

Koridor Analizi ve En Uygun Güzergâhın Belirlenmesi

Serkan Gazel¹ Serdar Ak²

Öz

İki nokta arasındaki en uygun güzergâhın otomatik olarak kabul edilebilir süreler içinde bulunabilmesi, birçok alanda karar sürecini hızlandırıp maliyetleri düşürmesi açısından çözülmesi gereken çok önemli bir problemdir. Birbiriyle çelişen birden fazla amacın eş zamanlı optimizasyonundan oluşan bu problemin çözümünde, her bir hedefin sağlandığı tek bir çözümün bulunması her zaman mümkün değildir. Bu nedenle alternatif çözüm kümesindeki diğer çözümler tarafından bastırılmamış, hedeflerin her biri için kabul edilebilir düzeyde uygun Pareto-Optimal Çözüm üretilmelidir. Tüm ölçütlerin bir arada değerlendirilerek olası tüm seçeneklerin karşılaştırılması ve uygun olanın bulunması insan gücü ile çözülebilecek bir problem değildir. Kullanıcı, deneyimleri ve elindeki araçlar ile üretebileceği en uygun çözümü üretebilir ancak bu çözümün en uygun çözüm olduğunun garantisi yoktur. Yüzde 1'lik bir iyileştirme dahi zaman, güvenlik ve maliyet olarak büyük kazanımlar anlamına gelmektedir. Bu bildiri, problemin, verilen kısıt ve ölçütlere göre otomatik olarak 2 ve 3 boyutlu çözümü, alternatif çözümler arasında karşılaştırma yapılması ve çözülebilen örnek problemleri içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Optimizasyon, Karar Destek, Koridor Analizi, Otomatik Güzergâh, Sezgisel Algoritma

Solution of Optimum Route Problem by Corridor Analysis

Abstract

Considering the minimization of time spent for decision making and the reduction in cost, finding the optimum route automatically between two points within reasonable time is a very important problem to be solved. Solution of this problem, which is formed of simultaneous optimization of multiple conflicting criteria, is not always possible with full satisfaction of all target functions. Therefore, a Pareto-Optimal solution which is acceptable for all criteria and not overwhelmed by any solution in the alternative solution set has to be sought. Evaluation of all criteria simultaneously, comparing all the options and finding the appropriate one is not a problem to be solved manually. One can reach a solution with experience and available tools, however there is no guarantee that it is the optimal solution. Even 1% optimization may result in huge gains in time, security, safety and cost. Especially, in case of a disaster, time and safety can be a key for saving lives. This paper includes the solution of the problem in 2D and 3D environments according to the given limits and criteria and solution of sample disaster related problems.

Keywords: Automatic Routing, Corridor Analysis, Decision Support, Heuristic Algorithm, Multiple Optimization

¹ Yazışma adresi: Yazılım Proje Yöneticisi, Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş., Cyberpark, Bilkent, Ankara, serkan.gazel@netcad.com.tr

² Genel Müdür, Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş., Cyberpark, Bilkent, Ankara.

Giriş

En uygun güzergâh ifadesi, kullanıldığı yere göre farklı anlamlar taşıyabilmektedir. Problemin çözümü en kısa yol olabileceği gibi, en az eğimli yol, belirli bir arazi tipini takip eden yol, en az görülebilen yol gibi çözümler de problem tanımındaki ölçüt ve kısıtlara göre doğru olabilmektedir.

Euler'ın 1736 yılında yayımladığı ve Königsberg'in Yedi Köprüsü olarak bilinen problem, grafik kuramının ve modern güzergâh bulma çözümlerinin başlangıcı sayılmaktadır. Grafik kuramı ve vektör temelli CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) üzerine çalışan ağ analizi, güzergâh bulma ve planlama algoritmaları, önceden tanımlanmış ağlar ve gridler üzerinde çözüm üretebilmektedirler. Bu nedenle gerçek hayattaki sürekli bir yüzey üzerinde farklı alternatiflerin bulunması gereken durumlarda bu yöntemlerin uyarlanmaları gerekmektedir. 1970'lerle birlikte bilgisayar ve CBS, konumsal analizlerde kullanılmaya başlandığında, sürekli uzay kafes ya da grid olarak simule edilmekteydi. Goodchild (1977) bu yaklaşımın getirdiği hata ve yaklaşık sonuç sorununu ilk inceleyenlerden biridir. Bir yüzeyde sadece ortogonal ilerlemenin yeterli olmayacağını, güzergâhtaki uzama ve sapmanın azaltılması ve gerçek dünyadaki durumun daha iyi temsil edilebilmesi için çapraz yönlerde de ilerlemenin gerektiğini kanıtlamıştır.

Optimum güzergâh konusunda günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Dijkstra'nın (1959) optimum çözümü garanti eden en kısa yol algoritması, geliştirilen diğer yöntemlerin yanında günümüze kadar geçerliliğini korumuştur. McHarg (1967) ışıklı masa üzerinde farklı veri katmanlarına ait çizimleri üst üste yerleştirerek bilgisayar olmayan bir ortamda çoklu kriter analizinin öncülerinden olmuştur.

Tomlin (1990), harita aritmetiği işlemlerini, bilgisayar algoritmalarının verileri alma biçimine dayandırarak yerel, odaksal ve bölgesel fonksiyonlar olarak üç temel kategoride sınıflandırmıştır. Yakınlık yüzeylerini hesaplamak için bir yayılma algoritması (odaksal fonksiyon) geliştirilerek herhangi bir noktadan hedef noktaya mümkün olan en kısa mesafeyi belirlemiştir. Bu yöntemde tüm hücelere boş ilk değerler atanmaktadır. Her bir hücreden değer içeren komşu hücelere olan seyahat maliyeti hesaplanarak raster üzerinde geçişler yapılmaktadır. Artımlı mesafe (maliyet) toplam maliyetteki farktan az ise veya hücre herhangi bir değer içermiyor ise hücrenin değeri hesaplanan yeni değer olarak güncellenmektedir. Maliyet yüzeyi, hiçbir değişiklik olmadan bir geçiş tamamlandığında son hâlini almış olmaktadır.

Collischonn ve Pilar'ın (2000) çalışmasında yer alan en düşük-maliyet-güzergâhları (least-cost-paths) kavramı, bir çözümü sadece maliyet yüzeyinde aramanın yanı sıra eğimi derecesi ve yönü ile birlikte ele aldığı için dikkate değer bir çalışmadır. Dik bir yamaçtan aşağıya giden bir güzergâh, dik yamaçları kullanmadan yapılan bir inişten daha maliyetli olabilmektedir. Bu görüş, geleneksel yol ve kanal planlama yöntemleri ile çakışmaktadır. Algoritmaları, bir hücre etrafında yer alan 3x3 boyutundaki pencereye artımlı maliyetleri atayabilmek için bir maliyet-eğimi fonksiyonu kullanmaktadır. Eğim dikleştikçe (aşağı yada yukarı) maliyet artmaktadır, böylelikle eğimin değişmediği ya da az değiştiği yönler algoritma tarafından tercih edilmektedir.

Cowen, Jensen, Hendrix, Hodgson ve Schill (2000) dolgu ve yarma, yol ve akarsu geçişleri ve ray gibi yapım maliyetlerini de girdi olarak kullanan ve potansiyel demir yolu güzergâhlarını araştıran ekonometrik bir güzergâh bulma modeli üzerinde çalışmışlardır. Araştırmalarında, raster CBS'den kaynaklanan yaklaşıklık sonuçların yüksek çözünürlüklü ve doğruluktaki veriler ile dengelenebileceğini göstermek için LIDAR'dan (Işık Saptama ve Uzaklık Tayini, Light Detection and Ranging) elde edilmiş yüksek doğruluktaki sayısal yükseklik modelini kullanmışlardır.

Problem Girdileri ve Çözüm

Optimum güzergâh, coğrafi kısıtlar (eğim, kot, yanal eğim, bakı ...) ile tanımlı kriterlerin (yasak alanlar, kamu alanları, tarımsal alanlar, ...) ve maliyet unsurlarının (birim yol maliyeti, ...) birlikte göz önünde bulundurulması gereken bir problemdir. Aynı zamanda tercih edilen köprü, tünel, geçiş noktası gibi kriterler de dikkate alınmalıdır.

Karar vericilere katı tek bir çözüm sunmak yerine alternatif çözümler sunulması, kriterlere ağırlıklar verilebilmesi ve alternatiflerin birbirleri ile karşılaştırılması, kullanılabilirlik açısından önemlidir.

Coğrafi Veriler

Arazi tek başına bir veri olabileceği gibi, zorunlu bir veri değildir. Geliştirilen algoritma, coğrafi olmayan problemlerin çözümünde de kullanılabilir. Arazi modeli olarak TIN (Düzensiz Üçgenleme Modeli, Triangulated Irregular Network), DEM (Sayısal Yükseklik Modeli, Digital Elevation Model) ya da yükseklik verisi üreten herhangi bir referans kullanılabilir.

Arazi modelinden elde edilebilen kot, eğim, yanal eğim ve bakı değerleri, analizde kısıtlayıcı ve/veya maliyet hesaplama faktörü olarak

kullanılabilmektedir. Verilecek ağırlık faktörleri ile hangi kriterin sonuca ne kadar etki edeceği ayarlanabilmektedir.

Kriter Katmanlar

Bir yol güzergâhı için örnek vermek gerekirse, güzergâhın tarım arazilerinden geçmesi istenilen bir durum değildir, ancak bu pek çok zaman kaçınılmazdır. Geliştirilen algoritma, bu sorunu tarım arazilerini puanlayarak çözmektedir. (1. sınıf tarım arazisi, 2. sınıf tarım arazisi, tarıma uygun olmayan arazi gibi) Oluşturulacak güzergâh alternatifleri "olabildiğince" tarıma uygun olmayan yerlerden geçirilir. Ancak arazi modeli ve tarım arazileri katmanlarının hangisinin önemli olduğu koşullara bağlıdır. Bu nedenle kullanıcının bu iki kriter için belirleyeceği ağırlıklara gerek duyulur.

Ağırlıkları % 10 eğim, % 90 tarım olarak verildiğinde bulunacak yol çoğunlukla tarıma uygun olmayan yerlerden geçecektir. Ağırlıklar tam tersi, yani %90 eğim, %10 tarım olarak verildiğinde ise güzergâh düşük eğimi seçerek gerektiğinde tarıma uygun olan bölgelerden geçecektir. [7] Benzer şekilde yavaşlatıcı bölgeler, ormanlık araziler, yerleşim alanları, görünür alanlar gibi sınırsız sayıda kriter katman girdi olarak tanımlanabilmektedir. (Şekil 1)

Sınırlar ve Kısıtlar

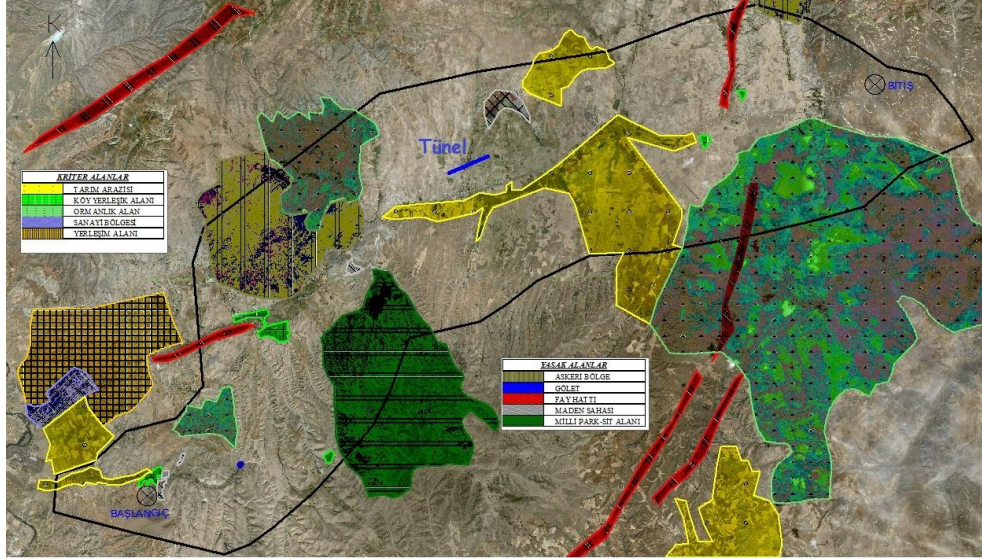
Optimum güzergâh hesaplamaları için bir çalışma alanı gerekmektedir. Çözüm, bu çalışma alanı içinde üretilecektir (Şekil 1). Çözüm duyarlılığı, çalışma alanı sınırlarına ve kullanılan donanımın gücüne göre otomatik olarak ayarlanmaktadır. İki şehir arasındaki bir otoyol güzergâhı arayışındaki çözünürlük ile askeri bir birliğin 20 kilometrelik bir arazide izleyeceği güzergâhın bulunması farklı çözünürlükte girdiler gerektirecek ve dolayısı ile farklı çözünürlükte çıktılar üretecektir. Algoritma üzerine geliştirilen uygulama ile yapılan test çalışmalarında, Ankara – İzmir arasındaki 500 kilometreden uzun bir otoyol güzergâhının standart bir masaüstü bilgisayar ile kolaylıkla çözülebildiği görülmüştür.

Çözüm sınırlarında olup güzergâhın geçmemesi istenilen yasak alanlar da (SİT alanları, askeri bölgeler, mayınlı bölgeler, yol yapımına uygun olmayan zeminler, görülebilir alanlar, vb.) algoritmaya girdi olarak verilebilmektedir. Çözüm bu yasak alanlardan geçmemektedir.

Tercih Edilen Güzergâh Bölümleri

Algoritma, kullanıcının yerini ve maliyetini belirlediği tünel, köprü, viyadük gibi özel yapıları, ya da mutlaka kullanılması gereken bir patika gibi hatları da çözüme girdi olarak kabul etmektedir (Şekil 1). Böylelikle bir

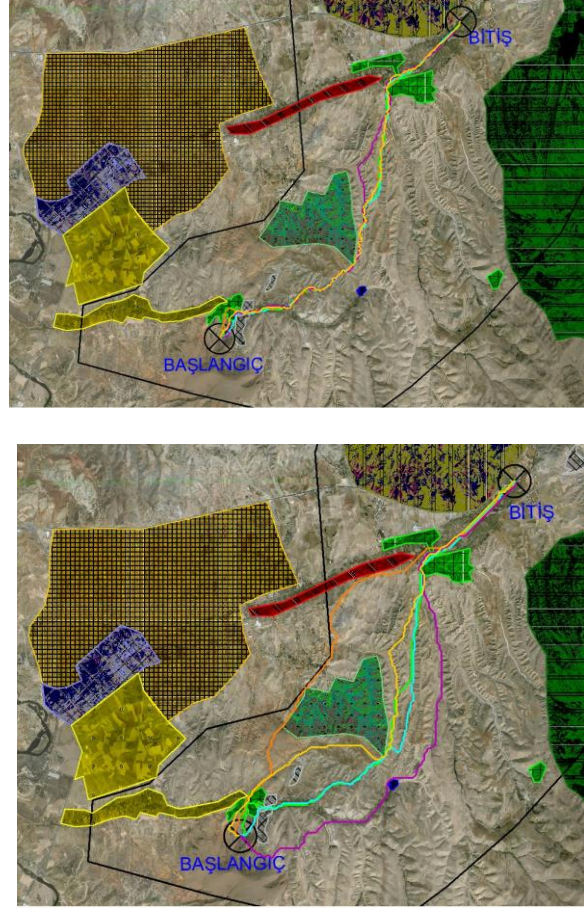
dağın etrafından geçen ve tünel olarak kullanılan iki farklı çözüm karşılaştırılabilmektedir.



Şekil 1. Koridor Analizi Girdileri

Parametreler

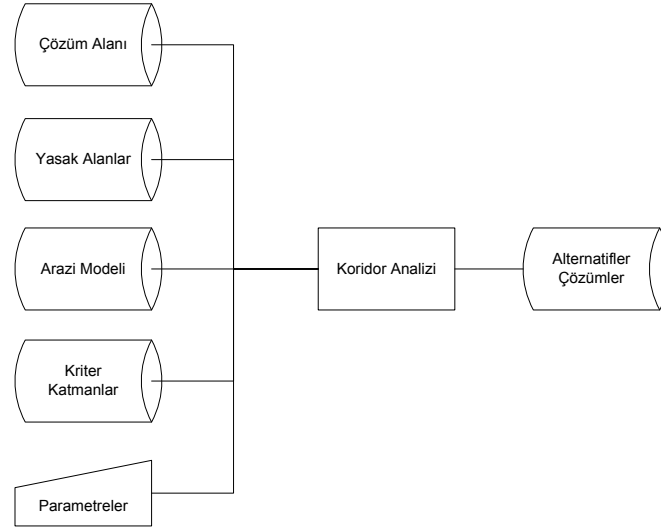
Birden fazla alternatif bulunması durumunda, alternatiflerin birbirlerinden ne kadar ayrıık olması gerektiği çözümlenmesi gereken bir problemdir. Kullanıcının N adet alternatif istemesi durumunda, A noktasından B noktasına en uygun çözümlerle kalan N-1 çözümler arasında güzergâhın sadece 1 segmenti farklıdır. Matematiksel olarak doğru olan bu alternatifler aslında kullanıcıya herhangi bir şey ifade etmemektedir. Bu nedenle algoritma içinde geliştirilen “alternatiflerin benzersizliği” kavramı ile kullanıcılar açısından “anlamlı derecede farklı” sonuçlar üretilebilmektedir (Şekil 2a ve 2b).



Şekil 2a ve 2b. Alternatif Çözümler

Maliyet Fonksiyonu ve Çözüm

Koridor Analizi, yukarıda bahsedilen tüm girdileri birlikte ele alır ve oluşturduğu maliyet yüzeyi üzerinde en uygun çözümleri bulur (Şekil 3). En uygun çözüm için *k-shortest path* (*k- en kısa yol*) algoritmasının değiştirilmiş bir hâli kullanılmaktadır. Yapılan değişiklik ile, bulunan her alternatifin bir sonraki çözüm kümesinde yer alması zorlaştırılmıştır. Maliyet yüzeyinin çözünürlüğü, çalışma alanı ve kullanılan donanıma göre otomatik olarak belirlenir. Eğimin yöne bağlı olarak ele alınması ve bulunan sonucun bir koridordan ziyade bir güzergâh olmasından dolayı basit bir overlay analizine göre çok daha karmaşık sonuçlar üretilmektedir.



Şekil 3. Koridor Analizi Girdileri

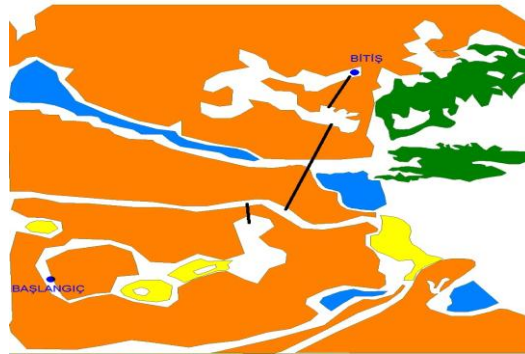
Maliyet yüzeyindeki herhangi bir noktanın maliyeti (1)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Maliyet}_i = \frac{\sum (\text{Kriter}_i \times \text{Ağırlık}_i)}{\sum \text{Ağırlık}} \quad (1)$$

Örnek Çözüm

Girdiler

Geliştirilen algoritma ile askerî yasak alanlara sahip sanal bir sınır bölgesinde, güzergâh üzerinde bulunan patikaları ve köprüleri de kullanarak üretilen çözüm incelenmiştir. Bu örnekte analizlerin yapılabilmesi için kullanılacak olan yükseklik verisi olarak Netcad Grid Dosyası kullanılmıştır.



Şekil 4. Örnek Çalışma Alanı

Kriter bölgeler ise ormanlık alan (yeşil), yavaşlatan alan (mavi) ve yerleşim alanları (sarı) olarak belirlenmiştir. Turuncu olarak belirtilen alanlar ise yasak bölgelerdir. Siyah çizgiler ile kullanılabilir patika ve köprüler belirtilmiştir.

Tablo 1. Kriter Alan Ağırlıkları

<i>Kriter Alan İsmi</i>	<i>Ağırlık (%)</i>
Ormanlık Alanlar	30
Yavaşlatan Bölgeler	15
Yerleşim Alanları	40
<i>Kriter İsmi</i>	<i>Ağırlık (%)</i>
Eğim	15
Kot	0
Yanal Eğim	0
	Σ100

Çözüm

İlk çözümde köprüler ve patikalar dikkate alınmamıştır. Örnekte, başlangıç ve bitiş noktaları arasında yasak alanlar bulunması gibi farklı bir durum vardır. Özellikle başlangıç noktasından güzergâhın devam edebilmesi için içinde bulunduğu yasak alandan dışarı çıkabilmesi gereklidir. İlk analizin sonucunda üretilen güzergâh incelendiğinde, sonuçlar kriter ve yasak alanlar çerçevesinde ilk iki yasak alanı özel yapıları kullanarak geçmiştir. Ancak bitiş noktasında bulunan bölgede vermiş olduğumuz kriterlerin sınırları dahilinde kaldığı için özel yapıyı kullanmamıştır. Bitiş noktasına bu yasak bölgenin etrafından dolaşarak ulaşmıştır (Şekil 5a).

İkinci çözümde ise köprü ve patikalar dikkate alınmıştır. Bu analizde, bitiş noktasından önceki yasak alanda tanımlanmış olan özel yapı hem kriterlere uygun hem de güzergâhı kısaltma özellikleri nedeniyle algoritma tarafından tercih edilmiştir (Şekil 5b).



Şekil 5a ve 5b. Sonuçların Karşılaştırılması

Sonuç

Netcad Koridor Analizi uygulamasının geliştirilmesi sırasında birçok alanda uygulanabilecek, standart donanımlar ile kısa sürede sonuç alınabilecek bir yöntem üzerinde çalışılmıştır. Gerek sivil, gerek askeri alanlarda en uygun güzergâh, koridor ya da bölge problemine karşılaştırmalı alternatif çözümlerin sunulması hedeflenmiştir.

Var olan yaklaşımlardan farklı olarak eğim, gidiş yönü ile birlikte ele alınmıştır. Böylelikle, sınırlayıcı bir eğim haritası yerine dinamik bir eğim fonksiyonu kullanılabilmiştir.

Geliştirilen uygulama ile yapılan testlerin girdilere ve parametrelere uygun olarak sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Kullanıcı tarafından sağlanan kriterlerin hepsinin optimum şekilde sağlandığı, çoklu kriterlere uygun sonuçlar üretildiği bir uygulama geliştirilmiştir.

Analiz motoru, COM (Bileşen Nesne Modeli, Component Object Model) arayüzü ile programlanabilir şekilde geliştirilmiştir. Netcad Operatörleri sayesinde gelecekte yapılacak çalışmalarda kolaylıkla farklı amaçlar için, farklı girdi ve parametreler ile geliştirilebilir yapıdadır.

Kaynakça

- Collischonn, W. ve Pilar, J. (2000). A Direction Dependent Least-Cost-Path Algorithm for Roads and Canals, *International Journal of Geographical Information Science*, 14(4), 397-406.
- Cowen, D.J., Jensen, J.R., Hendrix, C., Hodgson, M. ve Schill, S.R. (2000). A GIS-Assisted Rail Construction Econometric Model that Incorporates LIDAR Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(11), 1323-1328.
- Dijkstra, E. (1959). A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, *Numerische Mathematik*, 1(1), 269-271.
- Goodchild, M.F. (1977). An Evaluation of Lattice Solutions to the Problem of Corridor Location, *Environment and Planning A*, 9, 727-738.
- McHarg, I. (1967). Where Should Highways Go?, *Landscape Architecture*, 57, 179-181.
- Tomlin, C.D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*, Prentice Hall, New Jersey, ABD.