

AĞIR ARAÇLAR İÇİN YOL EĞİMİ VE VİRAJ YARIÇAPI DİKKATE ALINARAK EN HIZLI GÜZERGÂHIN BELİRLENMESİ

Hasan KUMAŞ^a, Cevriye GENCER^b, Hakan MARAŞ^c

^aHarekat Araştırması ABD., Savunma Bilimleri Ens., KHO, 06654, Ankara

^bEndüstri Müh. Böl., Mühendislik Fak., Gazi Üni., 06570, Maltepe, Ankara

^cFotogrametri Daire Bşk., Harita Genel Komutanlığı, 06100, Dikimevi, Ankara

hkumas75@hotmail.com.tr, ctemel@gazi.edu.tr, hakan.maras@hgk.mil.tr

(Geliş/Received: 25.04.2011; Kabul/Accepted: 16.09.2011)

ÖZET

En kısa yol, süre açısından en kısa zamanda; maliyet açısından en küçük maliyet ile veya mesafe açısından en kısa mesafede kat edilen yoldur. Aracın sabit hızda yol aldığı varsayıldığında en kısa yol, en kısa zamanda kat edilen yol diğer bir ifadeyle en hızlı yol olarak kabul edilebilir. Oysa araçlar, yolların eğimi ve virajlar nedeniyle her zaman sabit hızda mesafe kat edemezler. Bu durumda da en hızlı yol, mesafesi en kısa olan yol olarak kabul edilemez. En hızlı yol için yolların eğimini ve viraj yarıçaplarını dikkate alan hesaplamalar yapılmalıdır. Bu çalışmada ağır araçlar için yolun eğimi, viraj yarıçapı, yolun genişliği, yüksekliği ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak en hızlı-en iyi güzergâhın belirlenmesi için bir model önerisinde bulunulmuştur. Bu maksatla öncelikle çalışmada araç hızını etkileyen faktörler üzerinde durulmuş; müteakiben ağır araçların eğimli ve virajlı yollarda hız hesaplamaları için kullanılan formüller açıklanmıştır. En hızlı güzergâhın belirlenmesinde, aracın tırmanma ve dönme kabiliyeti ile genişlik, yükseklik ve yüklü ağırlığına göre geçemeyeceği yol kesimlerini tespit etmek için Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır Araç, En Kısa Yol Problemi, En Hızlı Yol Problemi, CBS, Yol Eğimi, Viraj Yarıçapı.

DETERMINATION FASTEST PATH FOR HEAVY VEHICLES TAKING INTO ACCOUNT ROAD SLOPE AND HORIZONTAL CURVE RADIUS

ABSTRACT

The shortest path is the path which is traveled in the shortest time in terms of time, with the minimum cost in terms of cost or in the shortest distance in terms of distance. Assuming the vehicle traveling at a constant speed, the shortest path can be regarded as the path takes the least time in other words 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 fastest path can not be regarded as the shortest 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 was proposed to determine the fastest-the best route taking into account road slope, horizontal curve radius, road width, vertical road height and carrying capacity. For this purpose, first, study focused on factors affecting vehicle's speed, following formulas used for speed calculations of heavy vehicles on the vertical and the horizontal curved roads are explained. In determining the fastest route, to detect road sections that vehicle can not cross due to its climbing ability, cornering ability, width, height and loaded total weight, Geographic Information Systems (GIS) are employed.

Keywords: Heavy Vehicle, Shortest Path Problem, Fastest Path Problem, GIS, Road Slope, Curve Radius.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karayolu araçlarının, yolun durumu, araç performansı, sürücü, trafik durumu ve diğer faktörler gibi hızını etkileyen bir dizi faktör bulunmaktadır [1]. Viraj, eğim, yol genişliği, görüş mesafesi ve pürüzlülük araç hızını etkileyen yol durumlarıdır. Bunların içerisinde viraj ve eğim en önemli olanlarıdır [2]. 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.

Eğim aşağı ve yukarı olabilir. 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 girişi hızına bağlıdır [3].

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[4].

Bu çalışmada ağır araçlar için yolun eğimi, viraj yarıçapı, genişliği, düşey gabarisi ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak en hızlı yolun bulunmasına yönelik bir matematiksel model önerilerek örnek uygulama ile açıklanmıştır. Önerilen modele girdi sağlayacak verilerin hazırlanabilmesi için ağır araçlarla ilgili genel bilgiler verilmiş olup; eğim ve viraj yarıçapına bağlı olarak hız hesaplamaları anlatılmıştır.

2. AĞIR ARAÇLAR VE HIZ (HEAVY VEHICLES AND SPEED)

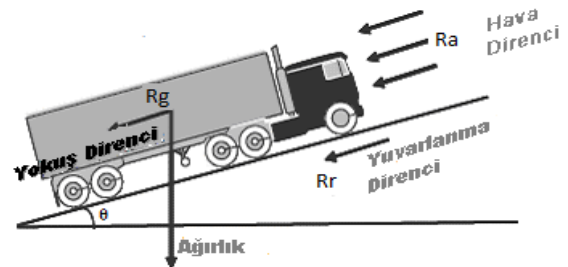
Araçlar dizaynlarına göre yolcu otomobilleri, otobüsler, kamyonlar ve karavanlar olmak üzere dört sınıfa ayrılır [5]. FHWA [6], araçları aks/treyler sayısına göre 13 sınıfa ayırmış ve 4. sınıf ve yukarıdaki sınıfları ağır araç olarak tanımlamıştır. The Environmental Protection Agency (EPA)'ye göre 8500 pound (3855 kg) ve daha fazla ağırlığa sahip araçlar ağır araç sınıfına girmektedir [7]. Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik [8] gereği yolcu

taşımak için kullanılan ve sürücü koltuğu haricinde 8'den 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. 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.

2.1. Eğimli yolda ivme ve hız hesabı (Acceleration and Speed Calculation On A Vertical Curved Road)

Hareket halindeki bir araca etkiyen kuvvetler, aracı hareket ettirici kuvvetler ve bu harekete direnç gösteren kuvvetler olmak üzere iki grupta değerlendirilebilir. Aracı hareket ettirici temel kuvvet; motor tarafından üretilerek, aktarma organları aracılığıyla tekerleklere 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 tekerleklere ulaşmaya kadar sürtünmelerle bir miktar kaybedilir. Bu kayıp enerji transmisyon kayıpları olarak bilinir ve transmisyon verimi (η_t) ile tanımlanmaktadır [9]. Motordan tekerleklere ulaşan güç, aktarma organlarındaki kayıplar dikkate alınarak, $P = P_e \eta_t$ şeklinde yazılabilir. Lan ve Menendez [10], transmisyon verimini 0,92 olarak kabul etmiştir. Tipik transmisyon verimliliği 0,89-0,94 aralığındadır [11]. Şekil 1'de eğimli yolda araca etkiyen kuvvetler görülmektedir. Herhangi bir eğimli yolda, sabit hızda seyretmekte olan bir aracın karşılaşıacağı dirençler; yokuş direnci (R_g), yuvarlanma direnci (R_r) ve hava direnci (R_a) [9, 10, 12-16].



Şekil 1. Yokuş Çıkan Araca Etkiyen Kuvvetler [13].
(Forces Acting On A Vehicle Ascending A Gradient)

Şekil 1'de görüldüğü gibi, araca etkiyen toplam dirençler $R_T = R_g + R_r + R_a$ şeklinde ifade edilebilir.

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 [9]. Yokuş direnci, $R_g = \pm W \sin\theta$ (kg) şeklinde ifade edilebilir [9-11, 17, 18]. Burada, W, aracın kütlesini(kg); θ , yolun eğim açısını (derece); (+) değerler yokuşu, (-) değerler ise inişi ifade etmektedir. Yokuş eğimi arttıkça aracın kütlesi, aracın hareketine zıt yönde direnç göstereceğinden yokuş direnci artar.

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, diş malzemesi ve biçimi ile yol yüzeyinin durumu şeklinde özetlenebilir [4,9]. f_r , yuvarlanma direnci katsayısını ifade etmek üzere; yuvarlanma direnci $R_r = f_r W$ şeklinde ifade edilebilir [17, 18]. Yolun kaplama durumuna göre örnek yuvarlanma direnci katsayıları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yuvarlanma Direnci Katsayıları (Rolling Resistance Coefficients)

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

Hava Direnci (R_a), 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 [9]. Hava direnci, araca etkiyen kuvvetler içerisinde aracın ağırlığından etkilenmeyen tek kuvvettir [7]. 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 [1, 9, 10, 18]:

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

Burada, ρ , $0.125 \text{ kg s}^2/\text{m}^4$ (Havanın yoğunluğu-deniz seviyesinde $15 \text{ }^\circ\text{C}$); C_D , aerodinamik direnç katsayısını; A_f , aracın ön izdüşüm alanını (m^2) ve V, aracın hızını (m/s) ifade etmektedir. Ağır araçlar için aerodinamik direnç katsayısı $0,6 - 1,3$ aralığında seçilebilir [1,10,19]. Aracın ön izdüşüm alanının hesaplanmasında $A_f = 0,9 WV HV$ eşitliği kullanılabilir [9,10]. Burada, WV, aracın genişliğini (m) ve HV, aracın yüksekliğini (m) ifade etmektedir. Aracın ileriye hareket etmesi için gereken kuvvet, araca boylamasına etkiyen bu kuvvetlerin toplamına göre belirlenmektedir [13]. Motorlu araçlarda hareket, motor gücünden alınan çeki kuvvetinin karşı dirençleri yenmesiyle gerçekleşir [1, 11, 13]. Aracın hareketi için gereken çeki kuvveti, motordan tekerleklerle aktarılan gücün hızla bölünmesi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir [10, 11, 14, 20, 21],

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

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

$$\sum F = ma \Rightarrow a = \frac{\sum F}{m} = \frac{F_T - R_T}{m}$$

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;

$$\begin{aligned}
F_T - R_T = 0 &\Rightarrow F_T = R_T \Rightarrow \\
\frac{101,97 P}{V} &= (R_g + R_r + R_a) \Rightarrow \\
K &= \frac{1}{2} \rho C_D A_f \Rightarrow \\
101,97 P_e \eta_t - [(f_r + \sin\theta) W] V - KV^3 &= 0 \Rightarrow \\
KV^3 + [(f_r + \sin\theta) W] V - 101,97 P_e \eta_t &= 0 \quad (2.1)
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
V^3 + aV + b &= 0 \Rightarrow \quad (2.2) \\
V &= \sqrt[3]{-\frac{b}{2} + \sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{b}{2} - \sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{a^3}{27}}} \quad (\text{m/s})
\end{aligned}$$

Aracın bu hıza ulaşmak için kullanacağı ivme L_{an} ve Menendez'e [10] göre aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$\begin{aligned}
a &= \left(1,02 - \frac{1,45}{V_{ik}} \right) \left[\frac{101,97 P_e \eta_t}{V_{ik} W} - f_r - \frac{K V_{ik}^2}{W} - \sin\theta \right] g \\
V_{ik} &\geq 1,45 \text{ m/s} \quad (2.3)
\end{aligned}$$

İniş ve çıkış eğimli yollar, kamyon ve çekici sürücüler 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, hızlandırıcı bir etki gösterir. Ağır tonajlı araç, kamyon ve çekici, sürücüler bu dirençleri daha çok hissetmektedir. Bunda araçlarının büyüklüğü ve ağırlığı ile motor performansları etken olmaktadır. İniş sırasında, aracı aşağı doğru hızlandırarak iten kuvvet, aracın ağırlığı ile artar. İşte bu nedenle ağır tonajlı araç sürücüler, sürekli motor veya servis frenlerini kullanmak zorundadır. İniş eğimi ne kadar büyükse, araca etkiyen hızlandırıcı kuvvet de o kadar büyük olur. AASHTO'ya [5] göre iniş eğimli yollarda ağır araçların diğer araçlara göre daha büyük hızlanma potansiyelleri olduğu için iniş eğimleri % 3 veya % 4 olarak sınırlandırılmalıdır. 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 [1]. 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 hâkimiyetini kaybetmeden kendi şeridinde durabileceği değerlerdir [5]. 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 [9].

2.2. Virajlı yolda hız hesabı (Speed Calculation On A Horizontal Curved Road)

Virajlar araç hızları üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir [2]. 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 [5, 14, 22].

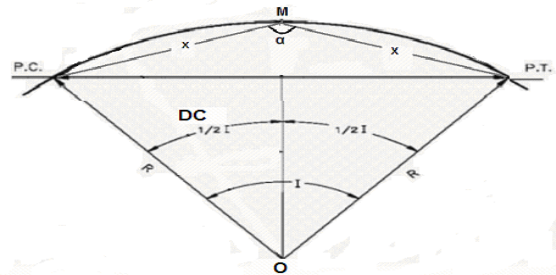
$$\begin{aligned}
V_{viraj} &= \sqrt{(e + \mu_s) g R} \quad (\text{m/s}) \quad \text{veya} \\
V_{viraj} &= \sqrt{127 (e + \mu_s) R} \quad (\text{km/h}) \quad (2.4)
\end{aligned}$$

Burada, e , yolun yatay eğimini; μ_s , yanal tutunma katsayısını ve R , viraj yarıçapını (m) ifade etmektedir. AASHTO'ya [5] göre viraj yarıçapının belirlenmesi için, tasarlanan hızlara göre, önerilen yanal tutunma katsayıları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Yanal Tutunma Katsayıları (Side Friction Coefficients)

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, $30,5 \text{ m}$ lik ark uzunluğuna karşılık gelen merkez açısı olarak tanımlanırsa $DC = 1746,38 / R$ (derece) eşitliğinden bulunabilir [3, 22].



Şekil 2. Viraj Yarıçapı (Horizontal Curve Radius)

Viraj yarıçapı (R), kırılma açısı (α) biliniyorsa çemberin geometrik özelliklerinden istifade ederek aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (Şekil 2) [23].

$$R = \frac{180 d_{ij}}{\pi DC} \quad (2.5)$$

Burada, d_{ij} , (i,j) yolunun mesafesini (m); α , kırılma açısını (derece); $I=360 - 2\alpha$ (derece) ve $DC = (1/2) I = 180 - \alpha$ (Viraj açısı) (derece) yi ifade etmektedir.

3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS)

CBS, 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 [24]. CBS'ne 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 [25]. CBS'deki detaylar için toplanacak veriler konumsal, özniteliksel ve topolojik veriler olarak üç grupta ele alınabilir.

Konumsal veriler, coğrafi varlığın belli bir referans sistemine göre yerini ve biçimini belirten koordinat değeridir. Konum ve biçim bilgisi iki boyutlu veya üç boyutlu olabilir. Bilgisayar belleğinde ve depolama birimlerinde raster, vektör veya matris yapıda temsil edilirler.

Öznitelik verileri ise konuma bağlı olmayan, doğrudan detaya bağlı ve detayı tanıttıcı verilerdir. Örneğin; ormandaki ağacın cinsi, akarsuyun debisi, parselin sahibi vb. öznitelik bilgileridir.

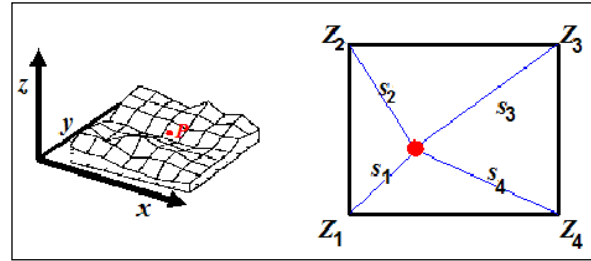
Topolojik veriler ise detaylar arasında ölçülebilir olmayan, komşuluk, çakışıklık, içermeye, bağlantı vb. ilişkiler gibi uzaysal ilişkileri belirler. Örneğin A noktasından B noktasına taşınacak olan zehirli madde, 1 numaralı yoldan taşınırsa kaç adet yerleşim merkezinin içinden geçeceği bilgisi topolojik bir bilgidir.

Çalışmada, kullanılacak verilerin CBS olanaklarından faydalanılarak nasıl hesaplandığı aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Eğim ve Yükseklik Tayini (Determination Slope and Height)

Eğim, düşey olarak gidilen mesafenin yatay mesafeye oranıdır. CBS'de eğimi belirlemek için gerekli yatay mesafe vektör veri yapısında yolu oluşturan her bir doğru parçasının baş ve sonundaki noktaların (düğüm/verteks) X ve Y koordinatları kullanılarak rahatça bulunabilir. Düğümler arasındaki ara noktalar verteks olarak tanımlanmaktadır. Düşey mesafenin tespiti için düğümler/vertekslerin yükseklik

değerlerinin bulunması gereklidir. Düğümler/vertekslerin yükseklik değerleri arasındaki fark düşey mesafeyi verir. Üçüncü boyut olarak yükseklik bilgisi vektör veri yapısında her bir verteksin Z değerine kaydedilmiş olabilir. Vektör verinin iki boyutlu olması durumunda ise yükseklik bilgisi, matris yapıdaki Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verilerinden elde edilebilir. Kare grid yapısındaki sayısal yükseklik modelinden, X ve Y koordinatları ile belirli herhangi bir noktada yükseklik değerinin bulunması için değişik enterpolasyon teknikleri kullanılmaktadır. Çünkü sayısal yükseklik modeli, 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. Bu yöntemde, noktanın yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılacak dayanak noktalarına uzaklıklarına göre ağırlıklar verilmektedir. Dayanak noktaları noktanın içinde bulunduğu grid karesinin köşe noktalarıdır [24].



Şekil 3. Ağırlıklı ortalama ile yükseklik belirleme (Height Determination with Weighted Average)

Şekil 3'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)'teki eşitlikten bulunur.

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

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

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

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

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

3.2. Viraj Açısının Tayini (Determination Degree of Horizontal Curve)

(2.5) numaralı eşitlikteki viraj açısı (DC), CBS kullanılarak $DC=(180-\alpha) = D_{(p,p+1)} - D_{(p+1,p+2)}$ eşitliğinden hesap edilebilir. $D_{(p,p+1)}$, p düğüm/verteksi ile p+1 düğüm/verteksi arasındaki dalın kuzey istikameti ile yaptığı açıdır. Viraj açısı, kesişen iki dal arasındaki açıyı (α) bütünleyen açıdır. CBS’de bu açı, dalların kuzey istikametine göre olan açılarının farkı bulunarak elde edilebilir.

3.3. Yol Genişliği, Düşey Gabari ve Taşıma Kapasitesinin Tayini (Road Width, Vertical Height and Carrying Capacity)

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 [26] kullanılmıştır. Yolun taşıma kapasitesi, yol üzerinde askeri yük sınıflandırma sistemine göre en düşük kapasiteye sahip köprü sınıfıdır.

4. PROBLEMİN TANIMI VE MODEL (PROBLEM DEFINITION AND MODEL)

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. Hâlbuki eğimli yollarda ağır araçların hızı, motor gücü ve yüklü ağırlıklarına göre önemli değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle 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. Çalışmada, CBS yardımıyla yolun topoğrafik özelliklerini ve aracın performansını dikkate alarak, ağır araçların intikal süreleri hesaplanmış ve en hızlı güzergâhı belirlemede kullanılacak bir model önerilmiştir.

4.1. Modelin Varsayımları (Problem Assumptions)

- Motor gücünün verilen en yüksek değerinde sabit olduğu varsayılmıştır.
- Virajlara giriş ve çıkışlardaki yavaşlama ve hızlanma hesaba katılmamıştır.
- % 4’ten daha büyük iniş eğimli yollarda aracın aynı eğimi çıkarken kullandığı hızla seyahat ettiği varsayılmıştır.
- % 4’e kadar iniş eğimli yollarda araç hızının kısıtlanmadığı varsayılmıştır.
- Havanın rüzgârsız olduğu ve yağış olmadığı varsayılmıştır.
- Araç hızının en düşük değeri 1,45 m/s kabul edilmiştir.
- Düğümlerde aracın en düşük hızda geçtiği varsayılmıştır.
- İniş eğimli yollarda yavaşlama ivmesi $3,4 \text{ m/s}^2$ olarak kabul edilmiştir.
- Transmisyon verimi, aerodinamik direnç katsayısı ve yanıl tutunma katsayısı sırasıyla 0,9 - 0,8 - 0,14 olarak alınmıştır.
- Verteksler arasındaki açının 150 dereceden az olduğu durumlarda aracın en düşük hızla geçtiği varsayılmıştır.

4.2. Modelde Kullanılan Notasyon ve İndisler (Notation and Indices Used In Model)

A = Yollar kümesi.

N = Düğümler kümesi.

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

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

WR_{ij} = (i,j) yolunun en küçük şerit genişlik değeri (m),

WV = Aracın genişliği (m),

HR_{ij} = (i,j) yolunun en küçük düşey gabari değeri (m),

HV = Aracın yüksekliği (m),

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

$LV =$ Aracın askeri yük sınıfı,

$GR_{ij} = (i,j)$ yolunun bölünmüş alt kısımlarının en büyük eğim değeri (%),

$GV =$ Aracın maksimum tırmanma kabiliyeti (%),

$RR_{ij} = (i,j)$ yolunun bölünmüş alt kısımlarının en küçük viraj yarıçapı değeri (m),

$RV =$ Aracın dönme kabiliyeti (m),

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & (i,j) \text{ yolu seçilirse} \\ 0 & (i,j) \text{ yolu seçilmezse} \end{cases}$$

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

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

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

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

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

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

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

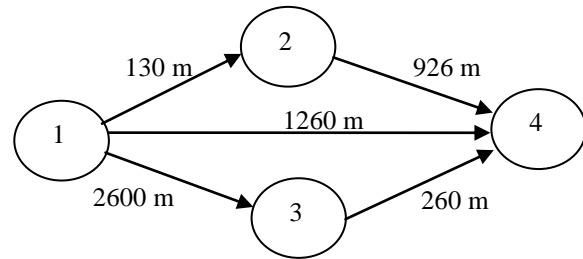
$$(RR_{ij} - RV) X_{ij} \geq 0, \quad \forall \{X_{ij} : (i,j) \in A\} \quad (4.7)$$

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

(4.1) numaralı eşitlik 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.

4.3. Modeldeki Verilerin Elde Edilmesi ve Örnek Uygulama (Data Acquisition of Model and Sample Application)

Çalışmada ağır araçlar için eğim, viraj yarıçapı, genişlik, düşey gabari ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak en hızlı yolun bulunmasına yönelik önerilen modelin amaç fonksiyon katsayısı ve teknolojik katsayılarının hazırlanması gerekmektedir. İlgili katsayıların hazırlanışı Şekil 4'de verilen örnek şebeke üzerinde anlatılmıştır.



Şekil 4. Örnek Uygulama Şebekesi (Sample Application Network)

Tablo 3. Nihai Veri Matrisi (Final Data Matrix)

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

Çalışmada, Şekil 4'deki şebekede 1 başlangıç düğümü ve 4 varış noktası düğümü arasında yer alan tüm yolların öznelik (genişlik, düşey gabari, kapasite) ve konumsal (X, Y, Z) verileri türetilmiştir. Sayısal yükseklik modeli verisinin hassasiyeti 30 m olduğu için; verilerde iki düğüm arası 26 m lik segmentlere (alt kısımlara) bölünmüştür. Modele veri girişini sağlayacak nihai veri matrisi Tablo 3'de gösterildiği gibi oluşturulur. Araca ait bilgiler kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Tablo 3'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 öznelik verilerinden; 5-8. sütundaki veriler ise, Tablo 4 ve Tablo 5'den elde edilmektedir.

Tablo 4'de bölünmüş alt kısımlara (segmentlere) ait yol bilgileri bulunmaktadır. Örneğin (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. Genişlik (WR), yükseklik (HR) ve kapasite (LR) değerleri yol verilerinin öznelik verilerinden elde edilmiştir. Örneğin, (1,2) dalı beş bölünmüş alt kısma ayrılmış ve her bölünmüş alt kısım için öznelik verileri tespit

Tablo 4. Yol Veri Matrisi (Road Data Matrix)

Dal	Bölünmüş Kısım	Mesafe (d _{ij}) (m)	Genişlik (WR _{ij}) (m)	Düşey Gabari (HR _{ij}) (m)	Kapasite (LR _{ij})	Eğim (GR _{ij}) (%)	Viraj Yarıçapı (RR _{ij})(m)	fr
(1,2)		130	3	4	50	7	20	
	(1,a1)	26	3	-	50	2	100	0,01
	(a1,a2)	26	4	-	50	7	100	0,01
	(a2,a3)	26	4	4	-	-8	20	0,01
	(a3,a4)	26	4	-	-	-2	100	0,01
	(a4,2)	26	4	-	-	-1	100	0,01
(1,3)		2600	3	5	50	9	30	
(1,4)		1260	4	-	50	5	100	
(2,4)		926	4	4	-	6	60	
(3,4)		260	4	3,9	-	7	100	
	(3,e1)	26	4	-	-	7	500	0,01
	(e1,e2)	26	4	-	-	7	500	0,01
	(e2,e3)	26	4	-	-	7	500	0,01
	(e3,e4)	26	4	-	-	7	500	0,01
	(e4,e5)	26	4	3,9	-	7	100	0,01
	(e5,e6)	26	4	-	-	5	100	0,01
	(e6,e7)	26	4	-	-	5	500	0,01
	(e7,e8)	26	4	-	-	5	500	0,01
	(e8,e9)	26	4	-	-	5	500	0,01
	(e9,4)	26	4	-	-	5	500	0,01

edilmiştir. Bunlar arasından genişlik, yükseklik ve taşıma kapasitelerinin en küçüğü (1,2) dalının değeri olarak alınmıştır. Eğim (GR), (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) numaralı eşitlikler kullanılarak elde edilmiştir. Viraj yarıçapı (RR), (3.5) ve (2.5) 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 (fr) öznitelik verilerinden elde edilen yolun kaplama durumuna göre Tablo 1'den elde edilmektedir.

göre ivme hesaplanır. Yavaşlama ivmesi $3,4 \text{ m/s}^2$ olarak alınır. Hızlanma ivmesi (2.3) 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 (2.1) ve (2.2)

Tablo 5. Süre Veri Matrisi (Duration Data Matrix)

Dal	Bölünmüş 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)	0,08727	20,23434	2,57694	11,71921	25	1,45	2,57694	12,91302
	(a1,a2)	0,84020	8,547663	7,09444	11,71921	25	2,57694	7,09444	5,376682
	(a2,a3)	1,33057	7,623127	7,62312	5,40992	25	7,09444	5,24099	4,960893
	(a3,a4)	1,02887	25	8,99829	11,71921	25	5,24099	8,99829	3,651867
	(a4,2)	0,63794	25	10,6837	11,71921	25	8,99829	10,6837	2,642001
(1,3)									3,971471
(1,4)									1,906325
(2,4)									1,585057
(3,4)									0,717413
	(3,e1)	0,07749	8,547663	2,47633	26,20496	25	1,45	2,47633	13,24391
	(e1,e2)	0,84448	8,547663	7,07429	26,20496	25	2,47633	7,07429	5,444671
	(e2,e3)	0,13594	8,547663	7,55742	26,20496	25	7,07429	7,55742	3,553925
	(e3,e4)	0,08701	8,547663	7,85108	26,20496	25	7,55742	7,85108	3,374759
	(e4,e5)	0,05948	8,547663	8,04566	11,71921	25	7,85108	8,04566	3,27111
	(e5,e6)	0,20594	11,25292	8,68573	11,71921	25	8,04566	8,68573	3,107929
	(e6,e7)	0,15555	11,25292	9,13951	26,20496	25	8,68573	9,13951	2,91721
	(e7,e8)	0,12313	11,25292	9,48333	26,20496	25	9,13951	9,48333	2,792269
	(e8,e9)	0,10018	11,25292	9,75414	26,20496	25	9,48333	9,75414	2,703056
	(e9,4)	0,08301	11,25292	9,97296	26,20496	25	9,75414	9,97296	2,635967

Tablo 5'de her bir dala ait bölünmüş alt kısımların araç tarafından ne kadar sürede kat edildiği hesaplanmıştır. Tablo 4'de 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 (2.1) ve (2.2) numaralı eşitliklerden ulaşılacak maksimum hız (Veğim) hesaplanır. Sonra aracın ilk hızına göre (2.3) numaralı eşitlikten ivme (a) hesaplanır. Aracın ilk hızı ve ivmesine göre bölünmüş kısmın sonunda ulaşacağı hız (Vivme) $Vivme^2 = Vilk^2 + 2ad_{ij}$ eşitliğinden bulunur. 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 etkilenmeyeceği için ulaşılacak maksimum hız seyahat süresince araç için belirlenen maksimum hız (Vmaks) olarak kabul edilebilir (Veğim=Vmaks). Sonra aracın ilk hızına

numaralı eşitliklerden ulaşılacak maksimum hız (Veğim) hesaplanır. Sonra aracın ilk hızına göre ivme hesaplanır. Yavaşlama ivmesi $3,4 \text{ m/s}^2$ olarak alınır. Hızlanma ivmesi (2.3) 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 kısım sonunda ulaşacağı hız (Vivme) hesaplanan maksimum hız olarak kabul edilir (Vivme=Veğim). Yolun bölünmüş kısımlarında elde edilen viraj yarıçapına göre (2.4) numaralı eşitlikten maksimum viraj hızı (Vviraj) hesaplanır. Seyahat süresince araç için belirlenen maksimum hız (Vmaks), bölünmüş kısım sonunda aracın ulaşacağı eğime bağlı hız (Vivme) ve viraj yarıçapına göre hesaplanan maksimum viraj hızından (Vviraj) en düşük olanı son hız (Vson) olarak seçilir. Kat etme süresi (t_{ij}), bölünmüş kısım sonunda aracın ulaşacağı hız (Vson), bölünmüş kısım başlangıcındaki araç hızı ve ivme değerlerine göre $t_{ij} = (Vson - Vilk) / a$ (s) eşitliğinden

bulunur. Son hız (V_{son}), viraj hızı (V_{viraj}) veya bölünmüş kısmın başlangıcındaki hızı (V_{ilk}) eşitse hız sabit kalacağından kat etme süresi $t_{ij} = d_{ij} / V_{son}$ (s) eşitliğinden bulunur. 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

Önerilen modelde kullanılan araca ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Genişlik (WV)	= 2.5 m
Yükseklik (HV)	= 3.5 m
Yüklü Ağırlık (LV)	= 40000 kg
Askeri Yük Sınıfı	= 50
Tırmanma Kabiliyeti (GV)	= % 50
Dönme Kabiliyeti (RV)	= 16 m
Motor Gücü (Pe)	= 300 kW
İzin Verilen Maks. Hız (V_{maks})	= 90 km/h

Yukarıda izah edildiği gibi yol bilgileri kullanılarak oluşturulan nihai veri matrisi (Tablo 3) ve araç bilgilerinden istifade ederek kurulan model çözüldüğünde en iyi çözüm 1,9063 dakika ile 1→4 güzergâhıdır.

Sabit hız varsayımı ve önerilen modele göre, Şekil-4 örnek şebekedeki tüm yollar için en hızlı yol ve en kısa yol karşılaştırması Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. En Hızlı Yol ve En Kısa Yol Karşılaştırması (The Fastest Path and The Shortest Path Comparison)

Yollar	Sabit Hız Varsayımında (90 km/h)		Önerilen Model	
	Mesafe (m)	Süre (min)	Mesafe (m)	Süre (min)
1-4	1260	0,8400	1260	1,9063
1-2-4	1056	0,7040	1056	2,0774
1-3-4	2860	1,9066	2860	4,6834

Tablo 6 incelendiğinde sabit hız varsayımı altında örnek şebekede en kısa yolun 1056 m ile 1→2→4 yolu ve en hızlı yolun 0,7040 dakika ile yine 1→2→4 yolu olduğu görülmektedir. Örnek şebeke, yolun durumu ve aracın performansı dikkate alınarak incelendiğinde en kısa yolun 1056 m ile 1→2→4 yolu ve en hızlı yolun 1,9063 dakika ile 1→4 yolu olduğu görülmektedir. Dolayısıyla sabit hız varsayımı altında en kısa yol en hızlı yol kabul edilirken; yolun durumu

ve aracın performansı dikkate alındığında her zaman en kısa yolun en hızlı yol olmadığı görülmektedir. Amaç en hızlı yolu bulmak olduğu için, daha uzun mesafeye sahip olmasına rağmen 1→4 yolu en hızlı güzergâh olarak seçilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Çalışmada ağır araçlar için yolun eğimi, viraj yarıçapı, yolun genişliği, yüksekliği ve taşıma kapasitesi dikkate alınarak en hızlı-en iyi güzergâhın belirlenmesi için bir model önerisinde bulunulmuştur. Modelde veri temini için CBS'den faydalandığı taktirde en hızlı güzergâhların belirlenebileceği örnekle gösterilmiştir. Çalışmanın konvoyların intikal zamanlarının hesaplanmasında ve intikal hızlarının tespitinde kullanılabileceği; karar destek sistemi oluşturulduğu taktirde navigasyon sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bennett, Christopher R., **A Speed Prediction Model For Rural Two-Lane Highways**, Doctor Thesis, The University of Auckland, New Zeland,1994.
2. Ayman, A. Abdul-Mawjoud and Gandhi, G. Sofia, "Development Of Models For Predicting Speed On Horizontal Curves For Two Lane Rural Highways", **The Arabian Journal for Science and Engineering**, 33(2B), 365-377, 2008.
3. FHWA, **Speed Prediction For Two-Lane Rural Highways**, US Department of Transportation, Washington, D.C., 2000.
4. Yeşilirmak, M., **Taşıtlarda İvme Analizi ve Matematiksel Modellemesi**, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
5. AASHTO, **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**, American Assoc. of State Highway and Transportation Officials, 2001.
6. <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tmguidel/> (erişim tarihi: 2010)
7. Ahanotu, Dike N., **Heavy-Duty Vehicle Weight And Horsepower Distributions: Measurement Of Class-Specific Temporal And Spatial Variability**, Doctor Thesis, Georgia Institute of Technology, 1999.
8. Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik, 23.09.2004, 25592, Resmi Gazete.
9. Çetinkaya, S., **Taşıt Mekaniği**, Nobel Yayın Dağıtım, 3. Baskı, Ankara, 2004.
10. Lan, C-J. and Menendez, M., "Truck speed profile models for critical length of grade", **Journal of Transportation Engineering-ASCE** 129(4), 408-419, 2003.

11. Lucic, I., **Truck Modeling Along Grade Sections**, Master Thesis, The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.
12. Rakha, H. and Yu, B., “Truck Performance Curves Reflective of Truck and Pavement Characteristics.” **Journal of Transportation Engineering– ASCE** 130(6), 753–767, 2004.
13. Arasan, V. T. and Arkatkar, S. S., “Modeling Heterogeneous Traffic Flow On Upgrades Of Intercity Roads”, **Transport**, 25(2), 129–137, 2010.
14. Gillespie, T. D., **Fundamentals of Vehicle Dynamics**, Society of Automative Engineers, Inc., 1992.
15. Boyalı, A., **Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi ve Kontrolü**, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
16. Lugner, P., “Tyre models, Propulsion and Handling of Road Vehicles”, **Dynamical Analysis of Vehicle Systems, CISM Courses and Lectures**, 497, 129-182, 2007.
17. Yu, B., **Modeling Truck Motion along Grade Sections**, Doctor Thesis, The Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005.
18. Sahlholm, P. and Johansson, K. H., “Road grade estimation for look-ahead vehicle control using multiple measurement runs”, **Control Engineering Practice**, 2009.
19. Bayar, K., **Modeling Of the Dynamics of Multi-Axle Steered Vehicles**, Master Thesis, METU, 2006.
20. Mavromatis, S. and Psarianos, B., “Analytical Model to Determine the Influence of Horizontal Alignment of Two-Axle Heavy Vehicles on Upgrades”, **Journal of Transportation Engineering– ASCE**, 129(6), 583-589, 2003.
21. Uostas, A. and Janulevičius, A., “Investigation of Tractor Engine Power And Economical Working Conditions Utilization During Transport Operation”, **Transport**, 23(1), 37–43, 2008.
22. Brockenbrough, R. L., **Highway engineering handbook: building and rehabilitating the infrastructure**, McGraw-Hill Inc., 3rd Edition, New York, 2009.
23. Nicholas, J. Garber and Lester, A. H., **Traffic and Highway Engineering**, Nelson Engineering, Fourth Edition, USA, 2009.
24. Maraş, H. H., **Sayısal Arazi Modeli Ürünleri**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1993.
25. Yomralıoğlu, T., **CBS: Temel Kavramlar ve Uygulamalar**, İstanbul, Seçil Ofset, 2000.
26. NATO STANAG 2021, Military Computation of Bridge, Ferry, Raft and Vehicle Classifications, NATO, 18 September 1990.

