

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNDE AĞ TOPOLOJİSİ VE GENELLEŞTİRME

Yrd. Doç. Dr. İ. Öztuğ BİLDİRİCİ

ÖZET

Coğrafi bilgi sistemlerinde yollar, nehirler gibi çizgisel objeler üzerinde mekansal analiz önemli bir konudur. Yollar gibi mantıksal bir ağ oluşturan çizgisel objelerde en kısa yol araştırması gibi mekansal analizler ağ topolojisi yardımıyla yapılır. Özellikle internet ortamında yaygınlaşan adres bulma ve en kısa yol bulma amaçlı sistemlerde topoloji yanında genelleştirme de önemli bir konudur. Bu tür sistemler PC bilgisayarlar dışında cep bilgisayarları ve cep telefonları gibi oldukça küçük ekranı olan cihazlara da servis vermektedir. Bu tür küçük görüntüleme alanlarından en uygun şekilde yararlanmak için değişik zoom düzeylerinde en uygun gösterim biçimine genelleştirme ile ulaşılır. Bu çalışmada topoloji kavramı ve topoloji türleri, çizgisel objelerin genelleştirilmesi hakkında bilgi verilerek, yol objeleri ile yapılan uygulamalar tartışılacaktır.

ABSTRACT

NETWORK TOPOLOGY AND GENERALISATION IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Spatial analyses on linear objects like roads, rivers etc. is an important aspect in geographical information systems. Spatial queries like shortest path analysis requires network topology of roads. Beyond topology, generalisation is also an important issue, especially in the case of on-line routing systems in the Internet. Such systems serve both PC's and PDA's which have a limited display possibility. For efficient use of such small display spaces different generalisation degrees should be employed at different zoom levels. In this contribution, basic topology concepts for linear objects and an overview of line generalisation are presented.

*Selçuk Üniversitesi

1. GİRİŞ

Coğrafi bilgi sistemlerinde çizgisel objeler üzerinde mekansal analiz ağ topolojisi ile yapılır. Özellikle yol ağında yapılacak en kısa yol vb analizler CBS kullanıcılarının gereksinim duyduğu önemli konulardan biridir. Ulaşım sisteminin iskeletini oluşturması bakımından yol ağı hakkında bilgilere pek çok insanın ihtiyacı vardır. Bu nedenle rota belirleme (routing) amaçlı sistemler hem CD-ROM, hem de internet ortamlarında yaygınlaşmaya başlayan önemli bir CBS uygulama alanıdır. Bu tip sistemlerin verileri aynı zamanda araç takip sistemlerinde de kullanılabilirler. Bu nedenle yol ağına ilişkin veri toplama oldukça önem kazanmıştır.

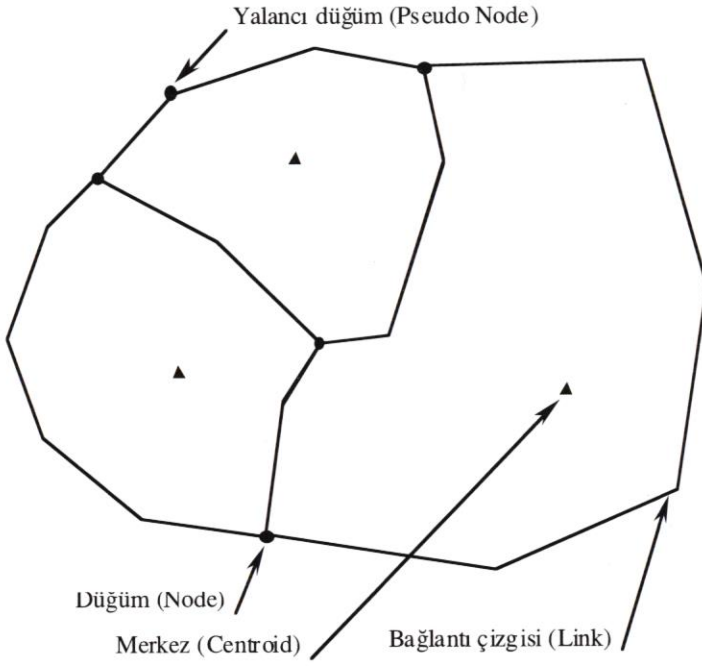
Rota belirleme ve araç takip sistemlerinde kullanılan ekran haritaları standart PC ekranlarının yanında, PDA cihazları, cep telefonları gibi cihazların ekranlarında da görüntülenebilmektedir. WAP ve GPRS teknolojileri mobil cihazların internet erişimini sağlamaktadır. Böylesi küçük ortamlarda görüntülenecek ekran haritalarının tasarımında genelleştirme de önem kazanmaktadır. Mekan darlığı nedeniyle bu tür haritalarda genellikle sadece yollar, yol adları ve önemli noktalar gösterilmektedir. Yazı mekanından kazanmak amacıyla yazının ait olduğu objeye fare ile dokunulunca görüntülenmesi fare objeden uzaklaşınca kaybolması (pop-up yazılar) ekran haritalarına özgü oldukça yararlı bir gösterim biçimidir.

Ağ topolojisi, çizgisel objeler üzerinde yapılacak mekansal sorgulamaların temelini oluşturur. Ağ topolojisinin kolaylıkla oluşturulabilmesi çok temiz bir sayısallaştırma gerektirir. Topoloji oluşturmadan önce olası sayısallaştırma hatalarına karşı verilerin test edilmesi ve varsa hatalardan arındırılması gerekir. Bu amaçla kullanılan yazılım bileşenleri çizgi temizleme araçları (line cleaning tools)olarak adlandırılırlar. Çizgisel objelerde genelleştirme daha çok çizgi basitleştirme bağlamında incelenmiştir. Bu kapsamda çok sayıda algoritma bulunmaktadır. Değişik zoom düzeylerinde hangi objelerin nasıl gösterileceği (aynı zamanda gösterilip gösterilmeyeceği) tabaka yapısı ve objelere ilişkin sözel veriler yardımıyla belirlenebilir.

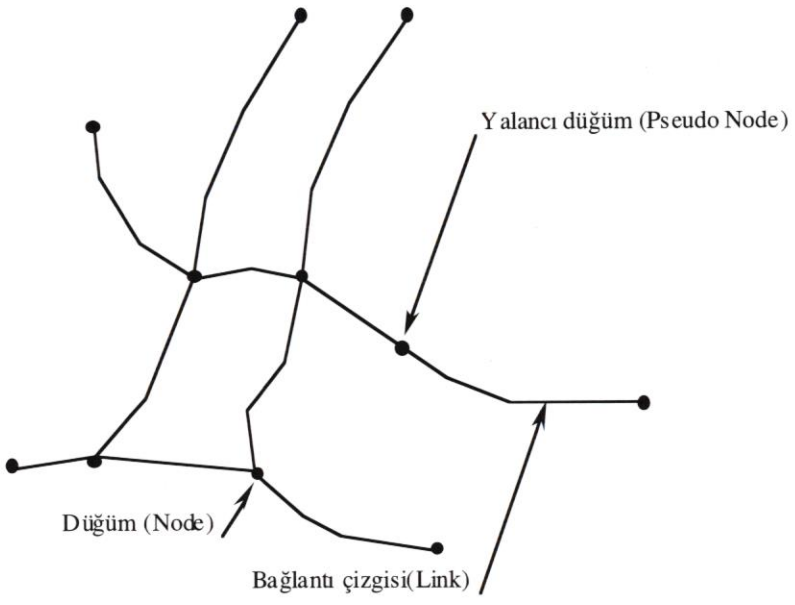
2. TOPOLOJİ KAVRAMI

Coğrafi bilgi sistemlerinde nokta, alan ve ağ topolojisi olmak üzere üç tür topolojiden söz edilir. Topoloji, kelime anlamından da anlaşılacağı üzere coğrafi objelerin birbirleri ile mekansal komşuluk ilişkilerini tanımlar. Temel topoloji bileşenleri, merkez (centroid), düğüm noktası (node) ve bağlantı (link) olmak üzere üç tanedir (Şekil 1). Topoloji türleri ile ilgili objelere göre yine üçe ayrılır:

- Nokta topolojisi (düğüm noktalarından oluşur)
- Ağ topolojisi (düğüm noktaları ve bağlantılardan oluşur)
- Poligon topolojisi (düğüm noktaları, merkezler ve bağlantı çizgisi objelerinden oluşur, Şekil 1)



Şekil 1: Poligon topolojisi ve temel topoloji bileşenleri



Şekil 2: Ağ topolojisi ve temel topoloji bileşenleri

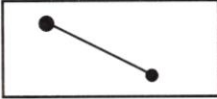

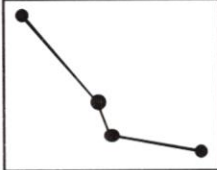
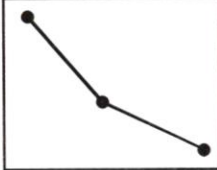
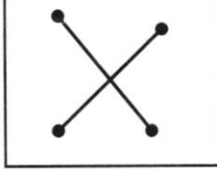
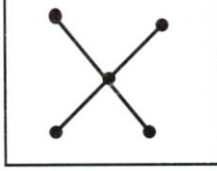
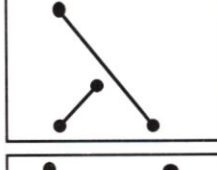
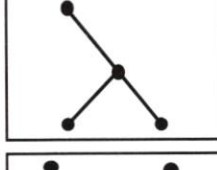
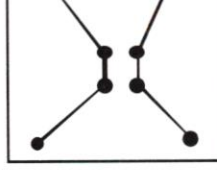
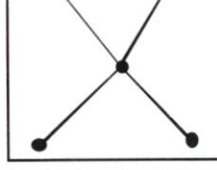
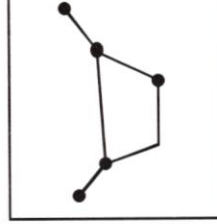
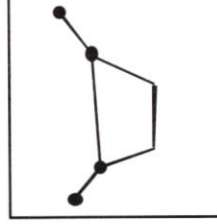
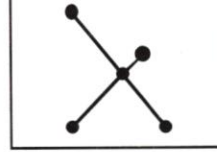
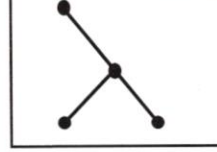
Bağlantı çizgileri bir düğüm noktasında başlar bir başka düğüm noktasında sona ererler. Merkez noktaları ise kapalı alanın içinde herhangi bir yerde bulunurlar. Bunların şeklin ağırlık merkezi gibi özel bir noktada olmaları gerekmez. Tek koşul merkez noktalarının kapalı şeklin (poligonun) içinde yer almasıdır.

Temel topoloji bileşenlerinden düğüm noktalarına ya tek bağlantı objesi ya da ikiden çok bağlantı objesi bağlanmalıdır. Bir düğüm noktasından yalnızca iki bağlantı elemanı çıkıyorsa o düğüm noktası topolojik olarak anlamlı değildir. Bu tür düğüm noktaları yalancı düğüm noktası (pseudo node) olarak adlandırılırlar. Yalancı düğüm noktaları özel bir anlamı yoksa iki bağlantı çizgisi birleştirilip silinmelidir. Bu noktaların ağ topolojisinde özel anlamları olabilir. Bir yol ağı ele alınrsa, en kısa yol (shortest path) ve yayılma (flood trace, bir düğüm noktasından belli bir uzaklık kadar uzaklaşıldığında ulaşılan düğüm noktalarının bulunması) gibi analizler düğüm noktalarına dayalı olarak yapılırlar. Bu durumda en kısa yol araştırması yapılan düğümlerden biri bir yol üzerinde bulunan bir hastane ya da polis karakolu olabilir. Bu durumda bu düğüm yalancı düğüm niteliğinde de olsa silinmemelidir.

Ağ topolojisinde bağlantı çizgilerinin yönü de tanımlanabilir. Bu özellik tek yönlü yollarda ve akarsuların akış yönleri için gereklidir. Bağlantı çizgilerine zorluk derecesi olarak tanımlanabilecek bir öznitelik daha tanımlanabilir. Bu şekilde örneğin bir yol ağına bağlantı objeleri yapılabilecek ortalama hızı göre sınıflandırılabilir. Bu bilgi sayesinde en kısa yol analizi yapılırken kullanıcıya uzaklık olarak en kısa, zaman olarak en kısa biçiminde iki seçenek sunulabilir.

Yol ağlarında, bağlantı çizgilerinin yön ve zorluk derecesi tanımlamaları kavşaklarda çoğu zaman modellenmesi oldukça karmaşık olan dönme yasalarını çözmek için yeterli değildir. Bu tür bir modelleme için temel ağ topolojisi yapısının daha da geliştirilmesi gerekir. Bu konudaki son araştırmalardan biri Schmid (2000) tarafından geliştirilen yaklaşımdır.

Günümüzdeki CBS yazılımları bu temel topoloji mantığına dayanmaktadır. Ancak temel mantıksal birimin doğru parçası olduğu, adres kodlaması için geliştirilmiş, poligon topolojisi modelleri de vardır. Bu modellerden biri Amerika Nüfus İdaresi (US Census Bureau) tarafından 1969 da geliştirilen GBF/DIME (Geographic Base File/Dual Independent Map Encoding) modelidir. Bu modeldeki eksiklikleri gidermek üzere geliştirilen ve artık temel mantıksal elemanı doğru parçası değil bağlantı ve düğümler olan daha karmaşık modeller de geliştirilmiştir. Hiyerarşik vektör modeli olarak da tanımlanan POLYVRT (POLYgon coveR-Ter) modeli Peucker ve Chrisman tarafından Harvard Bilgisayar grafik laboratuvarında 1970 lerin sonlarında geliştirilmiştir. Benzer mantığa dayanan bir başka hiyerarşik vektör modeli ise yine Amerikan Nüfus İdaresi tarafından 1990 nüfus sayımı için geliştirilen TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Reference) modelidir (Cromley, 1992).

İşlem	Temizleme öncesi	Temizleme sonrası
Çift (çakışık) objelerin silinmesi		
Kısa parçaların kaldırılması		
Kesişen objelerin kopartılması, bu şekilde düğüm noktası oluşturulması		
Eksiklerin (Undershoot) tamamlanması suretiyle düğüm noktası oluşturulması		
Düğüm noktalarının düzeltilmesi		
Pseudo (yalancı-sözde) düğüm noktalarının kaldırılması		
Fazlalıkların (overshoot) kaldırılması		

Tablo 1: Çizgi temizleme işlemleri (Bildirici, 2000)

Topolojik yapı sayısallaştırma yoluyla ya da diğer kaynaklardan elde edilen spagetti yapıda veriler üzerinde kurulmaktadır. Sorunsuz ve sağlıklı bir topoloji, sayısallaştırma hatalarından arındırılmış verilerle kurulabilir. Sayısallaştırma ne kadar dikkatli yapılırsa yapılışın hatasız olamaz. Sayısallaştırma hatalarının giderilmesi için CBS sistemlerinde çizgi temizleme araçları (line cleaning tools) olarak adlandırılan araçlar kullanıma sunulmaktadır. Bu araçlar kullanılarak verilen toleranslar dahilinde çalışılan veri kümesi taranarak kontrol edilir, olası hatalar otomatik olarak düzeltilir. AutoCAD MAP yazılımında yer alan çizgi temizleme araçları ve fonksiyonları Tablo 1’de görülmektedir.

3. ÇİZGİ GENELLEŞTİRMESİ

Douglas ve Peucker çizgi basitleştirmesinin, nokta eliminasyonu, çizgiye matematiksel fonksiyon uydurarak ve belli kartografik özellikteki parçaları silerek uygulanabileceğini belirterek, sayısal ortamda son iki yaklaşımın uygulanmasının çok karmaşık ve zaman alıcı olması nedeniyle nokta eliminasyonunu tavsiye etmektedirler (Cromley, 1992). Sayısal kartografyada çizgiler, nokta dizileri biçiminde tanımlandığından, nokta eliminasyonu dışındaki yaklaşımların uygulanması gerçekten pratik değildir. Bu nedenle çizgi basitleştirme konusunda geliştirilen yöntem ve algoritmaların büyük bir çoğunluğu nokta eliminasyonu prensibine dayanır.

Çizgi basitleştirmede çizgi üzerinde n. noktayı atma algoritmasından çizgiyi global olarak analiz ederek nokta seyrelten algoritmalar kadar çok sayıda algoritma geliştirilmiştir. Çizgi basitleştirme algoritmalarının kapsamlı bir analizini yapan McMaster (1987) geliştirilen algoritmaları beş kategoride sınıflandırmıştır.

No	Kategori
1	Bağımsız nokta algoritmaları
2	Yerel algoritmalar
3	Genişletilmiş koşulsuz yerel algoritmalar
4	Genişletilmiş koşullu yerel algoritmalar
5	Global algoritmalar

Tablo 2: Çizgi basitleştirme algoritmalarının hesaplamının geometrik genişliği bakımından sınıflandırılması (McMaster, 1987)

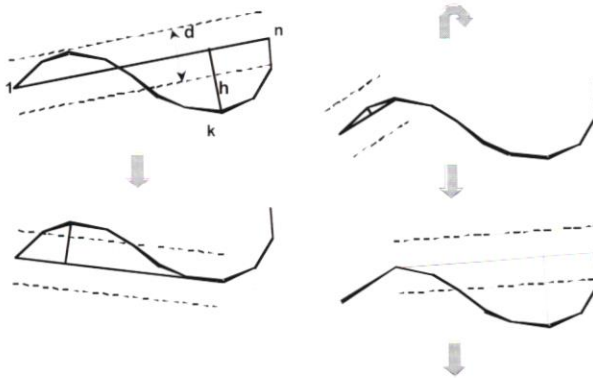
Birinci kategorideki algoritmalar son derece basit olup komşu noktalar arasındaki herhangi bir matematiksel ilişkiyi dikkate almazlar. Bu kategoriye en iyi örnek n. noktanın (2.,3. 4. vb.) korunduğu, diğerlerinin atıldığı n. nokta algoritmasıdır. Böylesi teknikler hesaplama ve programlama tekniği açısından yararlı olmalarına rağmen çizginin karakterini koruma açısından zayıftır. İkinci kategoride yer alan yerel algoritmalar, noktayı koruyup korumama

kararını vermek için en yakın noktaların özelliklerinden yararlanırlar. Örneğin Tobler tarafından önerilen bir yaklaşımda iki nokta arasındaki uzaklık türetme ölçekteki çizgi kalınlığından daha az ise noktalardan biri elimine edilir. Üçüncü kategoride ele alınan genişletilmiş koşulsuz yerel algoritmalar, yerel algoritmalarından farklı olarak en yakın komşu noktaların ötesinde çizginin parçalarını analiz ederler. Söz konusu parçaların genişliği çizginin karmaşıklığı, nokta yoğunluğu vb. etkenleri içeren çeşitli ölçütlere göre belirlenir. Dördüncü kategorideki algoritmalar da üçüncü kategori gibi çizgiyi parçalar halinde işlerler, ancak bu kategoride arama bölgeleri belli şartlarla kısıtlanır (McMaster, 1987). Beşinci kategoride farklı, bütünsel bir yaklaşım söz konusudur. İlk dört kategorideki algoritmalar çizgiyi sıra ile parçalar halinde işlerken, global algoritmalar çizgiyi işlerken onu kendi bütünlüğü içinde ele alırlar. Kartografyada yaygın olarak kullanılan tek global algoritma Douglas-Peucker algoritmasıdır. Algoritma geliştirenleri tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

"Bu yöntem, sabit nokta olarak ilk noktanın ve gezici nokta olarak son noktanın tanımlanmasıyla başlar. Bu iki nokta bir doğru tanımlar. Çizgi üzerindeki ara noktalar sabit ve gezici noktaların oluşturduğu doğruya inilen dikin en büyük olduğu noktayı bulmak üzere test edilir. Söz konusu noktadan inilen dikin boyu maksimum tolerans uzaklığından küçük ise doğru parçasının tüm çizgiyi temsil etmek için yeterli olduğu kabul edilir. Bu koşul gerçekleşmezse doğruya en uzak olan nokta, yeni gezici nokta olur." (McMaster, 1987)

Bu algoritmada kullanıcıların bir tolerans bandı (d) belirlemesi gerekir. Genelleştirme derecesi yalnızca bu parametreye bağlı olan algoritmanın çalışma biçimi ve parametrenin etkisi Şekil 3' de gösterilmiştir. Şekilde görülen noktalardan 1 sabit nokta, n gezici nokta, k ise 1- n doğrusuna en uzak noktadır.

Çizgi genelleştirme algoritmalarında topolojik tutarlılığın güvence altında tutulması önemli bir problemdir. Bu tür algoritmaların doğası gereği ek önlemler alınmazsa çizgilerin kendi kendilerini kismeleri gibi topolojik tutarsızlıklar engellenemez. Topoloji açısından çizginin başlangıç ve bitim noktalarının (düğüm noktaları) çizgi basitleştirme algoritmaları tarafından kesinlikle değiştirilmemesi gerekir. Aksi halde ağ topolojisi tutarsız olur.



Şekil 3: Douglas-Peucker algoritması (Bildirici, 2000)

Çizgi genelleştirmesi konusunda daha kapsamlı bilgiler için McMaster (1987), Cromley (1992, s.216), Barber ve diğ. (1995), Jenks (1989), Plazanet ve diğ. (1995), Müller (1987) gibi kaynaklardan yararlanılabilir.

4. İNTERNETTE YOL AĞI UYGULAMALARI

Arabasıyla seyahat eden İnternet kullanıcılarına yönelik siteler, rota belirleme amaçlı siteler ve trafik koşulları hakkında bilgi veren siteler olmak üzere iki kategoride incelenebilir. Her iki fonksiyonun birlikte yerine getirilmesi de mümkündür. Trafik koşulları zamanla çok hızlı değiştiğinden İnternet bu açıdan çok yararlıdır. Rota belirleme amaçlı sistemler CD-ROM ortamında da geliştirilmekte ve dağıtılmaktadır. Rota belirleme fonksiyonu olan siteler aynı zamanda adres arama özelliğine de sahiptirler. Bu şekilde kullanıcı aradığı adrese, bulunduğu adresten nasıl ulaşacağı bilgisine kolayca ulaşır. Rota belirleme amaçlı siteler genel olarak ticari amaçlı olup, reklam yoluyla kendilerini finanse etmektedirler. Bu tarzdaki sitelerden bazıları MapQuest (URL1), MapBlast (URL2) ve DeLorme CyberMaps (URL3). Bu tür harita siteleri aynı zamanda arama makinelerine de servis verirler. Örneğin Yahoo!, Hotbot, Lycos ve WebCrawler arama makineleri MapQuest'in TripQuest aracını kullanırlar (Emmer, 2001).

Rota belirlemede uzaklık olarak en kısa, zaman olarak en kısa olmak üzere iki seçenek söz konusudur. Kullanıcı ayrıca rota üzerinde uğranacak noktalar, paralı yolların kullanılıp kullanılmayacağı gibi koşullar da belirtebilir. Bu durumda aranan rota belirlen en koşullar altında en optimal rota olacaktır. İstenirse araç ve sürücü hakkında bilgiler girilerek yolculuğun tahmini süresi, harcanacak yakıt miktarı gibi bilgiler de sağlanabilir. Belirlenen rota, değişik zoom düzeyindeki (dolayısıyla değişik genelleştirme düzeyindeki) haritalarda gösterildiği gibi, istenirse liste halinde de verilebilir. Bu tür listeler, hangi yolun hangi kavşağa kadar izleneceği, kavşaklarda hangi yöne sapılacağı gibi bilgiler içerirler.

Adres bulma ve rota belirleme sistemleri, WAP ve GPRS teknolojileri kullanılarak cep telefonları için de geliştirilmektedir. GSM sisteminden yararlanarak yaklaşık 300m doğrulukta konum belirlemek mümkündür. Şüphesiz bu doğruluk GPS ile karşılaştırılmaz ancak bazı uygulamalar için yeterlidir. Bu özellikten yararlanarak telefonun konumu belirlenerek, en yakın taksi durağı, en yakın eczane gibi bilgiler telefon kullanıcılarına iletilebilir. Böyle bir servis Turkcell tarafından GPRS Land hizmetleri kapsamında Dev Göz adı ile verilmektedir (URL 4).

İnternette yol ağı uygulamalarının bir başka türü, toplu taşıma araçları ile seyahat edenlere hizmet veren sitelerdir. Özel aracıyla seyahat edenlere yönelik sitelere benzer olarak bu sitelerde hem adres arama, hem de seçilen toplu taşıma araçları ile bir noktadan bir noktaya en uygun ulaşım fonksiyonları vardır. Arka planda daha fazla veri tabanı desteği olan bu sitelerde, demiryolu, otobüs, denizyolu gibi pek çok toplu taşıma aracının güzergahları, kalkış-varış saatleri ve ücretleri gibi veriler saklanmaktadır. Bu kategorideki siteler ya büyük kentler ya da bölgeler bazında (URL5, URL 6) ya da bir taşıma şirketinin (örneğin Alman Demiryolları, URL 8) hizmet verdiği bölge kapsamında servis vermektedir.

İnternette yol ağı uygulamalarının tümü aslında CBS uygulamaları olup, mekansal analizler (adres arama, en kısa yol, en optimal yol bulma) ağ topolojisine göre yapılmaktadır. Bu bağlamda bağlantı objeleri (yol objeleri) sözel bilgilerle desteklenerek daha kapsamlı mekansal analizler yapılabilmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemlerinde çizgisel objeler (örneğin yollar) üzerinde yapılan mekansal sorgulama ve analizlerde önemli bir yeri olan ağ topolojisi kavramı, ağ topolojisi mantığı ışığında çizgisel objelerde genelleştirme konuları irdelenmiş, İnternet haritaları bağlamında gerçekleştirilen yol ağı uygulamalarının bu temel üzerinde eleştirisi yapılmıştır. İnternette giderek yaygınlaşan adres ve iki adres arasında en kısa yol bulma amaçlı sitelerin arkasında nasıl bir sistemin çalıştığına bu bağlamda dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Genel olarak reklamlarla finanse edilen bu sitelerde verilen hizmetin çok ciddi bir altyapı maliyeti olduğu gerçektir. Günümüzde bu tür siteler genellikle ABD, Kanada ve bazı Avrupa ülkeleri ile sınırlı olarak hizmet vermektedir. Hizmet verilen bölgenin büyümesi belki de bu sitelerin ücretli olması ile mümkün olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Barber, C., Cromley, R., Andrie, R., 1995. Evaluating Alternative Line Simplification Strategies for Multiple Representation of Cartographic Lines, *CAGIS*, v.22, n.4, s. 276-290.
- Bildirici, İ.Ö., 2000, 1: 1 000-1: 25 000 Ölçek Aralığında Bina ve Yol Objelerinin Sayısal Kartografik Genelleştirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cromley, R.G., 1992, *Digital Cartography*, Prentice Hall, New Jersey, 316p.
- Emmer, N., 2001, Web Maps and Road Traffic, in *Web Cartography*, M.J. Kraak, A. Brown (Eds), Taylor and Francis, London, pp.159-170.
- Jenks, G.F., 1989. Geographic Logic in Line Generalization, *Cartographica*, v.26,n.1, s.56-76.
- McMaster, R. B., 1987. Automated Line Generalization, *Cartographica*, v.24, n.2, pp.74-111
- Müller, J.C., 1987. Fractal and Automated Line Generalization, *The Cartographic Journal*, v.24, s.27-34.
- Plazant, C., Affholder, J.G., Fritsch, E., 1995. The Importance of Geometric Modelling in Linear Feature Generalization, *CAGIS*, v.22, n.4, s.291-306.
- Schmid, W., 2000, Berechnung kürzester Wege in Straßennetzen mit Wegeverboten, Doktora Tezi, Universität Stuttgart.
- URL 1: MapQuest: <http://www.mapquest.com>

URL 2: MapBlast: <http://www.mapblast.com/mblast/index.mb>

URL 3: DeLorme Cybermaps: <http://www.delorme.com/cybermaps>

URL 4: GPRS Land, <http://www.gprsland.com.tr>

URL 5: Berlin Online: http://www.berlinonline.de/service/nahverkehr/_bin/query.cgi/dn

URL 6: EFA Region Hannover: <http://www.efa.de/profi/welcome.htm>

URL 7: Transport for London: <http://journeyplanner.tfl.gov.uk/index.htm>

URL 8: Die Bahn-Verbindungen: <http://reiseauskunft.bahn.de/bin/query.exe/dn>