

**Makale
(Article)**

3B CBS Gerçekleştiriminin Önündeki Zorluklar ve 3B Konumsal Analiz Uygulamaları

İsmail Rakıp KARAŞ*, **Fatmagül BATUK****, **Erdener YEŞİL***

* Karabük Üniversitesi Mühendislik Fak. Bilgisayar Müh. Böl., Karabük/TÜRKİYE

** Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. Harita Müh. Böl., İstanbul/TÜRKİYE

ismail.karas@karabuk.edu.tr, batuk@yildiz.edu.tr, erdeneryesil@gmail.com

Özet

Yaygın olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), analiz anlamında daha çok iki boyutlu (2B) uygulamalara imkan tanırken, günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile gerçek dünyanın birebir modellenmesini gerektiren çok daha etkin çözümlerin üretilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da “Üç Boyutlu CBS (3B CBS)” kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bir CBS’den beklenen tüm fonksiyonları, 3B dünyadaki gerçek objelere yönelik olarak gerçekleştirebilecek düzeydeki sistemler ancak, 3B CBS olarak adlandırılabilirler. Bu açıdan her ne kadar 3B olarak anılsa da, kimi sistemler aslında 3B CBS kapsamında girmekten uzaktırlar. Bu çalışmada 3B CBS kavramı ve 3B CBS'nin gerçekleştirimi yönündeki zorluklar detaylandırılmış, ardından 3B konumsal veri analizlerine yönelik olarak geliştirilmiş olan iki farklı uygulama tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CBS, 3B CBS, Konumsal Analizler, 3B Ağ Analizi, 3B Tampon Analizi.

The difficulties in performing 3D GIS and Applications of 3D Spatial Analysis

Abstract

While commonly used Geographic Information Systems (GIS) mostly allow two dimensional (2D) applications, with the technological improvements it is necessary to produce more effective solutions in modeling real world. This progress have revealed the concept of the “Three Dimensional GIS (3D GIS)”. The systems that perform every functions expected from a GIS on real objects of 3D world can be defined as 3D GIS. Even if some of the systems are called as 3D while they are out of the concept of 3D GIS. In this study, the 3D GIS concept and the difficulties in performing a 3D GIS are described in detail, and then two different applications developed based on 3D spatial analyses are presented.

Keywords : GIS, 3D GIS, Spatial Analyses, 3D Network Analysis, 3D Buffer Analysis.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasının iç içe geçmiş problemlerinin çözümünde, mevcut Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamalarından daha fazlasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yerüstü ve yeraltındaki Üç Boyutlu (3B) konumsal objeler, halihazırdaki sistemlerin sağladığı imkanlardan çok daha karmaşık çözümleri gerektirmektedir. Üçüncü boyutları (yükseklik/derinlik bilgileri) nedeniyle, özellikle çok katlı binalar, maden, tünel ve çok katlı kavşaklar gibi mekanlar için, konumsal ve mantıksal analizlerin etkin bir şekilde yapılması ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır (Şekil 1). Doğal ve yapay afetler için hızlı ve etkili

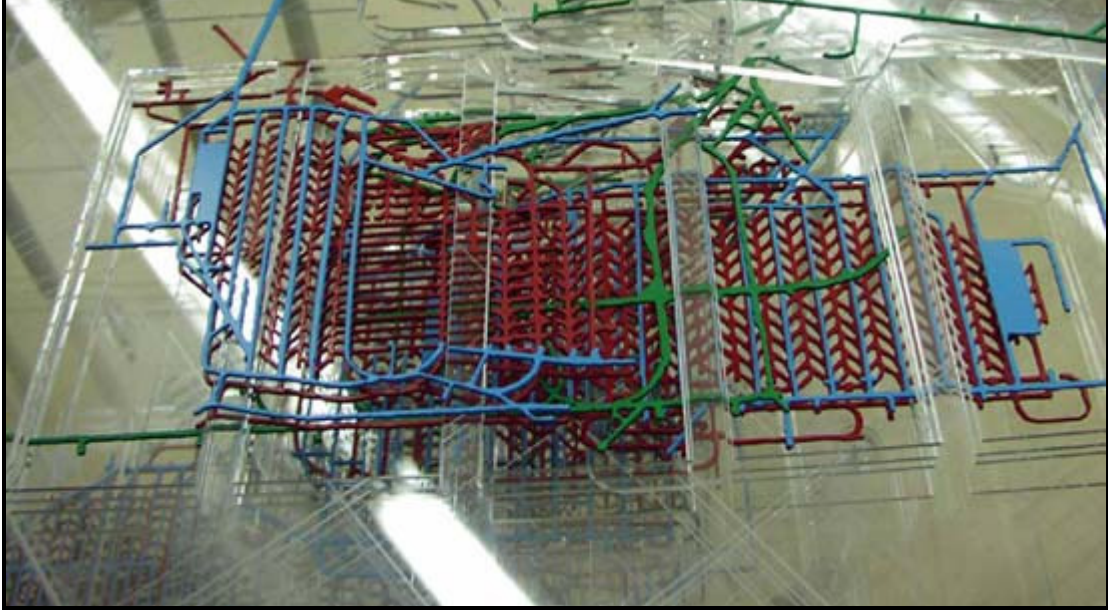
Bu makaleye atf yapmak için

Karaş İ.R., Batuk F., Yeşil E., “3B CBS Gerçekleştiriminin Önündeki Zorluklar ve 3B Konumsal Analiz Uygulamaları” Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 2(3) 1-12

How to cite this article

Karaş İ.R., Batuk F., Yeşil E., “The difficulties in realising 3D GIS and 3D Spatial Analysis Applications” Electronic Journal of Map Technologies, 2010, 2 (3) 1-12

çözümler üretmek amacıyla tasarlanan afet bilgi sistemleri bünyesinde, gökdelenler, madenler ve metro hatlarında meydana gelebilecek olaylar için söz konusu analizlerin gerekliliğine özellikle dikkat çekilmektedir [1-2]. “İki Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (2B CBS)” çoğu alanda yeterli olurken, günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile gerçek dünyanın birebir modellenmesini gerektiren, çok daha etkin çözümlerin üretilmesi söz konusudur. Bu da “Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (3B CBS)” kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 1. Endonezya'daki Grasberg altın ve bakır madeninin 3B modeli [3].

1.1 CBS'nin Fonksiyonları

Araştırmacılar, yerüstü, yeraltı ve uzayda yer alan objelerin sadece bilgisayarda depolama ve gösterimiyle yetinmemiş, gelişen teknolojinin de etkisi ile veri gruplarının analiz edilmesi ve bir arada değerlendirilmesi tekniklerini de geliştirmişlerdir. Bu tekniklerin en başında ise CBS gelmektedir.

Koordinatlara dayalı gözlemlerle elde edilen konumsal (spatial) verilerin ve bu verilerle ilişkili, konumsal olmayan (non-spatial) verilerin toplanması, saklanması, işlenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve kullanıcıya sunulması işlemlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bilgi sistemleri, “Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)” olarak tanımlanmaktadır [4-5-6]. Dolayısı ile bir CBS şu fonksiyonları gerçekleştirebilmelidir [4-7].

Veri Entegrasyonu: Konumsal ve öznitelik verilerinin elde edilmesi anlamında bir çok teknik ve araç mevcuttur. Konumsal veriyi elde etmede kullanılan araçlar manuel, yarı otomatik yada tam otomatik, sonuç ürünler ise raster yada vektör veri olabilir. CBS, farklı ortamlarda oluşturulan bu türden sayısal ve sözel verilerle entegre bir şekilde çalışma özelliğine sahiptir.

Yapılandırma: Konumsal veri tabanının oluşturulmasında CBS çok önemli bir yer tutar. Analiz ve manipülasyon gibi fonksiyonların başarısı, CBS'nin yapılandırma yeteneğine bağlıdır. Farklı sistemler farklı yapılandırma yeteneklerine sahip olabilirler (Basit yada karmaşık topoloji, ilişkisel yada obje tabanlı bir veri tabanı gibi).

Manipülasyon: CBS ile güncelleme, ayıklama, ekleme, transfer vb manipülasyonlar çok hızlı ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir. Bu sayede mevcut bilgilerden yeni bilgiler üretilerek, istenen formatta değişik sistemlere bilgi transferi yapılabilmektedir. Örneğin genelleştirme önemli manipülasyon

işlemlerinden birisidir ve veri karmaşıklığını azaltmak, verinin daha okunaklı, anlaşılır ve açık olarak sunulması açısından önemlidir.

Analiz: Analiz fonksiyonu bir CBS'deki çekirdek işlemdir. Konumsal ve öznitelik verileri üzerindeki metrik, topolojik vb. işlem ve sorguları kapsar. Bir CBS'deki analiz işlemleri, bir yada birden fazla veri seti üzerinde yapılır ve bu işlemler yeni bir konumsal bilgi üretilmesini sağlar. Arazi analizi (görünürlük analizi), geometrik hesaplamalar (hacim, alan vs), kesişme, tampon bölge, birleştirme, sıralama tipik analiz fonksiyonlarından bazılarıdır.

Karar Destek: Temel istatistik analizlerine ilave olarak, mevcut verilerden yararlanarak ileriye dönük tahminlerin yapılması, yatırım amaçlı mekanların tespit edilmesi, planlama için gerekli donatıların en uygun alanlara yerleştirilmesi, verilerin istatistiksel olarak irdelenmesi, yöneylem analizleri, zamana göre konum özelliklerindeki değişimlerin izlenmesi gibi, neden ve niçin sorularına cevap aranacak nitelikteki karar verme analizleri, CBS ile çok daha dinamik olmaktadır.

Model Analizleri: Planlanan bazı projelerin veya doğal olayların gerçekleşmesi halinde meydana gelecek durumun daha önceden gerçekleşmiş gibi gözlenebilmesi işlemleri simülasyon olarak bilinir. CBS, coğrafi varlıkların çevreleriyle olan ilişkilerini de dikkate alarak bilgisayar ortamında oluşturulacak gerçek modellerle simülasyon işlemlerini gerçekleştirme imkanına sahiptir. Böylece tasarlanan proje sanki gerçekleşmiş gibi, belli bir ölçek dahilinde küçültülerek yönetici veya uzmanlara üzerinde çalıştıkları özel proje hakkında uygulama öncesi detaylı bilgi sağlamış olacaktır.

Sunum: Bir CBS' deki son aşama üretilen bilgi ve sonuçların harita, grafik, tablo ve raporlar şeklinde kullanıcıya sunulmasıdır.

1.2 3B CBS Kavramı

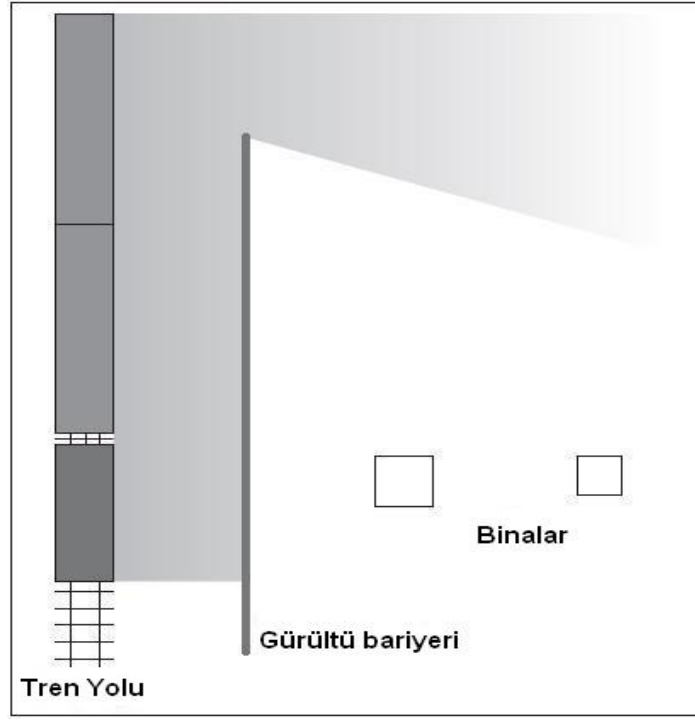
Buradan hareketle, 3B CBS için bir tanım yapmak gerekirse: Bir CBS'den beklenen, yukarıda sayılan tüm bu fonksiyonları, 3B dünyadaki gerçek objelere yönelik olarak gerçekleştirebilecek düzeydeki sistemler, 3B CBS olarak adlandırılmaktadır.

Buna göre 3B CBS'nin çok geniş bir alanı kapsayan uygulama alanlarından bazıları şu şekildedir [8-9-10-11-12]: 3B Kent Bilgi Sistemleri, Planlama, İnşaat mühendisliği, Mimari, Peyzaj planları, Navigasyon Sistemleri, Maden tetkik, Hidrografik Ölçmeler, Ekolojik Çalışmalar, Çevresel Gözlemler, Jeolojik Analizler, Arkeoloji, Deniz Biyolojisi, İletişim Altyapısı, Acil Durum Yönetimi, Emlak sektörü, vb.

1.2.1 3B CBS Gerçekleştiriminin Önündeki Zorluklar

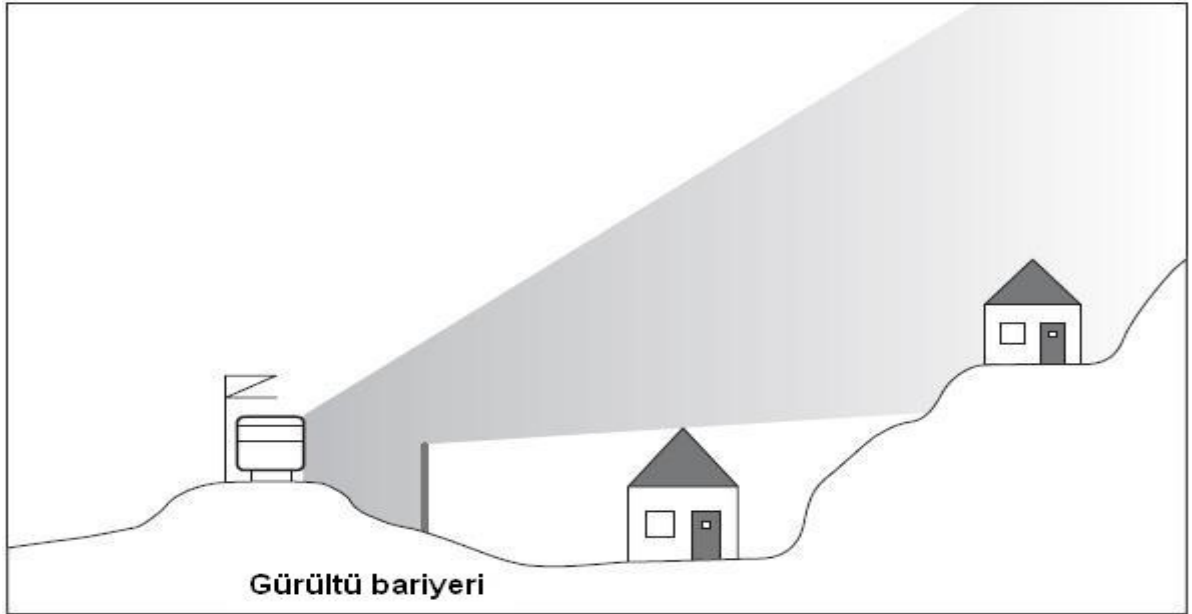
Bugün yaygın olarak kullanılan CBS yazılımları, 2B verinin yönetimi anlamında yukarıda sayılan fonksiyonları etkili bir şekilde gerçekleştirebilmektedirler. Fakat bu sistemlerden, ileri düzeyde 3B uygulamalar talep edildiğinde başarısız olmaktadır [13-14-15-16]. Kastedilen türden bir uygulama için aşağıda detayları verilen gürültü analizi iyi bir örnektir [17].

Bir demiryolu, demiryolunun paralelinde bulunan bir gürültü filtresi ve bunların çevresindeki binaların oluşturduğu bölgede, Şekil 2'de görüldüğü üzere 2B CBS kapsamında gürültü analizi yapıldığında binaların demiryolundan gelen gürültülerden bariyer sayesinde etkilenmediği sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 2. 2B Gürültü Analizi [17].

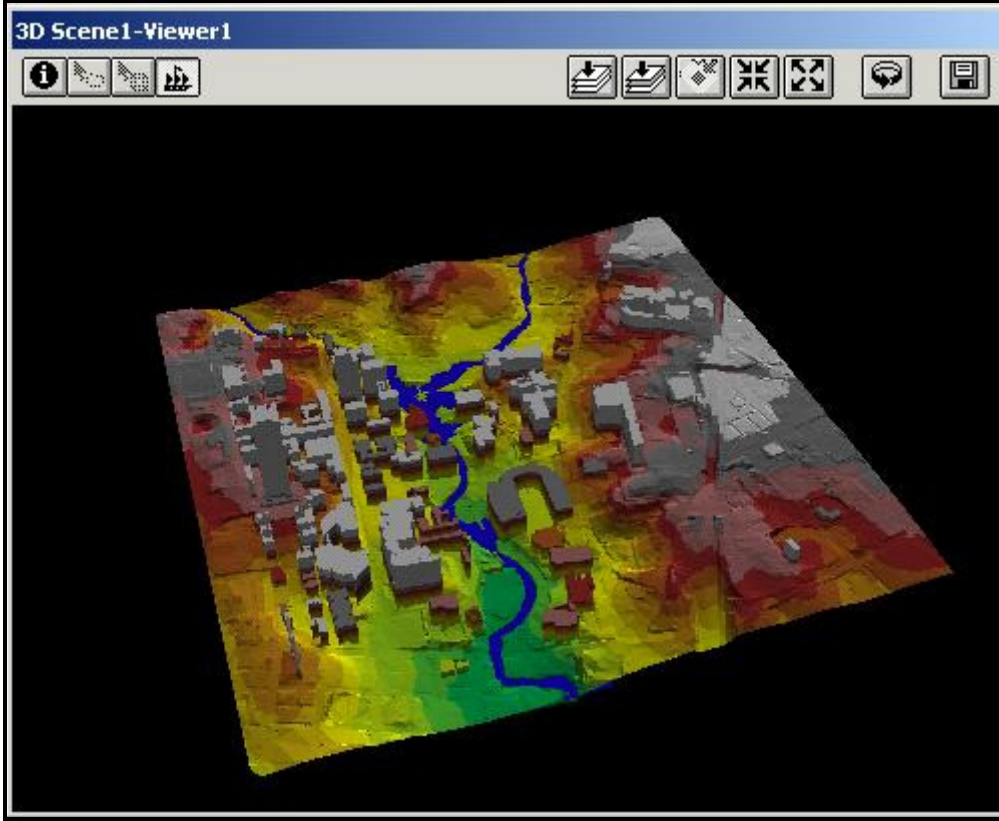
Oysa durum Şekil 3'deki şekliyle 3B olarak incelendiğinde sonucun hiç de böyle olmadığı fark edilecektir. Zira binalardan birinin bulunduğu nokta, gürültü bariyerinin perdelediği bölgenin dışında kalmaktadır. Bu da aslında bu binanın demiryolundan gelebilecek gürültüden etkileneneğini göstermektedir.



Şekil 3. 3B Gürültü Analizi [17].

Bu gibi ileri uygulamalara olan ihtiyaç 3B CBS kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. İdeal anlamda bir 3B CBS, 3B objelerle ilgili olarak yukarıda sayılan tüm fonksiyonları sağlayabilmelidir [15-18]. 3B sistemlerin geliştirilmesi yönünde, CBS sektörü ve araştırmacılar tarafından bugüne kadar bir çok çalışma yapılmıştır ve bu yöndeki çabalar devam etmektedir [16].

Fakat yapılan bazı çalışmalarda, görselleştirme ağırlıklı 3B uygulamalardan yanlış olarak 3B CBS olarak bahsedildiği görülmektedir. Özellikle sayısal arazi modeli (SAM) üzerinde gerçekleştirilen CBS uygulamalarında bu duruma sıkça rastlanmaktadır (Şekil 4). Oysa bu yanlış bir tanımlamadır. 3B CBS, 2B bir sisteme, basitçe üçüncü bir boyutun ilave edilmiş olmasından ibaret değildir. Bu tür sistemler ancak 2,5 boyutlu CBS olarak adlandırılabilirler [19]. Dolayısı ile gerçek 3B CBS, üç boyutlu modellerle görselleştirilmiş uygulamaların ötesinde çok daha ileri fonksiyonlara ihtiyaç duyar. Konumsal veri yapıları, veri modelleri, topolojik ilişkiler gibi henüz tam olarak çözülememiş bir çok sorundan dolayı istenilen düzeyde bir 3B sisteme hala ulaşılabilmemiş değildir.



Şekil 4. 2,5B CBS uygulaması: Sayısal arazi modeli ve binalar [20].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, 3B CBS için üretilen çözümler açısından gelinen noktadaki başarı oranları yaklaşık olarak şu oranlardadır [16-21]:

- 3B verilerin elde edilmesi; %50
- 3B veri yönetimi; %50
- 3B veri analizi; %10
- 3B görselleştirme; %90
- 3B birlikte işlerlik (interoperability) ; %40

Görüldüğü gibi görselleştirme açısından büyük ölçüde yol alınmış olmasına rağmen, konumsal veri analizlerinin gerçekleştirilmesindeki başarı oranı tam tersine henüz %10'lar düzeyindedir ve henüz çözülmesi gereken bir çok problem vardır. Bu açıdan gerçek bir 3B CBS geliştirmenin önündeki zorluklar şu şekilde sıralanabilir [7]:

- **Kavramsal model:** Kavramsal model dünyadaki objelerin ve aralarındaki ilişkilerin açığa çıkarılması, dolayısı ile konumsal verilerin modellenmesi anlamında yöntemler sağlar. Kavramsal 3B model semantik, 3B geometri ve 3B konumsal ilişkilerin (3B topoloji) oluşturduğu bir bütündür. Bu

konuda bugüne kadar yapılan araştırmalarda bir çok 3B veri modeli önerilmiştir [10-11-22-23-24-25-26-27]. Bununla birlikte konumsal objelerin tanımlanması ve gösterimi açısından her birinin zayıf ve güçlü yönleri mevcuttur.

- **3B verinin elde edilmesi ve depolanması:** 3B CBS’de, 2 boyutlu bir sisteme göre çok daha fazla veri söz konusudur. Dolayısı ile veri üretiminin maliyeti de aynı oranda yüksektir. Otomatik obje tanıma ve 3B veri yapılandırma yöntemleri giderek gelişmekte olsa da, veri elde etmede manuel yöntemlerin hakimiyeti hala büyük ölçüde devam etmektedir [2-16-28-37]. Muhtelif kaynaklardan elde edilen verilerin derlenip bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilen model üretimi, otomatik veri elde etme teknikleri, verinin tutarlılığını sağlayan kural ve algoritmalar ve 3B topolojinin otomatik kurulmasına yönelik çalışmalar vb. literatürde sıkça tartışılan konular arasındadır.

- **Konumsal analizler:** Kapsama, komşuluk, eşitlik, yön, bağlantılılık gibi konumsal ilişkiler, CBS’de gerçekleştirilen işlemlerin büyük çoğunluğunun temelidir. Gerçek bir 3B CBS, iki boyutlu CBS’dekilere benzer olarak, metrik (mesafe, alan, hacim vb.), mantıksal (kesişim, birleşim, farklılık vb.), genelleştirme, tampon bölge ve ağ analizi gibi tüm konumsal analizleri gerçekleştirebilecek düzeyde olmalıdır. Bunlar arasında, metrik işlemler dışındakilerin çoğu konumsal ilişki bilgisini gerektirmektedir. Topolojik açıdan bu ilişkilerin (spatial relationships) belirlenmesi yönünde bir çok model önerilmiştir [16-29-30-31-38].

- **Görselleştirme, Navigasyon, Kullanıcı Ara Yüzü:** Yukarıda da belirtildiği gibi, 3B CBS’lerin gerçekleştirimi açısından en fazla başarı sağlanan alan görselleştirmedir. Bununla birlikte, bilişim teknolojilerindeki gelişmeler oldukça iyi düzeye gelmiş olsa da, 3B doku kaplanmış şehir modelleri, sanal gerçeklik uygulamaları, hareketli grafik efektleri, simülasyonlar ve gerçek zamanlı uygulamaların gerçekleştirilmesi açısından halen yüksek kapasiteli bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır [32-33]. Özellikle, 3B CBS’deki başlıca uygulama alanlarından olan, gerçek zamanlı navigasyon uygulamalarının taşınabilir cihazlarda çalıştırılması, hareketli şehir modellerinin görüntülenmesi ve işlenmesi yönündeki araştırmalar devam etmektedir. Bunun dışında yüksek veri iletişimi gerektiren bu tür uygulamalara yönelik olarak kablosuz ağların geniş bant iletişim kapasitesine yükseltilmesi de bir başka araştırma konusudur.

- **İnternet erişimi:** 3B konumsal bilgiye uzaktan erişim, yeni araştırma alanlarından birisidir. 2B veriyle ilgili internet uygulamalarının (raster veya vektör) giderek artan bir potansiyeli zaten vardır (mapquest.com, mapguide.com, Google Earth, Bing Maps, vb.). Son yıllarda 3B web uygulamalarında da giderek artan gelişmeler gözlenmektedir. VRML, DML, SVG gibi dil ve veri formatları geliştirilmekte ve internet üzerinden 3B konumsal sorgulama ve görselleştirme için birçok yeni prototip üzerinde çalışılmaktadır (Virtual Earth vb.) [16-34-35].

2. 3B CBS KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN KONUMSAL ANALİZ UYGULAMALARI

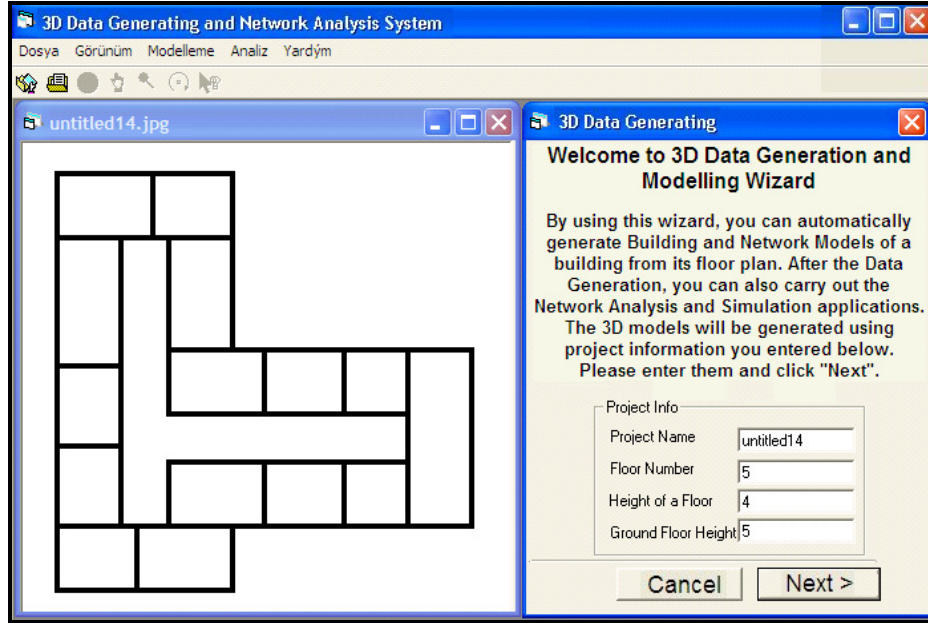
Bir önceki bölümde de belirtildiği üzere, 3B CBS’nin gerçekleştirimi yönünde üzerinde çalışılmaya en fazla ihtiyaç duyulan alan konumsal veri analizleridir. Bu bölümde 3B konumsal veri analizlerine yönelik olarak geliştirilen örnek iki uygulamadan bahsedilecektir.

2.1 3B Ağ Analizi

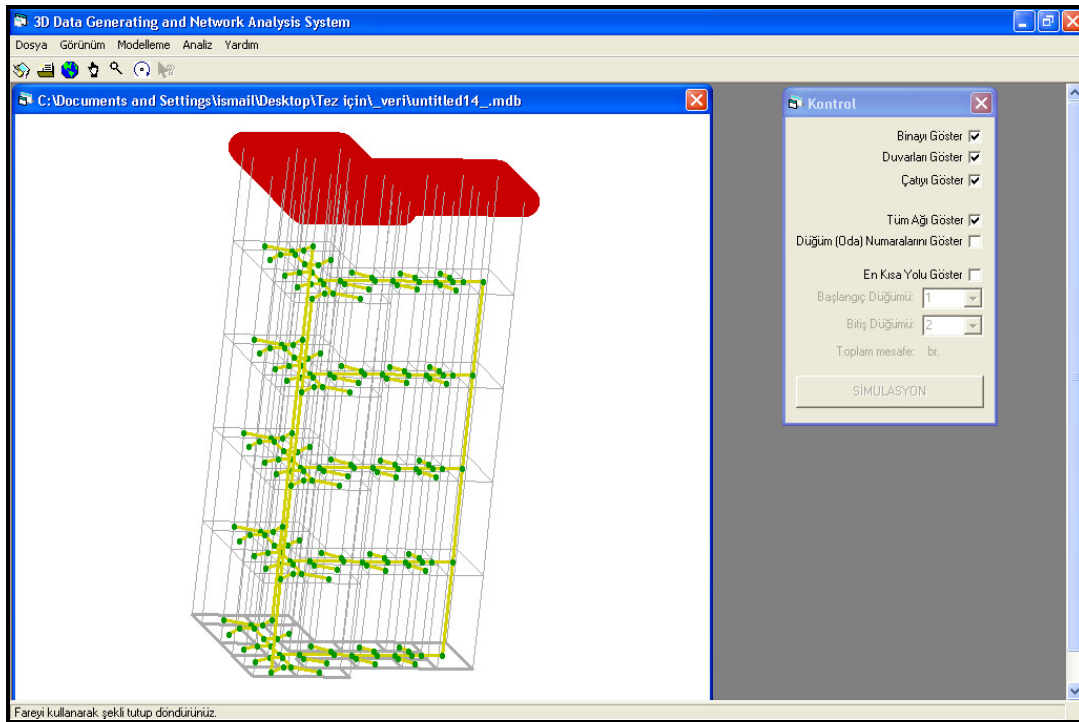
Geliştirilen 3B Ağ Analizi Sistemi ile çok katlı ve karmaşık binalarda, en kısa yol, en kısa çevrim gibi analizler başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Söz konusu 3B Ağ Analizi uygulaması mobil cihazlar kullanılarak; binaların acil tahliyesi, görme engellilerin yönlendirilmesi, güvenlik, 3B adres

bulma, bina içi hizmetlerin organizasyonu, otomatik turist rehberliği gibi alanlarda veri ve analiz altyapısı sağlayacak şekilde geliştirilmiştir [36].

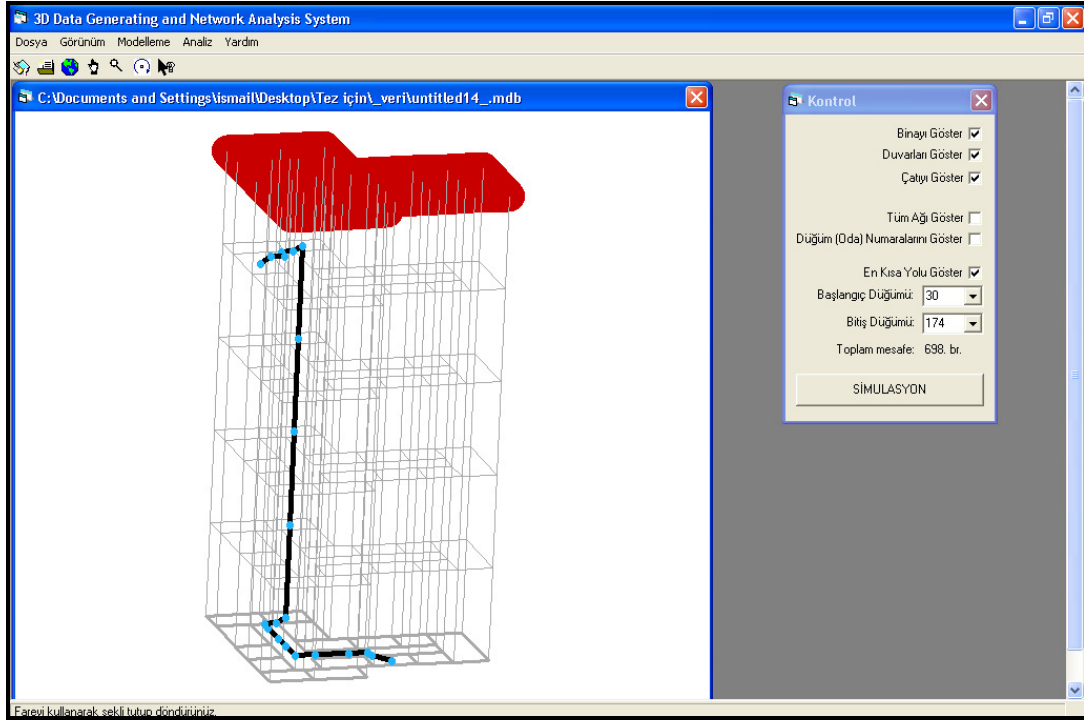
Sistemin Veri Üretim Modülü bileşeni ile, analize konu olan binaya ait kat planından 3B Geometrik Bina ve 3B Topolojik Ağ Modelleri otomatik olarak üretilebilmektedir (Şekil 5 ve 6). Üretilen modeller bir konumsal veri tabanında bir araya getirilmekte, bu veritabanı üzerinde gerçekleştirilen sorgularla 3B Ağ Analizlerinin yapılması mümkün olmaktadır (Şekil 7).



Şekil 5. 3B Ağ Analizi Veri Üretim Modülü.



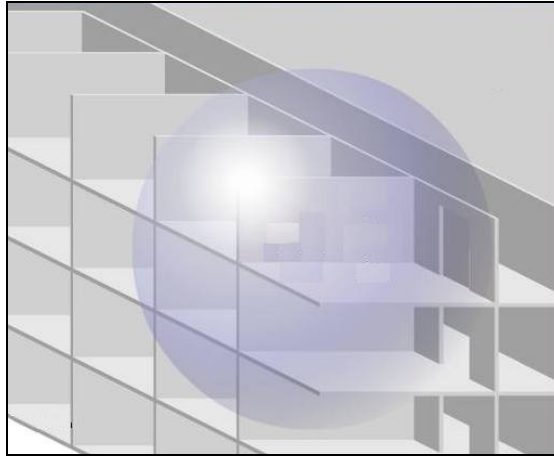
Şekil 6. 3B Geometrik Bina Modeli ve 3B Topolojik Ağ Modeli.



Şekil 7. Binadaki iki birim arasındaki en kısa yol.

2.2 3B Tampon Analizi

3B bir tampon analizinde tampon bölge bir alanı değil, hacmi kapsmalıdır. Büyük bir bina içindeki belirli bir noktayı çevreleyen, 50 m. yarıçaplı bir kürenin oluşturduğu tampon bölgenin içinde kalan odaların belirlenmesi işlemi, 3B tampon analizi için örnek olarak verilebilir. (Şekil 8).

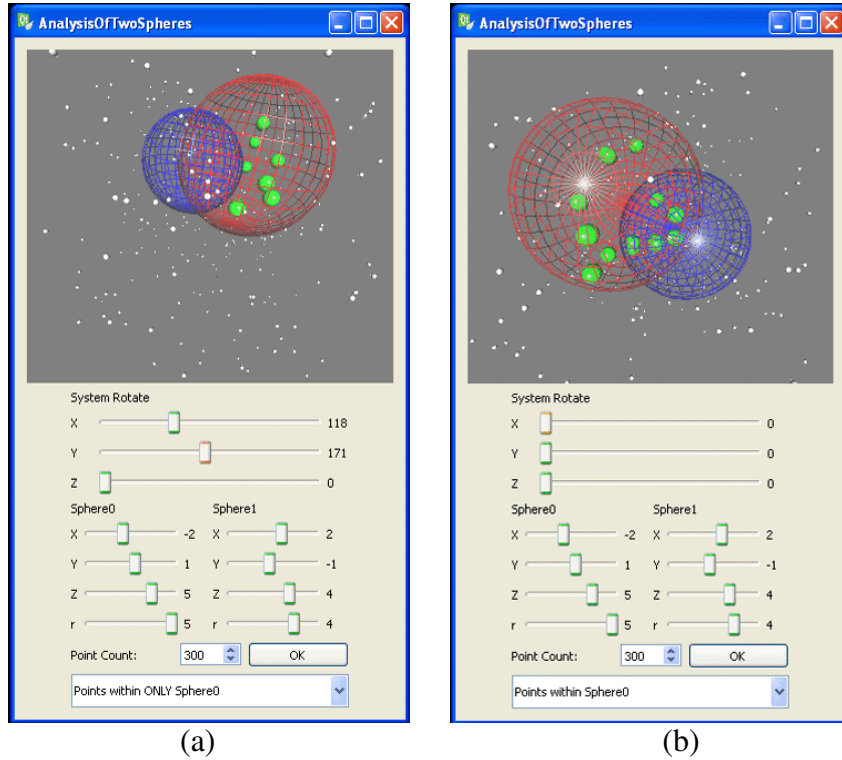


Şekil 8. Tampon Bölge Analizi

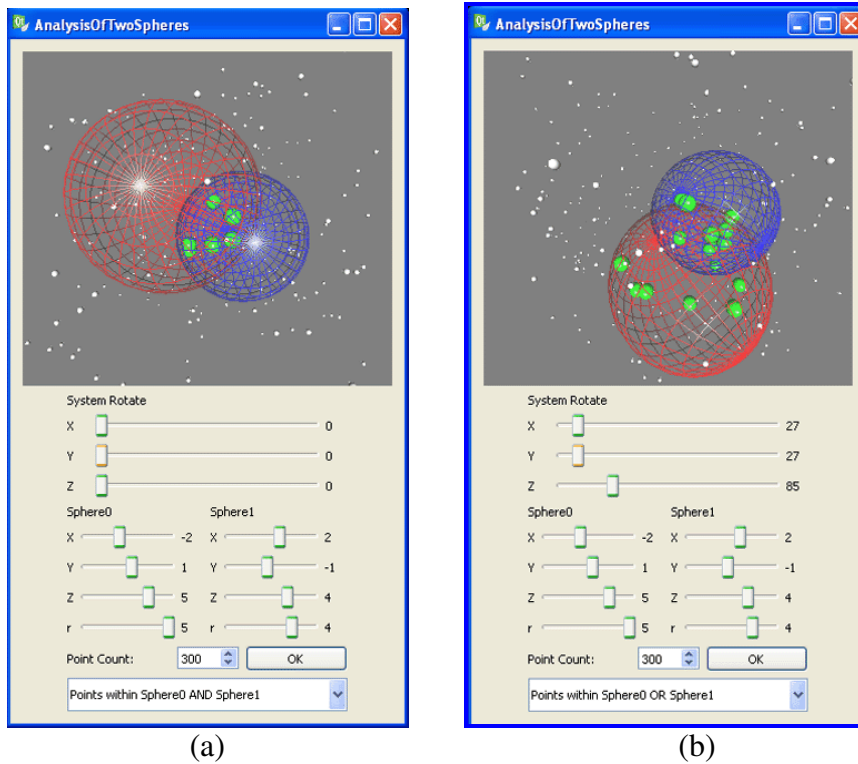
Bu tür bir 3B tampon analize yönelik olarak gerçekleştirilen uygulamada, 3B uzayda sayısı kullanıcı tarafından belirlenen ve koordinatları rastgele seçilen noktaların, çapları yine kullanıcı tarafından belirlenen iki farklı küre ile ilişkilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Uygulamada, hangi noktaların hangi küreler içerisinde bulunduğunun, ya da bulunmadığının tespit edilmesi adına dört farklı analiz gerçekleştirilmiştir. İlk analiz, sadece kürelerden biri içerisinde bulunan noktaların analizidir (Şekil 9a). Yani kürenin biri içinde olmayıp, diğerinin sınırları içerisinde kalan noktaların belirlenmesi işlemidir. Burada dikkat edilmesi gereken iki kürenin kesişim bölgesinin kapsam

dışında olduğudur. İkinci analizde ise, kesişim bölgesi de dahil olmak üzere, kürelerden birinin tamamen kapsadığı noktalar analiz edilmektedir (Şekil 9b). Bir diğer analizde ise yalnızca kesişim bölgesinde kalan noktalar belirlenmektedir (Şekil 10a). Son analizde ise her iki kürenin de birlikte kapsadığı tüm noktalar ortaya çıkarılmaktadır (Şekil 10b).



Şekil 9. a) Kesişim bölgesi hariç kürelerden biri içinde kalan noktaların analizi
b) Kesişim bölgesi dahil kürelerden biri içinde kalan noktaların analizi



Şekil 10. a) Kesişim bölgesinde kalan noktaların analizi
b) Her iki kürenin de tamamen kapsadığı noktaların analizi

3. SONUÇLAR

Mevcut CBS'ler üçüncü boyuttaki uygulamaları açısından incelendiğinde daha çok görselleştirme üzerine yoğunlaştıkları görülmektedir. Oysa gerçek bir 3B CBS, 3B modellerle görselleştirilmiş uygulamaların ötesinde çok daha ileri fonksiyonlara ihtiyaç duyar. Özellikle de kapsamlı ve karmaşık konumsal analizlerin gerçekteştirimi, 3B CBS kapsamındaki başlıca araştırma konularındandır. Kavramsal model, semantik, 3B veri yapıları, veri modelleri ve 3B topolojik ilişkiler gibi alanlarda halen açıklanması ve çözümlenmesi gereken bir çok problem söz konusudur.

Bu çalışmada bu yönde bir katkı yapılması hedeflenmiş, 3B konumsal veri analizlerine yönelik olarak geliştirilen iki farklı uygulama tanıtılmıştır. Söz konusu uygulamalarla 3B Ağ Analizleri ile 3B Tampon analizlerine yönelik başarılı çözümler üretilmiştir.

4. KAYNAKLAR

1. Kwan, M. P. ve Lee, J., 2005, "Emergency response after 9/11: the potential of realtime 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments, Computers, Environment and Urban Systems, 29, pp 93-113.
2. Pu, S. ve Zlatanova, S., 2005, Evacuation route calculation of inner buildings, in: van Oosterom, Zlatanova & Fendel Eds.), Geo-information for disaster management, Springer Verlag, Heidelberg, pp. 1143-1161
3. Sutter, F., Stefan, R., Bernhard, J., "The accurate representation of caves", Institute of Cartography, 2010, ETH Zurich, <http://www.terrainmodels.com/caves.html>
4. Yomralioğlu, T., 2000, Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar, 486 s., Birinci Baskı, İstanbul.
5. AGI GIS Dictionary, 1991, Association for Geographic Information Standards Committee Publication, London, England.
6. Burrough, P. A., 1998, Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press, 2. Ed.
7. Abdul-Rahman, A., Pilouk, M. ve Zlatanova, S., 2001, "The 3D GIS software development: global efforts from researchers and vendors", Geoinformation Science Journal, Vol. 1, No. 2
8. Förstner, W., 1995, "GIS - the third dimension", Workshop on Current Status and Challenges of Geoinformation Systems, IUSM working group on LIS/GIS, University of Hannover, 25-28 Eylül, Germany, pp. 65-72
9. Bonham-Carter, G. F., 1996, "Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS", Computer Methods in the Geosciences, Vol. 13, Pergamon Publications, 398 p.
10. Pilouk, M., 1996, "Integrated modelling for 3D GIS", PhD thesis, ITC, The Netherlands, 200 p.
11. Abdul-Rahman, A., 2000, The design and implementation of two and three-dimensional triangular irregular network (TIN) based GIS, PhD thesis, University of Glasgow, Scotland, United Kingdom, 250 p.

12. Stoter, J. E., ve Ploeger, H. D., 2003, "Registration of 3D objects crossing parcel boundaries", FIG Working week 2003, 13-17 April, Paris, France.
13. Raper, J. ve Kelk, B., 1991, Three-dimensional GIS. In: Geographical information systems: principles and applications, D. J. Maguire, M. Goodchild and D. W. Rhind (eds.), Longman Geoinformation, pp. 299-317
14. Rongxing, L., 1994, "Data structures and application issues in 3-D geographic information Systems", Geomatica, Vol. 48, No. 3, pp. 209-224
15. Stoter, J. ve Zlatanova, S., 2003, "3D GIS where are we standing?", Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis, 2-3 Ekim, Quebec city, Canada, 6p.
16. Abdul-Rahman, Alias, Pilouk, Morakot, 2008, "Spatial Data Modelling for 3D GIS", XII, 290 p. 72 illus., Hardcover, ISBN: 978-3-540-74166-4
17. Kemp, K. K. (Ed.). 2008. Encyclopedia of Geographic Information Science. Thousand Oaks CA: Sage Publications.
18. Worboys, M., 1995, GIS: a computing perspective. Taylor & Francis publication, 376 p.
19. Abdul-Rahman, A., 2006, "GIS - 3D and beyond", Map Malaysia, 3-4 May 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
20. Snead, D., Maidment, D.R, 2000, Floodplain Visualization Using HEC-GeoRAS. <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro01/Class/exercises/georas.html>
21. Abdul-Rahman, A., 2006, Closing Speech, International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06), 7-8 Aug. 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
22. Brisson, E., 1990, Representation of d-dimensional geometric objects, PhD thesis, University of Washington, USA
23. Molenaar, M ., 1992, "A topology for 3D vector maps", ITC Journal 1, pp. 25-33
24. Cambay, B., 1993, "Three-dimensional (3D) modelling in a geographical database", Proceedings of 11th. International Symposium on Computer-Assisted Cartography (AutoCarto 11), ASPRS/ACSM, Bethesda, Maryland, pp. 338-347
25. Pigot, S., 1995, A topological model for a 3-dimensional Spatial Information System, PhD thesis, University of Tasmania, Australia
26. Zlatanova, S., 2000, 3D GIS for urban development. PhD thesis, ITC, The Netherlands, 222 p.
27. Pfund, M., 2001, "Topologic data structure for a 3D GIS", Proceedings of 3rd International Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS (Inter. Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.34, Part 2W2), 23-25 May, Bangkok, Thailand, pp.233-237.
28. Abdul-Rahman, A., 2007, "3D GIS: Current Status and Perspectives", Seminer, Nisan 2007, YTU, İstanbul.

29. Pullar, D.V. ve M.J. Egenhofer, 1988, "Toward formal definition of topological relations among spatial objects", Proceedings of the Third International symposium on SDH, Sydney, Australia, pp. 225-241
30. Egenhofer, M. J. ve J. R Herring, 1992, Categorising topological relations between regions, lines and points in Geographic databases, The 9-intersections: formalism and its use for natural language spatial predicates, Technical report 94-1, NCGIA, University of California.
31. Molenaar, M., 1998, An Introduction to the theory of spatial objects modelling, Taylor&Francis, London
32. Kraak, M. J., 1998, "The cartographic visualization process: from presentation to exploration", Cartographic Journal 35, 1, pp 11-16.
33. Raper, J. F., McCarthy, T. ve Unwin, D., 1998, "Multi dimensional Virtual Reality Geographic Information System, (VRGIS): Research Guidelines", Proceedings GISRUK 98, Edinburgh, UK, 6 p.
34. Coors, V. ve V. Jung, 1998, "Using VRML as an Interface to the 3D data warehouse", Proceedings of VRML'98, New York
35. Tao, V., 2007, "Opportunities and Challenges in Mobile Mapping for On-line Services and Consumer Applications: A Perspective from Microsoft Virtual Earth Microsoft Visual Earth", 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT'07), Padua, Italy, 28-31 May 2007.
36. Karaş, İ. R., 2007, "Objelerin Topolojik İlişkilerinin 3B CBS ve Ağ Analizi Kapsamında Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
37. Döner, F., Bıyık, C., 2009, "3B CBS için İmkân ve Kısıtlamalar", TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.
38. Döner, F., Bıyık, C., 2009, "Üç Boyutlu Nesnelerin Konumsal Veritabanında Yönetimi", HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Cilt: 1 Sayı:100, Syf: 27-33