

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNDE TOPOLOJİ KAVRAMI

İ. R. Karas¹, F. Batuk²

¹Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli, ragib@gyte.edu.tr

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, batuk@yildiz.edu.tr

ÖZET

Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarını diğer Bilgisayar Destekli Çizim yazılımlardan ayıran en önemli fonksiyon topolojik yaklaşımdır. Herhangi bir bilgisayar destekli harita yazılımı için zorunlu olmasa da, bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı, coğrafi veriyi gerektiği gibi analiz edebilmek için topolojik ilişkileri içermeye mecburdur. Topoloji, varlıkların metrik özelliklerinden çok birbirleriyle olan ilişkileri ile ilgilenen bir matematik dalı olmasına karşın, coğrafi bilgi sistemlerinde topoloji; coğrafi varlıkların birbirleriyle nasıl ve ne şekilde ilişkilendirildiğini geometriden bağımsız şekilde gösterme biçimi olarak tanımlanır. CBS'nin geometrik temellerinde en önemli yapıyı topolojik veri yapıları oluşturmakla birlikte, çoğu kez üzerinde çok fazla durulmadığı görülmektedir. Bu bildiride Coğrafi Bilgi Sistemlerinde topoloji kavramı ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Topoloji, topolojik dönüşüm, CBS.

ABSTRACT

TOPOLOGY CONCEPT IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Topologic approach is the most important function of GIS softwares and it is the main difference between GIS and CAD softwares. Even if a CAD based software doesn't need, the GIS softwares must include the topologic relationships to analyse the spatial data. Topology, a part of mathematics, is interested the relationships of the entities. In GIS, topology is determined as how and what is the relationships between the geographic entities without the metric geometry. Although topology is the most important structure in the geometric fundamentals of GIS, usually it isn't considered sufficiently.

Keywords: Topology, topological transformation, GIS.

1. GİRİŞ

Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarını diğer Bilgisayar Destekli Çizim yazılımlardan ayıran en önemli özellik coğrafi analiz, diğer bir ifade ile konumsal analitik işlemleri gerçekleştirebilme yeteneğidir (Maguire, 1992). Coğrafi analizler ise, bu yazılımların içerdiği topolojik yaklaşımlar sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısı ile herhangi bilgisayar destekli çizim yazılımı için zorunlu olmasa da, bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı, topolojik ilişkileri kapsamaya mecburdur. CBS'nin geometrik temellerinde en önemli yapıyı topolojik veri yapıları oluşturmakla birlikte, çoğu kez üzerinde çok fazla durulmadığı görülmektedir. Bu bildiride topoloji kavramı üzerinde durulacak, Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki topolojik veri yapıları örneklerle detaylandırılacaktır.

2. TOPOLOJİ KAVRAMI

Grafik nesneler arasında temel olarak 3 farklı koordinat dönüşümünden bahsetmek mümkündür. Bunlar benzerlik dönüşümü, afin dönüşümü ve projektif dönüşümdür.

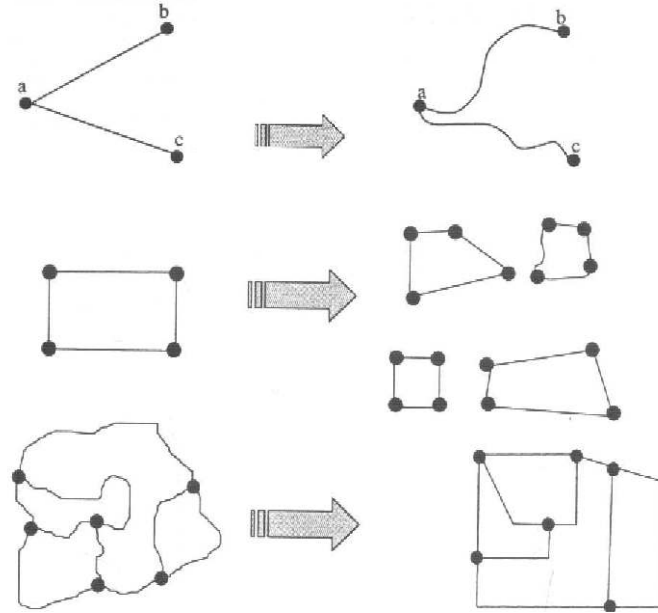
Benzerlik dönüşümünde, dönüşüm sonucunda elde edilen şekil, orjinal şeklin benzeridir. Sadece uzunluklar ölçek faktörü oranında değişerek, şekilde büyüme yada küçülme olur, açılar değişmez. Afin dönüşümünde, şekil dönüşümden sonra geometrik olarak bozulur ve açılar değişir. Ancak doğrular yine doğrudur, paralellik değişmez. Projektif dönüşüm, diğer dönüşümlere göre daha genel bir yöntem olup, iki düzlem arasındaki paralel olup olmama durumuna ve izdüşümün merkezsiz veya paralel olmasına bakılmaksızın dönüşüm yapılır. (Tüdeş ve Bıyık, 1994)

Dönüşüm aynı zamanda geometrik nesneler arasındaki fonksiyonel bir bağıntıdır. Benzerlik dönüşümü için en az 4, afin dönüşümü için en az 6 ve projektif dönüşüm için en az 8 parametre için çözüm yapılması gerekir. Dolayısı ile benzerlik dönüşümünden, projektif dönüşüme doğru, bağıntılardaki bilinmeyen sayısı artmakta, sonuçta metrik geometri gittikçe daha fazla bozulmakta ve şekil gittikçe daha fazla deforme olmaktadır. Böylece sözkonusu her dönüşüm grubu ayrı bir geometriyi ortaya koymaktadır.

Bu üç dönüşümün ardından gelen ve bir anlamda en geniş geometriyi sağlayan dönüşüm ise topolojik dönüşümdür (Hacısalıhoğlu, 1998). Topolojik dönüşümlerde geometrik şekiller metrik özelliklerinden tamamen bağımsız olarak

dönüşüme tabi olmaktadır. Nitekim topoloji, varlıkların metrik özelliklerinden çok birbirleriyle olan ilişkileri ile ilgilenen bir matematik dalı olarak tarif edilmiştir (Yomralıoğlu, 2000).

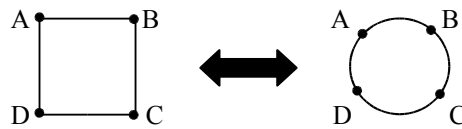
Geometrik şekillerin topolojik dönüşümler sonucu korunan özelliklerine topolojik özellikler denir. Bu özellikleri inceleyen bilim dalına topolojik geometri yada sadece topoloji denir. Bir topolojik dönüşüm ile birbirine dönüştürülebilen iki şekle topolojik eşdeğerdirler veya homeomorfik dirler denir ve herbirine diğerinin topolojik resimi veya homeomorfu denir (Hacısalıhoğlu, 1998). Şekil 1’de topolojik anlamda eşdeğer olan bazı şekiller görülmektedir.



Şekil 1: Topolojik olarak eşdeğer şekiller

Şekil 1’de de görüldüğü gibi topoloji, şekillerin büyüklük ve biçim özellikleri ile değil, şekil bozulmaları karşısında değişmeden kalan özellikleri ile ilgilenir (Yomralıoğlu, 2000). Topolojik dönüşümü daha kolay kavramak bakımından “Esnek yüzey” (rubber sheet) örneği verilmektedir. Buna göre geometrik nesnenin bulunduğu yüzey elastik bir sayfa olarak düşünülür. Katlamamak ve yırtmamak kaydı ile bu sayfayı istendiği kadar sündürmek, esnetmek yada gevşetmek serbesttir. Bu işlem esnasında geometrik nesnenin alacağı her bir yeni şekil, bir diğerinin topolojik olarak dönüşüme uğramış halidir (Yaşayan, 2001).

Topolojik dönüşümler ile bir şeklin noktalarına başka bir şeklin noktaları tekabül ettirilir; fakat metrik özelliklerin değil, metrik olmayan özelliklerin korunması önemlidir. Böylece şekiller değişmeye uğrarlar, fakat topolojik özellikleri korunur. Örneğin, bir karenin bir çember üzerine resmedilmesi veya tersine bir çemberin bir kare üzerine resmedilmesi birer topolojik dönüşümdür (Şekil 2). Burada dönüşüm birebirdir ve uzunlukları korumaz. Şekil deforme olmakta, bununla beraber şekiller üzerindeki noktalara ait sıralama korunmaktadır. Basit kapalı bir eğri olma özelliği de korunur, kare ve çember kendi kendilerini kesmeyen birer eğridirler. Bütün topolojik dönüşümlerde basit kapalı şekiller yine kapalı şekil olarak kalırlar.



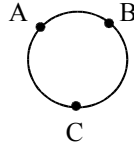
Şekil 2: Topolojik dönüşüm

Şekil 3’deki birbirinin topolojik eşdeğeri olan her iki şekilde de görüldüğü gibi, topolojik dönüşümlerde üzerindeki noktaların sırası, yani lineer sıralama da korunur. Burada noktalar ABC sırasındadır yada CBA sırasındadır denir. Fakat noktalar kesinlikle ACB, BCA, BAC, CAB şeklindeki sıralamalara uymazlar.



Şekil 3: Topolojik dönüşümde lineer sıralama

Bu kez aynı yürütme Şekil 4'deki çember için yapılırsa, noktaların sıralamaları için ABC, BCA, CAB, CBA, BAC, ACB önermelerinin hepsi de doğru olacaktır. Dolayısı ile bir doğru yada topolojik eşdeğeri olan bir şekil için üzerindeki 3 nokta için sadece iki sıra söz konusu olmasında rağmen, çember üzerindeki üç nokta için altı sıra söz konusudur. Lineer sıradan farklı olarak bu sıraya dairesel sıra denir ve tüm basit kapalı şekillerdeki sıralama daireseldir.

**Şekil 4:** Topolojik dönüşümde dairesel sıralama

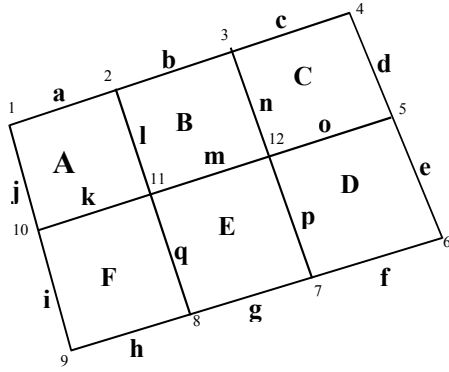
Konu basit bir örnekle somutlaştırılırsa, metrolarda, yolcuları bilgilendirmek amacı ile çıkış kapılarının üstündeki, durakların dizilişini gösteren şemalar aslında tamamen topolojik bir yaklaşımla çizilmiştir. Şekil 5'de de görüldüğü gibi, söz konusu olan sadece durakların sıralanışıdır ve şemanın bu haliyle yolculara verdiği bilgi hangi duraktan sonra hangisinin geldiğidir.

**Şekil 5:** Metro duraklarının topolojik yaklaşımla gösterimi

Duraklar arasındaki mesafe, birbirlerine göre doğrultuları, yönleri yani metrik bilgilerin tamamı ihmal edilmiş ve metronun yol haritası topolojik bir dönüşüm geçirerek bu hale getirilmiştir. Yine benzer şekilde, kapalı şekiller üzerindeki noktaların sıralanışı ile ilgili olarak, ring seferi yapan bir otobüs örneği gözönüne alınabilir.

3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNDE TOPOLOJİ

Bilgisayar grafik teknikleri açısından bir haritayı “görüntülemek” için gerekli olan asgari veri, köşe noktalarına ait koordinatlar ve bu noktaları birleştirecek olan doğrulara ait bilgilerdir. Örneğin Şekil 6'daki imar adası bilgisayar ekranında görüntülenmek istendiğinde, Tablo 1 ve Tablo 2'deki veriler şekli çizmek için yeterli olacaktır. Buna göre çizgilerin başlangıç ve bitiş noktalarını Tablo 2'den, koordinatlarını ise Tablo 1'den alarak imar adası görselleştirilebilir.



Şekil 6. İmar adası

NN	Y	X
1	..	..
2	..	..
3	..	..

Tablo 1:

Koordinatlar

Çizgi No	Başlangıç NN	Bitiş NN
a	1	2
b	2	3
c	3	4
...		

Tablo 2: Doğrular

Parsel No	Çevreleyen Çizgiler
A	a, l, k, j
B	b, n, m, l
C	c, d, o, n
..	...

Tablo 3: Alanlar

Kullanıcı, ekranda bu çizime baktığında “Bu imar adasında kaç parsel var?”, “Şu parselin komşusu hangi parsellerdir?” gibi soruların cevaplarını kolayca verebilir. Fakat şekli görüntüleyebildiği halde, Tablo1 ve 2 deki bilgileri kullanarak yukarıda geçen soruları, bilgisayarın cevaplayabilmesi mümkün değildir. Cevaplayabilmesi için, Tablo 3’de görülen ilave verilerin de bilgisayara girilmesi gerekir. Böylece, Tablo 3’teki poligonlardan, sınır çizgileri ortak olanları belirleyerek komşu parseller hakkında bilgi verebilir. Yada “Bu adada kaç parsel var?”, “Şu parselin sınır çizgileri hangileridir?” gibi analizleri sonuçlandırabilir. Yine, parsellerin çevre ve alanlarını hesaplayabilmek için Tablo 3 deki verilerin girilmiş olması zorunludur.

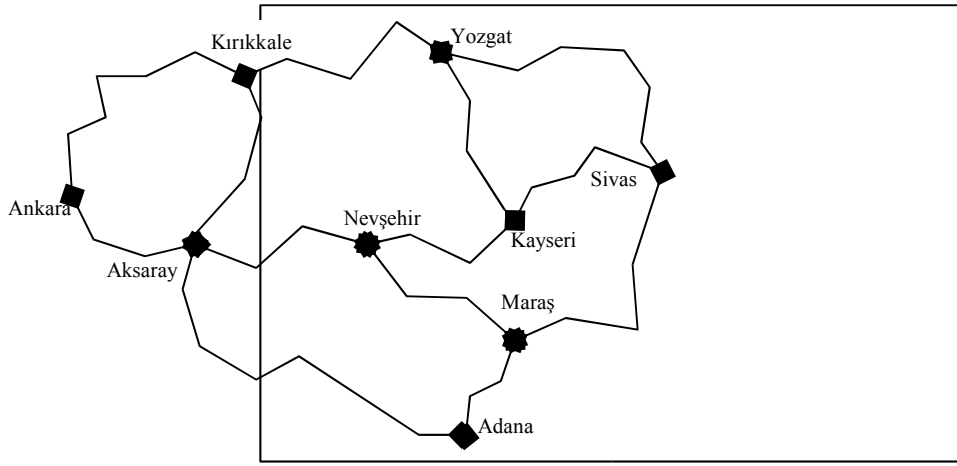
Yukarıdaki örnek dikkatle incelenirse Tablo 1’deki verilerin metrik bilgiler, Tablo 2 ve Tablo 3’deki verilerin ise topolojik özellikler olduğu görülecektir. Gerçekten de, Bölüm 2 ‘de anlatılan “Esnek yüzey” tekniği uygulanır, şekil elastik bir yüzeye çizilip, esnetilerek, deformasyona uğratılırsa, koordinatların değiştiği, fakat Tablo 2 ve Tablo 3’te belirlenen topolojik ilişkilerin korunduğu görülecektir. Alansal detaylar, yine aynı çizgilerle çevrili kapalı alan olarak kalacak ve çizgilerin uç noktaları da kesinlikle değişmeyecektir.

Topoloji, aslında şekle bakan kimse tarafından “aşıkâr” olan şeylerin matematiksel olarak ifadesinden başka bir şey değildir. Sonuç olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri açısından bir tanım yapmak gerekirse: “Topoloji, coğrafi varlıkların birbiriyle nasıl ve ne şekilde ilişkilendirildiğini geometriden bağımsız şekilde gösterme biçimidir.” denebilir.

3.1 Topolojik Veri Yapıları

CBS’de topoloji konusunu bir başka örnekle daha da detaylandırılırsa, Şekil 7’deki haritaya bakan bir kişi Ankara’dan Sivas’a ulaşmak için en kısa yolun Ankara-Aksaray-Nevşehir-Kayseri-Sivas güzergahlarından gitmek olduğunu rahatlıkla görecektir. Bu bilgi haritayı inceleyen bir kimse için “aşıkâr”dır.

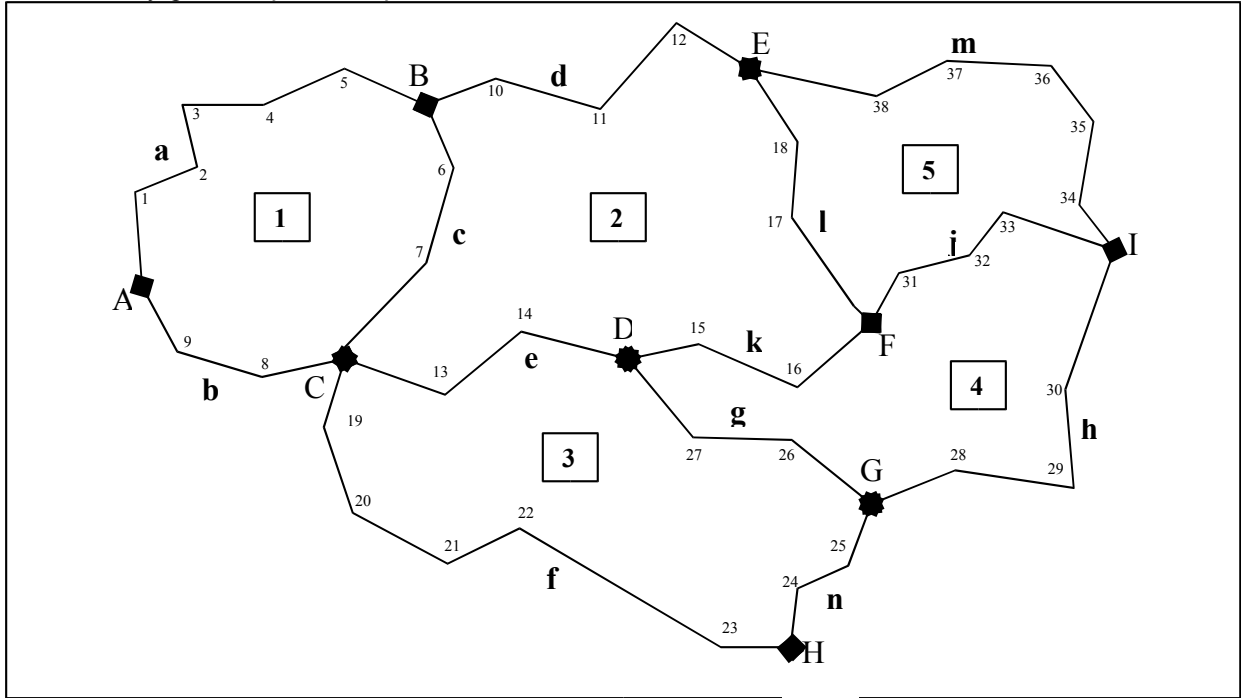
Aynen ilk örnekte olduğu gibi şekli bilgisayar ekranında “görüntülemek” için kırık noktalarına ait koordinatlar ile bu noktaları birleştiren doğrulara ait bilgiler yeterlidir. Fakat bilgisayardan, Ankara’dan Sivas’a giden “en kısa yol”u bulması istendiğinde söz konusu veriler bu analizi yapmak için yetersiz kalacaktır. Aynı şekilde alan ve komşuluk ilişkilerini de bu verilerle elde etmek mümkün değildir. Dolayısı ile söz konusu analizleri yapabilecek bir veri yapısına ihtiyaç vardır.



Şekil 7: Yol ağındaki en kısa mesafe

Düğüm (node) ve Hat (arc): Yukarıdaki örnekte şehir isimleri ile ifade edilmiş olan, güzergah tercihinin yapıldığı yol ayrımı noktalarının her biri, gerçekte “düğüm” (node) noktası olarak adlandırılmaktadır. İki düğüm noktasını birleştiren ve bir yada birden fazla doğru parçasının birleşimine ise “hat” (arc) adı verilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken düğüm noktalarının, doğru parçalarının değil hatların birleşim noktaları olduğudur.

Bu tanımlar gözönüne alınarak, sözkonusu analizleri yapabilmek amacıyla yukarıdaki örnek topolojik olarak ifade edilir ve veri yapıları oluşturulursa Şekil 8 ve Tablo 4, 5, 6 ve 7 elde edilecektir.



Şekil 8: Alanlar, hatlar ve noktalar

Nokta No	Y	X
1	..	..
2	..	..
3	..	..
..	..	..

Tablo 4: Koordinatlar

Hat No	Başlangıç Düğümü	Bitiş Düğümü	Hattı oluşturan nokta numaraları
a	A	B	1, 2, 3, 4, 5
b	A	C	8, 9
c	B	C	6, 7
d	B	E	10, 11, 12
..	..	..	..

Tablo 5: Hat-Düğüm Topolojik veri yapısı

Poligon No	Çevreleyen Hatlar
1	a, b,c
2	c, d, e, l, k
3	e,f,g,n
..	..

Tablo 6: Poligon-Hat Topolojik veri yapısı

Hat No	Sol Poligon	Sağ Poligon
..	..	..
k	2	4
l	2	5
..	..	..

Tablo 7: Sol-Sağ topolojik veri yapısı

3.1.1 Hat-Düğüm (arc-node) topolojik veri yapısı

Tablo 4, Şekil 8'deki kırık noktalarına ait nokta koordinatlarını, Tablo 5 ise her bir hattın başlangıç ve bitiş düğüm noktaları ile bu hattı oluşturan kırıkların nokta numaralarını içermektedir. Dolayısı ile Tablo 4 haritaya ait metrik özellikleri, Tablo 5 ise topolojik özellikleri vermektedir.

Ankara ve Sivas'ı temsil eden A ve I noktaları arasındaki en kısa mesafenin analiz edilmesi istendiğinde, Tablo 5'den öğrenilen hat üzerindeki noktaların koordinatları Tablo 4'den elde edilerek, her bir hattın uzunluğu hesaplanacak, daha sonra bu hatların, olabilecek tüm kombinasyonları denenerek A ve I arasındaki en kısa yol ortaya çıkarılacaktır.

Tablo 5'de tanımlanmış olan veri yapısına "Hat-Düğüm (arc-node) topolojik veri yapısı" denmektedir ve bağlantı yapısını (connectivity) bilgisayarda saklayan bir topolojik veri yapısıdır (Yomralıoğlu, 2000). Bu yapı ile metro-demiryolu güzergahları ile istasyonlar arasındaki ilişkilerle, kanalizasyon, su, elektrik, telefon hattı, akarsu- yol kesişimi gibi, bağlantı yapısına sahip her türden ağ analizlerinin yapılması mümkün olmaktadır.

3.1.2 Poligon-Hat (polygon-arc) topolojik veri yapısı

Hat-Düğüm topolojik veri yapısı optimum güzergah analizlerine yanıt vermekle birlikte, bu veri yapısında şu türden soruların karşılıkları yoktur (Yukarıdaki örnek için alanlar birer mahalle olarak düşünülürse):

- 2 no'lu mahallenin çevresinden hangi yollar geçmektedir?
- 3 nolu mahallenin komşuları hangi mahalelerdir?
- Bu şehirde toplam kaç mahalle vardır ve bunlar nelerdir?

Tablo 6'te tanımlanmış olan, ve bu türden sorulara cevap veren veri yapısına "Poligon-Hat (polygon-arc) topolojik veri yapısı" denmektedir. Poligon-Hat (polygon-arc) topolojik veri yapısı, poligonların (alanların) tanımlanmasını (area definition) sağlayan ve bunların bilgisayarda saklanmasını sağlayan bir veri yapısıdır. Poligonlar birer kapalı şekildir ve sınırlarını hatlar (arc) belirler. Buna göre, numaralandırılan her bir poligona ait, o poligonu çevreleyen hatların bir listesi oluşturulur. Şekil 8'ye göre c,d,e,k,l hatları 2 numaralı poligonu oluşturmaktadır. Bu yaklaşım aynı zamanda, özellikle poligon bindirmesini ve aynı sınırı paylaşan poligonların sınır koordinatlarının tekrarlanmasını önlemektedir. Örneğin c hattı 1 ve 2 numaralı poligonların sınırını oluşturmaya karşın, bu hattı oluşturan noktalara ait koordinatlar Tablo 1 'de sadece bir kez yer almaktadır. Poligonlar arasında uzun ve karmaşık sınırlar olduğu kabul edilirse, poligon-hat topolojik yaklaşımıyla, bu sınırdaki koordinatlar bilgisayar belleğine bir kez kayıt edilmiş olacaktır (Yomralıoğlu, 2000).

3.1.3 Sol-Sağ (left-right) topolojik veri yapısı

Poligon-Hat (polygon-arc) topolojik veri yapısında komşulukları belirlemek mümkün olmakla birlikte, bu işlem poligonları çevreleyen ortak hat(lar)ın olup olmadığı analiz edilerek yapılmakta, bu da oldukça vakit almaktadır. Bundan başka bu model ile sınırın hangi tarafında, hangi poligonun olduğunu belirlemek de mümkün değildir. "Bu güzergah boyunca yolun sağında kalan mahalleler hangileridir?" gibi bir soruyu ancak Tablo 4'de görülen "Sol-Sağ (left-right) topolojik veri yapısı" cevaplayacaktır. Bu veri yapısı geometrik varlıklar arasındaki komşuluk ilişkilerini (contiguity) bilgisayar ortamında saklayan topolojik veri yapısıdır. Sol-Sağ (left-right) topolojik veri yapısında, komşu poligonlar aralarındaki hattı ortak bir şekilde paylaşırlar.

4. TOPOLOJİSİZ BİR CBS MÜMKÜN MÜ?

Görüldüğü gibi topolojik veri yapıları, çeşitli konumsal analizlerin yapılabilmesini sağlar. Fakat, bir coğrafi bilgi sisteminde sözkonusu topolojik veri yapılarının bulunması olmazsa olmaz koşul mudur, topolojisiz bir CBS mümkün olamaz mı?

Yukarıdaki örnek gözönüne alındığında, en kısa yol analizi dikkatle incelenirse, sadece Tablo 4'deki verilerle de bu analizin yapılabilmesi görülecektir. Bunun için, başlangıç noktasından itibaren her bir doğru parçasının uç koordinatları ile eşleşen diğer doğru parçaları takip edilerek, değişik alternatif yollardan hedef noktaya ulaşılabilir. Fakat, binlerce belki milyonlarca doğru parçasından oluşan bir ağ üzerindeki bir CBS düşünüldüğünde bu şekilde bir analizin ne kadar zor olacağı, bu analizi sonuçlandırmak için bilgisayarın oldukça kompleks algoritmalar uygulaması gerekeceği, performansının ve işlem zamanının kat kat artacağı açıktır.

Benzer şekilde Bölüm 3.1.3'de de belirtildiği gibi poligon-hat topolojik veri yapısı ile komşuluk analizlerinin yapılabilmesi mümkün olmakla birlikte, bu işlem oldukça uzun ve vakit alıcıdır ve de sol-sağ veri yapısı olmadan tek başına yetersiz kalmaktadır.

Bazı analizlerin yapılması için ise, topolojik ilişkilerin kurulması kesinlikle şarttır, örneğin poligonların tanımlanmadığı bir sistemde, hiç bir şekilde alansal analizlerin yapılması mümkün değildir.

Dolayısı ile, bazı ilişkileri kayıt almak zorunlu olmasa da, topolojiden tamamen bağımsız bir CBS yazılımı düşünmek mümkün değildir.

5. SONUÇLAR

Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarını çizim ve görüntüleme (CAD) amaçlı yazılımlardan ayıran en önemli fonksiyon topolojik yaklaşımdır. Herhangi bir bilgisayar destekli harita yazılımı için zorunlu olmasa da, bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı, coğrafi veriyi gerektiği gibi analiz edebilmek için topolojik ilişkileri içermeye mecburdur.

Bununla birlikte değişik CBS yazılımlarının analiz yetenekleri ve performansları arasındaki farkların, yukarıdaki örnekte olduğu gibi, ilişkileri topolojik veri yapısı ile "saklamak" ile, işlem zamanında ortaya çıkarmak tercihinden kaynaklandığını da belirtmek gerekir.

Sonuç olarak coğrafi bilgi sistemlerinde konumsal ilişkileri topolojik veri yapısı ile saklamak;

- Konumsal analizlerin (etkin bir şekilde) gerçekleştirilmesine,
- Çakışıklık (detay tanımlarında ortak hat ve düğümlerin yer alması) bir kez tanımlandığından, ortak detayların bir yerde toplanması suretiyle veri tekrarının önüne geçilmesine,
- Geometrik verilerin kendi içinde tutarlı kalmasına ve
- Veriye çok daha hızlı erişilmesine sebep olur.

KAYNAKLAR

Hacısalihoğlu, H., 1998. *Dönüşümler ve Geometriler*, Ertem Matb, 328 s.

Maguire, D. J., 1992. An Overview and Definition of GIS, in maguire D. J., Goodchild M, Rhind d (eds.), GIS Principles and Applications, Vol.1, Longman, London

Tüdeş T., Bıyık C., 1994. *Kadastro Bilgisi*, KTÜ Basımevi

Yaşayan, A., 2001. *CBS proje yönetimi ders notları*.

Yomralıoğlu T., 2000. *Coğrafi Bilgi Sistemleri, Temel Kavramlar ve Uygulamaları*, Seçil Ofset, 480 s.