bir tanesi çekici), dört veya daha az aksa sahip bütün araçlar.

9. Beş Akslı Tek Treylerli Yük Araçları: İki üniteden oluşan(bir tanesi çekici), beş aksa sahip bütün araçlar.

10. Altı veya Daha Fazla Akslı Tek Treylerli Yük Araçları: İki üniteden oluşan(bir tanesi çekici), altı veya daha fazla aksa sahip bütün araçlar.

11. Beş veya Daha Az Akslı Çok Treylerli Yük Araçları: Üç veya daha fazla üniteden oluşan(bir tanesi çekici), beş veya daha az aksa sahip bütün araçlar.

12. Altı Akslı Çok Treylerli Yük Araçları:  veya daha fazla üniteden oluşan(bir tanesi çekici), altı aksa sahip bütün araçlar.

13. Yedi veya Daha Fazla Akslı Çok Treylerli Yük Araçları:  veya daha fazla üniteden oluşan(bir tanesi çekici), yedi veya daha fazla aksa sahip bütün araçlar.

İVME VE HIZ ARASINDAKİ BAĞINTILAR

1. HIZ

Birim zamandaki yer değıştirme miktarına hız denilmektedir ve hız, ivmenin zamana göre değışimi olarak da tanımlanmakta ve birimi m/s ya da km/h olarak SI birim sisteminde ifade edilmektedir. Hız V sembolü ile gösterilir ve vektörel bir büyüklüktür. Hız,

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

şeklinde tanımlanır.

Hız vektörel büyüklük olduğundan, hızın işareti hareketin yönünü gösterir. Hız (+) işaretli ise araç (+) seçilen yönde, (–) işaretli ise, (–) seçilen yönde gidiyordur.

2. İVME

Birim zamandaki hız değışimine ivme denir. a sembolü ile gösterilir ve vektörel bir büyüklüktür. Cismin t_1 anındaki hızı V_1 , t_2 anındaki hızı V_2 ise, ivme;

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

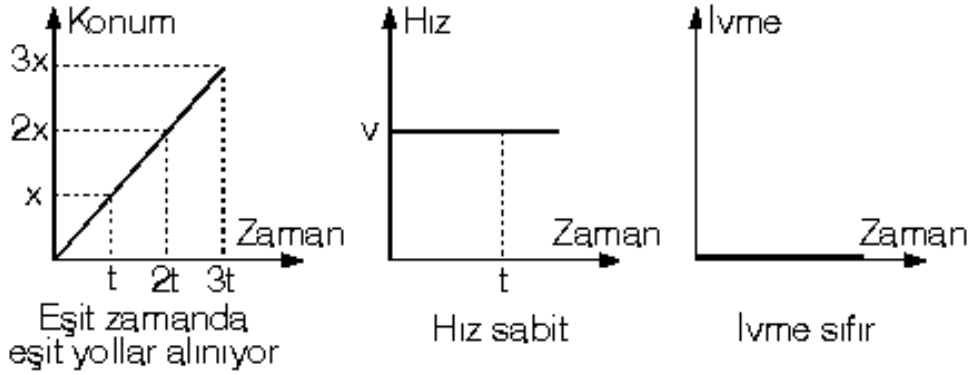
şeklinde ifade edilir. Birimi m/s^2 dir.

Hız değişimi yoksa, yani cismin hızı zamanla değişmiyorsa ivme sıfırdır. İvmenin olması için mutlaka hızın değişmesi gerekir. Ayrıca ivme sabit ise hız her saniye ivme kadar artıyor ya da azalıyor. İvme sıfır ise, araç ya duruyordur ya da sabit hızla gidiyordur.

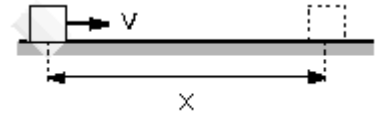
3. DOĞRUSAL HAREKET ÇEŞİTLERİ

a. Düzgün Doğrusal Hareket

Doğrusal yolda hareket eden bir cisim, eşit zaman aralıklarında eşit yer değiştirmelere sahipse bu harekete düzgün doğrusal hareket, sahip olduğu hız da sabit hız denir. Bu hareket tipinde hız sabittir. Dolayısıyla ivme sıfırdır.



Yukarıdaki grafikler, pozitif yönde hareket eden araca ait grafiklerdir. V sabit hızı ile düzgün doğrusal hareket yapan cismin aldığı yol

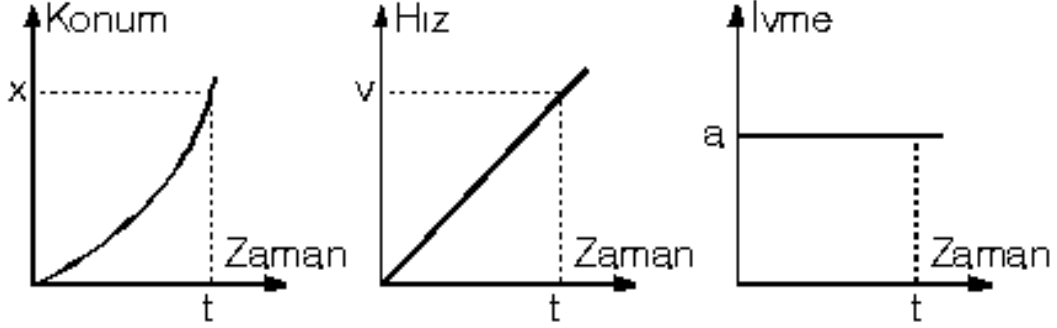


$$X = V \cdot t \quad \text{bağıntısı ile bulunur.}$$

b. Düzgün Değişen Doğrusal Hareket

Doğrusal bir yolda hareket eden aracın hızı düzgün değişiyorsa bu harekete düzgün değişen doğrusal hareket denir. Bu harekette ivme sabit olduğundan sabit ivmeli hareket de denilir. İvmenin sabit olması, aracın hızının her saniye ivme kadar artması ya da azalması demektir. Cismin hızı artıyorsa düzgün hızlanan, cismin hızı azalıyorsa düzgün yavaşlayan doğrusal hareket denir.

Pozitif yönde düzgün hızlanan araca ait grafikler aşağıdaki gibidir.



Düzgün değişen doğrusal hareket için hız aşağıdaki bağıntılar yardımı ile bulunabilir.

$$V_2^2 = V_1^2 + 2a (x_2 - x_1)$$

$$V_2 = V_1 + a t$$

Aşağıda düzgün değişen doğrusal hareket yapan araç için kat edilen mesafe ve ivme değerleri bilindiği durumlarda hızlanma ve yavaşlama neticesindeki hız hesaplamaları gösterilmiştir.

Hızlanma Neticesinde Ulaşılan Hız;

Aracın İlk Hızı (V_1)	10 m/s
Aracın Hızlanma İvmesi (a)	0,5 m/s ²
Kat Edilen Mesafe ($x_2 - x_1$)	96 m
Aracın Son Hızı (V_2)	$\sqrt{10^2 + 2 * 0,5 * 96} = 14 \text{ m/s}$

Yavaşlama Neticesinde Ulaşılan Hız;

Aracın İlk Hızı (V_1)	25 m/s
Aracın Yavaşlama İvmesi (a)	-2 m/s ²
Kat Edilen Mesafe ($x_2 - x_1$)	100 m
Aracın Son Hızı (V_2)	$\sqrt{25^2 - 2 * 2 * 100} = 15 \text{ m/s}$

