

**Makale
(Article)**

Yapı Projelerinin Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Uygulamaları

A.Emre CENGİZ, Yücel GÜNEY

Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, 26470 Eskişehir/TÜRKİYE

emrepark87@gmail.com, ygunev64@gmail.com

Özet

Günümüz modern kentlerinin inşasında önemli bir rol üstlenen inşaat mühendisliği birçok anabilim dalını bünyesinde barındırmaktadır. Bu anabilim dallarından biri olan yapı yönetimi; inşaat projelerinin uygulama aşamalarında yürütülen faaliyetler arasındaki koordinasyon ve kontrolün sağlanmasını kapsamaktadır. Bu faaliyetlerin yürütülmesi bir inşaat projesinde görev alan birimler ve bireyler arasındaki bilgi akışı ile birebir ilişkilidir. Bu nedenle inşaat projelerinin yönetim sürecinde bilgi teknolojilerinin kullanılması son derece önemlidir. Bilgi teknolojilerinin bir parçası olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), inşaat projelerinin özellikle konumsal problemlerine etkin çözümler sunmaktadır. CBS'nin bu yönünün keşfedilmesi yapı yönetimi alanında kullanım olanaklarının araştırılmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, dünyanın çeşitli ülkelerinde gerçekleştirilen CBS tabanlı yapı yönetimi uygulamaları ve bu çalışmaların yapı yönetim sürecine sağladığı katkılar konu alınmıştır. Çalışmanın amacı, ülkemizde hala geleneksel yöntemlerin kullanıldığı yapı yönetimine CBS'nin kullanımını önererek yenilikçi bir bakış açısı getirmektir. Yapı yönetimi alanında yapılan CBS uygulamalarının derlendiği bu çalışma, ileriki çalışmalara bir başlangıç niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapı Yönetimi, Bilgi Teknolojileri, CBS.

Geographic Information System (GIS) Applications in Management of Construction Projects

Abstract

Civil engineering that has a significant role on construction of today's modern cities contains several sub-specializations. Construction management, one of these sub-specializations, includes coordination and control of operations that are conducted during the construction projects. Conducting these operations is related to the data flow between units and individuals that are involved a construction project. Thus, it is significant to use of information technologies during the construction project management. Geographic Information System (GIS) that is one part of the information technologies can offer efficient solutions to mostly spatial problems of construction projects. Coming to light of this feature of GIS caused researches about utilization possibilities of GIS in construction management. In this study, GIS based construction management applications that were performed in the several country of the world and contributions of these studies to the construction management process were discussed. The goal of the study that is offered the use of GIS in construction management is bringing a new perspective to construction management that is still applied with the traditional methodologies in our country. This study that is a review of GIS based construction management applications has the characteristics of an inception for the further studies.

Keywords: Construction Management, Information Technologies, GIS

Bu makaleye atf yapmak için

Cengiz A.E., Güney Y.*, "Yapı Projelerinin Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Uygulamalar" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011, 3(2) 38-52*

How to cite this article

Cengiz A.E., Güney Y.*, "Geographic Information Systems (GIS) Based Applications in Construction Project Management" Electronic Journal of Construction Technologies, 2011, 3 (2) 38-52*

1. GİRİŞ

Yaşadığı çevreye devamlı surette yenilikler katan insanoğlu, bugünün kentlerine büyük bir çabanın sonucunda ulaşmıştır. Değişik amaçlarla kullanılan alt ve üst yapılar, medeniyetin inşasında inşaat mühendisliğinin ne derece önemli bir rol üstlendiğini göstermektedir. Bünyesinde barındırdığı çeşitli anabilim dalları ile inşaat mühendisliği, insan hayatını doğrudan etkileyen sosyal ve teknik alanların merkezinde yer almaktadır. Bu anabilim dallarından biri de yapı yönetimidir. Yapı yönetimi; müşterilerin işlev, kalite, zaman ve maliyet gibi ölçütlerini yerine getirebilmeyi, kaynaklar arasındaki ilişkilerin kurulmasını, çalışanların performanslarının yönetilmesini kapsayan bir inşaat projesinin başlangıcından bitimine kadar planlanması, koordine ve kontrol edilmesi olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu faaliyetler yürütülürken zaman ve bütçe kısıtlamaları göz önünde bulundurularak mevcut kaynakların en doğru şekilde kullanılması gerekmektedir. Aynı anda ya da ardışık olarak yürütülen çeşitli imalat aşamalarına sahip olan inşaat projelerinde büyük miktarda veri mevcuttur. Yapım sürecinin en iyi şekilde sürdürülebilmesi ve imalatların planlanan tarihlerde tamamlanabilmesi için güncel ve güvenilir proje verilerinin birimler ve bireyler arasında düzenli bir şekilde paylaşılması gerekmektedir. Aksi takdirde öngörülmeleyen gecikmeler ve ek maliyetler meydana gelecektir. Bu durumu önlemek için çağdaş teknolojinin sunduğu imkânların proje yönetimi sürecinde kullanılması gerekmektedir.

İnşaat sektörü, yeniliğe kapalı olduğu ve gelişen teknolojiye ayak uyduramadığı gerekçesiyle uzun yıllar eleştirilmiştir [2]. Bu problemin temel nedeni; inşaat projelerinde kullanılması önerilen sistemlerin pratikte uygulanabilir olmamasıdır. Bilgi teknolojilerinin önemli bir parçası olan CBS; konumsal ve konumsal olmayan verilerin kullanımı ile inşaat mühendisliği alanındaki birçok probleme etkin çözümler sunabilen bilgisayar tabanlı bir araçtır [3]. CBS araçları, gelişmiş veri saklama ve analizi sayesinde konumsal ve özniteliksel verinin yönetimine imkân vermektedir.

CBS'nin, inşaat sektöründe henüz tam olarak fark edilememiş bir teknoloji olduğu düşünülmektedir [4]. Fakat son yıllarda bu alanda yapılan araştırmalar, CBS tabanlı yapı yönetimine önemli katkılar sağlamıştır. Bu çalışmada, dünyanın çeşitli ülkelerinde gerçekleştirilen CBS tabanlı yapı yönetimi uygulamaları konu alınmıştır. Bu uygulamaların derlendiği ve kapsamlı bir şekilde incelendiği çalışma, bu alanda yapılacak araştırmalara öncülük etmeyi amaçlamaktadır. Ülkemizde hala geleneksel yöntemlerin kullanıldığı yapı yönetimine yenilikçi bir bakış açısı getirmek ve inşaat projelerinin yönetim sürecinde bilgi teknolojilerinden yararlanılmasını önermek, çalışmanın diğer amaçlarıdır.

2. CBS TABANLI YAPI YÖNETİMİ UYGULAMALARI

Günümüze kadar veri yönetimi, saha ve güzergâh planlamaları, şantiye tasarımı, e-ticaret uygulamaları, 3 boyutlu (3B) görselleştirme, iş programı kontrolü, gerçek zamanlı proje takibi, malzeme yönetimi ve maliyet analizi, güvenlik gibi yapı yönetimi konularında başarılı CBS uygulamaları geliştirilmiştir. Birçok inşaat projesinde Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programlarından yararlanılmaktadır. Bu programlar, iyi bir grafik yeteneğe sahip olmalarına karşın veri yönetimi özelliklerinden yoksundur. CBS'nin veritabanı desteği, inşaat projelerinde etkin bir veri yönetimi sağlayacaktır [5]. İnşaat projelerinin planlanmasında saha araştırmalarının önemli bir aşama olduğu öngörülmüş ve temellerin analizi, tasarımı ve yapı planlamaları için CBS tabanlı bir yöntemin kullanılması önerilmiştir [6]. Etkili bir proje yönetim planı oluşturma aşamasında şantiye içindeki büyük araçların erişim rotasını planlamak oldukça önemlidir [7]. Varghese ve O'Connor (1995) tarafından gerçekleştirilen çalışmada CBS ve CAD araçlarından yararlanılmış ve şantiyedeki iş makineleri için en uygun güzergâhlar belirlenmiştir. Şantiye tasarımı; geçici tesislerin, şekil ve boyutlarının, şantiye içindeki yerleşimlerinin tespit edilmesini içeren önemli bir işidir [8]. Şantiye içi geçici tesislerin, ulaşım için gereken zamanı en aza indirmek amacıyla ilgili iş birimlerine yakın inşa edilmeleri gerekmektedir [9]. Şantiye içi tesis düzenlemelerini yapabilen *ArcSite*, CBS ve veritabanı yönetim sistemini kullanan etkin bir araçtır. CBS tabanlı bir yapı yönetimi aracı olarak geliştirilen *MaterialPlan*, metraj verileri ile malzeme yerleşim planlamalarının bütünleştirilmesinde oldukça başarılıdır. Malzeme siparişinin internet üzerinden gerçekleştirildiği e-ticaret uygulamalarında da

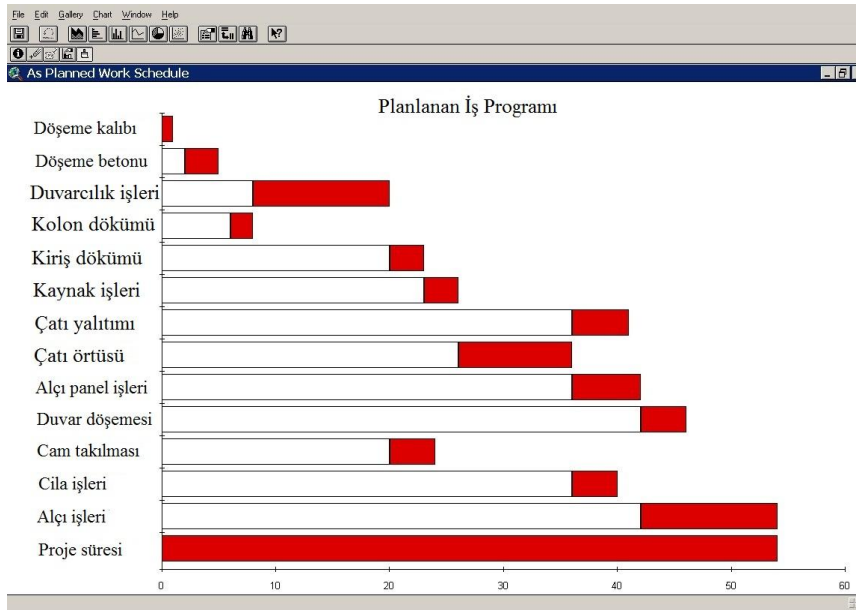
CBS kullanımı önerilmiştir [10]. Zaman verilerinden ve 3B görsel verilerden faydalanılarak CBS tabanlı zaman yönetimi ve 4B CBS çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu alandaki çalışmaların ve kullanılan yazılımların çokluğuna rağmen veri entegrasyonu, hala büyük bir sorundur. 3B model ile iş programının entegrasyonunda programlamanın kullanımını öneren bir yöntem geliştirilmiştir [11]. Bir yapının konumu ve yönelimi, o yapıdaki enerji ihtiyacını düşürmede etkili olabilmektedir. Örnek bir yapının güneş alma kapasitesi, CBS ortamında görselleştirilmiştir [12]. Diğer bir çalışmada, proje yönetim yazılımlarından biri olan *Primavera Project Planner* kullanılarak hazırlanan iş programı, CBS ortamında 3B görsel verilerle bütünleştirilmiştir. Bansal ve Pal (2009), mevcut 4B modellere alternatif olarak CBS tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Çalışmada CBS'nin 3B animasyon özelliklerinden yararlanılmıştır [13]. Orta ve büyük ölçekli şantiyelerde teknolojinin sunduğu imkânların kullanılması, gerçek zamanlı proje takibine olanak vermektedir. *ArcShed*, CBS tabanlı bir kullanıcı arabirimine sahip olan otomatik bir proje izleme sistemidir. İş sahasında atıkların azaltılması için Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve CBS teknolojileriyle bütünleşik bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem, malzeme ve ekipman yönetim bilgi sistemine iş araçlarının takibi gibi ek özellikler sağlamaktadır [14]. Keşif ve metraj hesabı gibi çalışmalar için de CBS'nin kullanılabilmesi önerilmiştir. Önerilen yöntem, CBS ortamında maliyet hesabı ile 3B görselleştirmeyi bir arada sunmaktadır [15]. Konumsal olmayan güvenlik verilerinin, iş programına eklenip 3B verilerle birleştirilmesi, iş ve işçi güvenliğini konu alan güncel bir çalışmadır. Bansal (2011), iş güvenliği üzerine yaptığı çalışmada, şantiyelerde iş kazalarını azaltmayı ve yapım aşamalarında kaliteyi ön plana çıkarmayı amaçlamıştır [16]. Aşağıda, yapı yönetiminde CBS uygulamaları hakkında detaylı bilgiler sunulacaktır.

2.1 Veritabanı Yönetimi

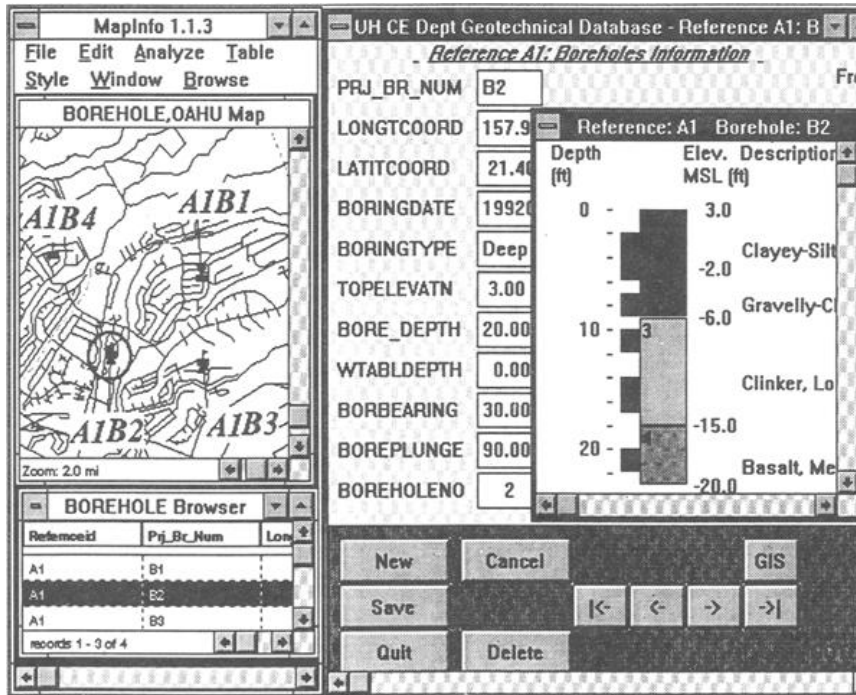
Çok sayıda konumsal ve öznitelikselsel veriyi bünyesinde barındıran inşaat projelerinde verinin doğru şekilde yönetimi oldukça önemlidir. Yapı projelerinin tasarım ve teknik aşamalarında büyük miktarda bilginin karmaşık ve çeşitli yapısı, düzenli ve sürekli bilgi ile bütünleşik bir sistemi zorunlu kılmaktadır [5]. Veritabanı yönetim sistemi sayesinde bu sorun ortadan kaldırılabilir. Veritabanı yönetim sistemi; verilerin saklanmasına, bir veritabanı yaratılıp kullanılmasına olanak sağlayan sistem ve yazılımlardır. Yapı projelerinde CBS'nin veritabanı desteğinin sağladığı yararları araştırmak için bir model geliştirilmiş ve konumsal veritabanı ile proje yönetim fonksiyonlarının bütünleştirilmesinin etkili bir yönetim sistemi sağlayacağı belirtilmiştir [5]. Çalışma; proje planlamalarının analizi, yapı maliyeti, şantiye şartlarının analizi ve değişim analizi olmak üzere dört bölümde yürütülmüştür. Şekil 1'de proje planlama aşamasında oluşturulan proje iş akışı, çubuk diyagramlar şeklinde görülmektedir. Yapıyla ilgili tüm verilerin tek ortam üzerinden yönetimini sağlayan CBS tabanlı bir yapı projesi bilgi sistemi geliştirilmiştir [17]. Çalışmada, yapı projesinin malzeme, işçi ve ekipman gibi kaynakları ile ilgili tüm verilerin yanı sıra güvenlik ve proje iş programı verilerinin tablolar halinde saklandığı ve yönetildiği bir yapısal veritabanı oluşturulmuştur. Proje iş programı ile kaynak verileri tablo ilişkileri ile ilişkilendirilmiş, böylece tüm verilerin etkili bir şekilde sorgulanması ve yönetilmesi sağlanmıştır.

2.2 Saha ve Ulaşım Planlamaları

Yeni yapı projelerinin planlama aşamasında iş sahasının incelenmesi önemli bir aşamadır. Şantiyenin yüzey ve yer altı özellikleri yapım tekniklerini ve ekipman seçimini, dolayısıyla proje maliyetini ve iş programını etkileyecektir [6]. Bir yer altı veritabanı geliştirmek için hem jeofizik hem de hidrolik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Yer altı koşulları ile ilgili bilgilerin en kesin ve uygun olanları sondaj ve gözlem kuyularıdır [18]. Yer altı ile ilgili birçok durumda, maliyet göz önünde bulundurularak az sayıda kuyudan yararlanılmaktadır. Ancak CBS'nin kullanımıyla başarılı çalışmalar gerçekleştirilmekte; yer altı özelliklerinin doğru bir şekilde elde edilmesi mümkün hale gelmektedir. Yapı yöneticilerine hem tasarım hem de şantiye içi zemin verilerini sağlayan bütünleşik bir bilgi yönetim sistemi geliştirilmiştir [6]. CBS yazılımı olarak *MapInfo*'nun kullanıldığı çalışmada, zemin verilerinin CBS tabanlı görselleştirilmesi yöntem olarak seçilmiştir. Ayrıca zemin türü ve katman derinliği gibi verilerin girilebileceği bir kullanıcı arabirimi geliştirilmiştir. (Şekil 2).



Şekil 1. Planlanan proje iş akışı [5].

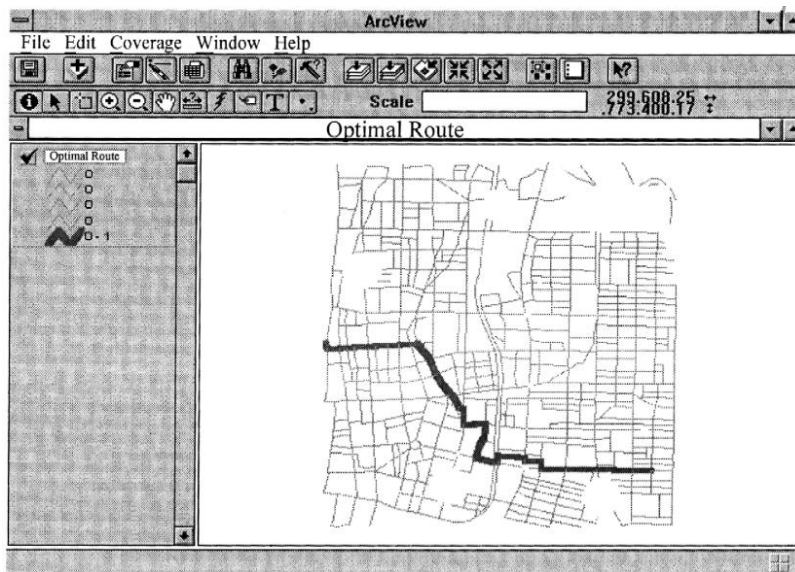


Şekil 2. CBS ile bütünleşik yer altı bilgi sistemi arabirimi [6].

Çeşitli yapım aşamalarının yürütüldüğü şantiyede ağır vasıtalar ve iş makineleri kullanılmaktadır. Proje yöneticileri tarafından iş araçlarının en verimli şekilde faaliyet göstermesi istenmektedir. Ancak iş makineleri ve diğer vasıtaların aynı yolu kullanması, şantiye içi trafiğin aksamasına, kazalara, dolayısıyla zaman kaybına ve ek maliyetlere yol açmaktadır. Bu durumu önlemek ve iş makinelerinden istenen verimi sağlayabilmek için şantiye içi ekipman güzergahları belirlenmelidir. Güzergâh tayini, farklı kaynaklara sahip büyük miktarda verinin ve çok sayıda kısıtlamanın olduğu karmaşık bir işlemdir. Geleneksel yöntemler, zaman alıcı olmalarının yanı sıra hatalara açıktır [7]. CBS, çok ölçütlü problemlere çözüm sunma konusunda gelişmiş analiz araçlarına sahiptir. Varghese ve O'Connor (1995), yapı şantiyesindeki büyük vasıtalar için güzergâh belirlemede CBS kullanımını önermişlerdir. Uzman sisteminin CBS ve CAD yazılımlarıyla birlikte kullanıldığı sistem; programlama ve veri entegrasyonu yöntemlerini kullanmaktadır. Bilgi görüntüleme, konumsal analiz, sonuç çıkarma, grafik sorgulama, güzergâh seçimi, güzergâh görüntüleme ve kullanıcı arabirimi olmak üzere yedi aşamadan oluşan

çalışma, şantiyedeki büyük iş makineleri için ulaşım planlamaları alanında yapılan ilk uygulama olması yönüyle önemlidir.

Şantiye içinde yapılacak kazı işlerinde; doğalgaz, elektrik ve telefon gibi şehrin mevcut enerji hatları sıklıkla zarar görmektedir. Yapımda gecikmelere ve projenin aksamasına neden olan bu durumu önlemek için güzergâh tayinine başvurulmaktadır. Yapım maliyetlerini ve kısıtlamalarını en aza indirmek için uygun güzergâh belirlemeyi sağlayan *RoutePlan* adında bir sistem geliştirmişlerdir. Rota planlama, tesis tasarımı ve açık hendek yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada önce uygun güzergâhı etkileyen faktörler belirlenmiş, sonra veri katmanları oluşturulmuş ve bir veritabanı geliştirilmiştir. Önerilen sistemde yüzey ve yer altı tesisleri çeşitli katmanlarda gösterilmiştir. Elektrik enerji hattının tasarımı ve güzergâh planlamaları *ArcInfo* yazılımının *network analysis* aracıyla yapılmıştır. Sonuçta CBS tabanlı otomatik bir güzergâh belirleme sistemi geliştirilmiştir (Şekil 3). Çalışmada veritabanı sorgulamaları ve konumsal işlemler sayesinde yalnızca güzergâh belirleme değil aynı zamanda bir yeniden tahsis planı belirlenmiştir [19].



Şekil 3. *RoutePlan* ile belirlenmiş bir ulaşım güzergâhı [19].

2.3 Şantiye Tasarımı

Şantiye içi uygun tesis düzenlemeleri, iş kapasitesini ve kalitesini artırmak için oldukça önemlidir. Şantiyede kalıcı ve geçici olmak üzere iki çeşit tesis mevcuttur. Projelendirilen yapılar kalıcı tesisleri oluştururken; yapım sırasında kullanılan ofisler, depolar, atölyeler, araç ve ekipman park alanları geçici tesisleri ifade etmektedir. Birçok kritere sahip olan tesis düzenlemelerinin iyi düşünülmemiş metotlarla gerçekleştirilmesi zaman kaybına ve fazladan maliyete neden olacaktır. Çok değişkenli konumsal problemlere çözümler sunabilen CBS'nin kullanımı, imalatın etkili şekilde yürütülmesine katkı sağlayacak; zaman kaybı ve fazladan maliyetleri en aza indirecektir. Geçici tesisler, zamandan tasarruf açısından şantiye içerisinde ilgili oldukları faaliyet alanlarına yakın inşa edilmelidirler [20]. CBS tabanlı otomatik bir şantiye tasarım aracı olan *ArcSite*, CBS ile bütünleşik bir veritabanı yönetim sistemi kullanmaktadır. Ayrıca en uygun şantiye tasarımı ve geçici tesislerin yer seçimi için konumsal işlemler yürütmekte ve veritabanı sorgulamaları yapmaktadır. Çalışmada ağ analizi ve çok ölçütlü karar analizi yöntemleri kullanılarak kule vinç, beton santrali ve geçici yapılar için en uygun yerler belirlenmiştir. Bunun için CBS'nin *network analysis* aracından faydalanılmıştır. Şantiye tasarımında kullanılan konumsal ve konumsal olmayan veriler, CBS ortamında analiz edilmiş ve düzenlenmiştir. Çalışmada CBS tabanlı tesis düzenlemelerinin büyük yapı projelerinde zaman ve maliyet kazancı sağlayacağı belirtilmiştir [20].

Şantiye içinde etkili malzeme alanı planlamaları, tesisleri; malzeme ve ekipman taşıma, seyahat mesafesi, trafik sıkışıklığı, genişletme ve yer değiştirme gibi kriterler göz önünde bulundurularak yerleştirmeyi kapsamaktadır [21]. Nitel, zamansal ve konumsal verilere bağlı olarak malzemeler için en uygun depolama alanlarının CBS tabanlı olarak belirlenmesini sağlayan *MaterialPlan* adında bir araç geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra keşif ve metraj için sıkça kullanılan CAD teknolojisine alternatif olarak CBS önerilmiş; hesaplanan malzeme miktarları proje iş programıyla bütünleştirilerek dinamik bir malzeme ihtiyaç planı oluşturulmuştur. Cheng ve O'Connor (1994) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, CBS'nin maliyet analizi, yer seçimi ve malzeme yönetimi gibi konularda verimliliğini ortaya koymaktadır.

2.4 E-Ticaret Uygulaması

CBS'nin internet tabanlı uygulamalardaki rolünü ön plana çıkarmak ve şantiyeye internet üzerinden malzeme siparişi vermek için bir e-ticaret uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışma, CBS ve e-ticaret gibi hızlı gelişen iki alanı birleştirmesi yönüyle özgündür. CBS'nin konumsal tabanlı sorgulamalar, iş alanı ve ulaşım analizi gibi konularda e-ticaret uygulamalarında kullanılabileceği bulgulanmıştır [10].

2.5 3B Görselleştirme

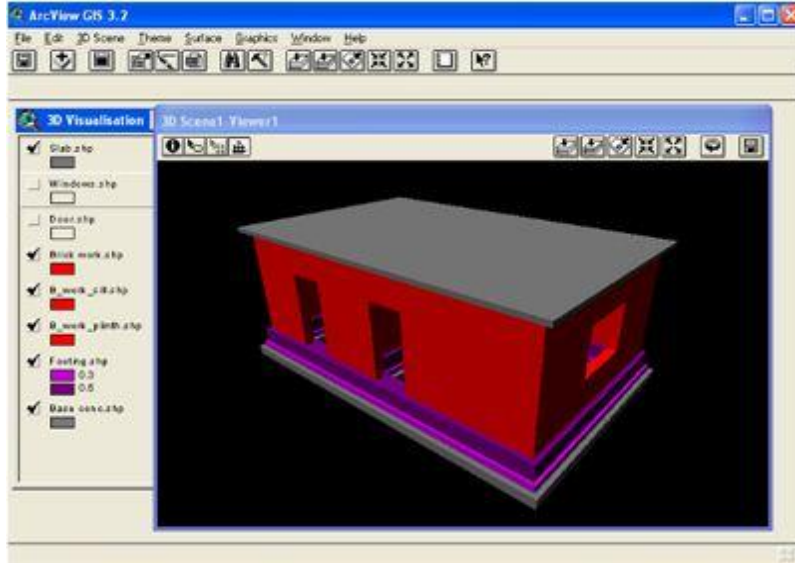
İnşaat projelerinde planlama, şantiye tasarımı, ağ çözümlenmeleri vb. amaçlarla 2B veriler kullanılmaktadır. Fakat günümüzde, ilişki verilerden daha karmaşık konumsal veriler üzerinde çalışıldığından 2 boyut artık yeterli görülmemektedir [22]. Planlamacılar ve mühendisler, projenin etkililiğini değerlendirmek ve çeşitli uygulamalar geliştirmek için 3B görselleştirmeye başvurmuşlardır [23]. CBS araçları 3B verinin düzenlenmesi konusunda henüz yeterince gelişmiş değildir. Ancak farklı yazılım ortamlarında üretilen 3B görüntülerin CBS'de görüntülenebilmesi mümkündür. Yapılan bir tez çalışmasında, karmaşık 3B nesnelerin CBS ortamında gösterimi ve analizi konu alınmıştır [24]. Çalışmada bir coğrafi gösterim yöntemi olan *multipatch* irdelenmiştir. *Multipatch* 1997'de ESRI şirketi tarafından 3B nesnelerin görüntülenmesi için geliştirilen bir veri formatıdır [25]. *Multipatch* kullanılarak CBS ortamında 3B nesnelerin gösterimi mümkün olmasına rağmen 3B veri düzenleme yapılamamaktadır. Bu nedenle çalışma, 3B CBS alanında daha çok araştırma yapılmasını önermektedir.

CBS'nin görselleştirme yeteneklerinden faydalanılarak tek katlı örnek bir yapı CBS ortamında 3B olarak görselleştirilmiştir. Yapının CAD ortamında oluşturulmuş olan mimari çizimleri, veri katmanlarına ayrılmış ve *ArcView* 3.2 yazılımına transfer edilmiştir. *ArcView* ortamında çizimlere kalınlık ve yükseklik verileri eklenerek tüm veri katmanları birleştirilmiş ve 3B tek bir çizim haline getirilmiştir (Şekil 4). CBS'nin bir görselleştirme aracı olarak kullanılabileceği vurgulanmış, veri katmanları şeklinde elde edilen 3B yapı görsellerine metraj, maliyet tahminleri, malzeme ve şantiye planlamaları gibi parametrelerin eklenmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir [26].

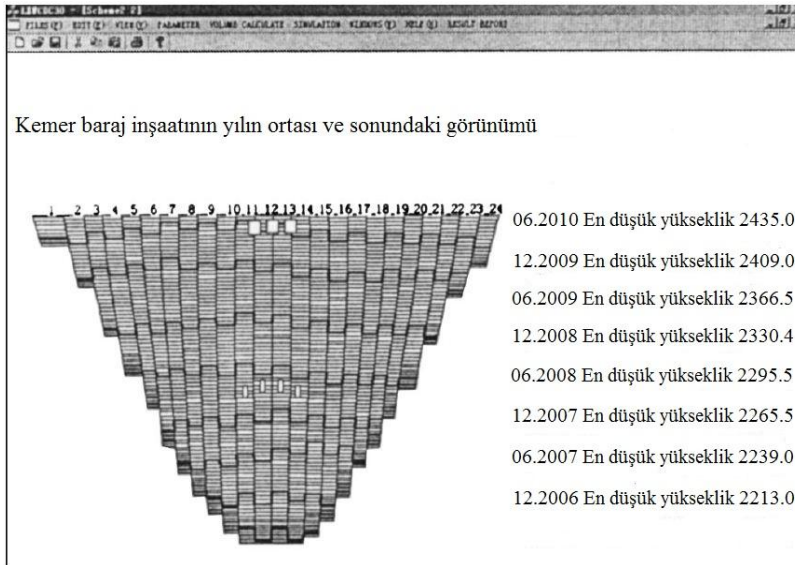
CBS kullanılarak örnek bir yapının güneşlenme kapasitesi 3B olarak görüntülenmiştir. Önerilen yöntemde güneş ışığının gelme açıları hesaplanmış ve bir binanın farklı yüzlerine gelen güneş ışığı miktarı farklı renklerde görüntülenmiştir. Animasyon tabanlı bir yöntem kullanılan çalışmada, güneş ışığının açısız değişimleri ve yapının güneş alabilirliği günlük ve yıllık zaman dilimleri için 3B olarak görüntülenmiştir. Çalışmada, yapıların projelendirme aşamasında mali ve zaman odaklı planlamaların yanında enerji odaklı tasarımların da göz önünde bulundurulması önerilmiştir [12].

Elektrik üretimi amacıyla inşa edilen betonarme bir baraj için yapılan bir başka çalışmada, zamanın bir öznitelik olarak kullanılması ile 3B dinamik bir simülasyon sistemi gerçekleştirilmiştir. *GVSS* adı verilen sistem; simülasyon modelindeki mantık hatalarını tespit etmeyi kolaylaştıran güçlü bir planlama, görselleştirme ve sorgulama özelliği sunmaktadır [27]. Sistem; veri yönetimi, 3B dijital görselleştirme ve proje aşamalarına bağlı ilerlemelerin görüntülenmesini kapsamaktadır. Sistemin oluşturulması ve bütünleştirilmesi için CBS yazılımlarından ve *Visual C++* programlama dilinden faydalanılmıştır. Baraj

yapımındaki ilerlemeler aylık aralıklarla, ilerlemelerin 3B gerçekçi verilerle görüntülenmesi ise yıllık olarak sunulmuştur. Şekil 5'te kemer baraj inşaatının 2006-2010 yılları arasındaki ilerlemeleri görülmektedir.



Şekil 4. CBS ortamında 3B bina gösterimi [26].

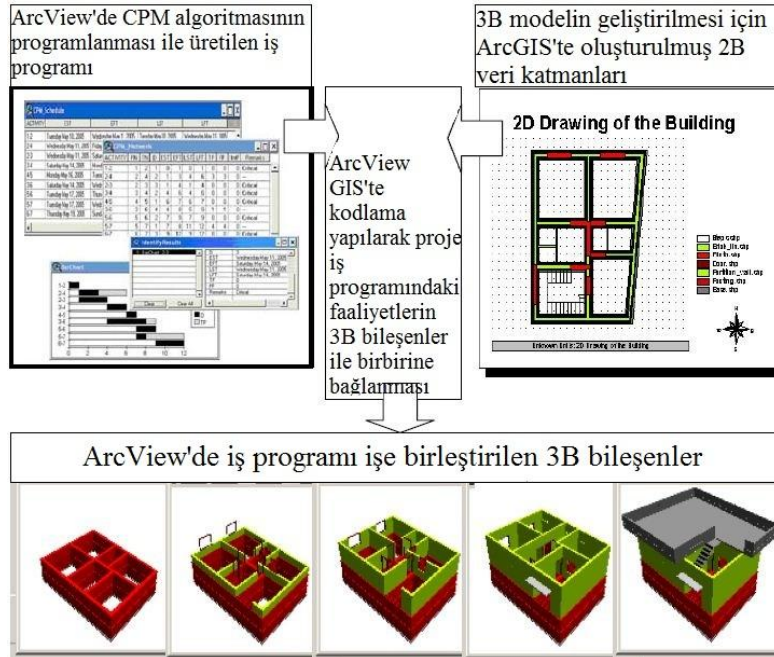


Şekil 5. Baraj inşaatının 2006-2011 yılları arasındaki ilerlemeleri [27].

2.6 İş Programı Kontrolü

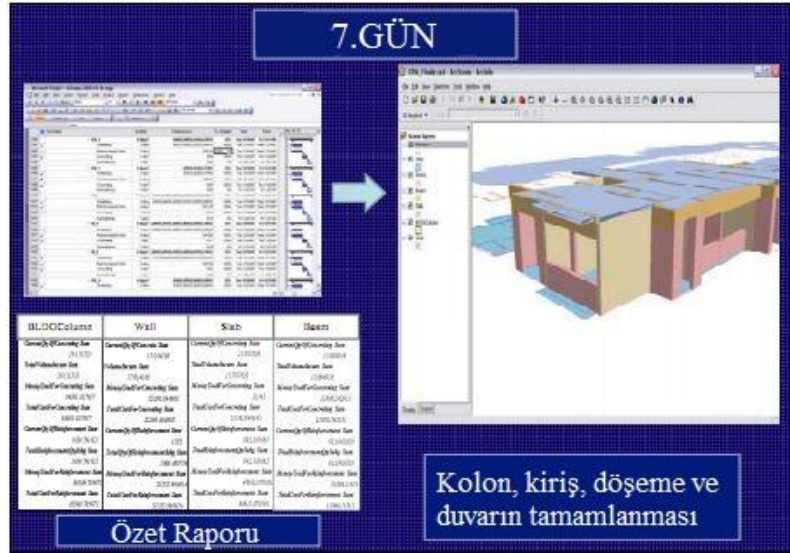
Çubuk diyagram ve Kritik Yol Yöntemi (CPM) gibi geleneksel proje planlama ve ilerleme takibi teknikleri, konumsal açıdan yapı projelerinin ihtiyaçlarına cevap verememektedir [28]. Bu nedenle iş programının kontrolünde CBS'nin kullanımı önerilmiştir. Proje iş programı ile bütünleşik CBS tabanlı bir proje ilerleme sistemi olan *PMS-GIS*, iş programının görsel sunumunu sağlayabilmektedir. Sistemde örnek bir yapının mimari çizimleri *AutoCAD*'de oluşturulurken proje iş programı *Primavera Project Planner* ile hazırlanmıştır. Grafik ve özneliksel veriler, CBS ortamında bütünleştirilmiştir. Her bir yapım aşamasının tamamlanma durumu yüzde olarak görüntülenerek şantiyedeki birimlere, sorumlu olduğu yapım aşamalarını gözlemleme imkânı sağlanmıştır. Güncelleme problemleri ve gerektiğinde birden çok yazılımda manüel düzeltmeler gerektirmesi sistemin en önemli sorunlarıdır.

Piyasadaki mevcut 4B modellere alternatif olarak CBS tabanlı bir proje iş programı önerilmiştir. CPM algoritması kullanılarak *ArcView*'de proje iş programı hazırlanmış, aynı ortamda 3B görsel verilerle bütünleştirilmiştir. Sistem, daha önceki birçok çalışmadan farklı olarak yapı yönetiminin konumsal problemlerine farklı bir yaklaşım getirmiş; yapıyla ilgili konumsal ve konumsal olmayan verilerin tek ortamda tutulmasını önermiştir. Proje iş programının CBS ortamında hazırlanmasını öneren sistem, yazılımlar arası manüel veri transferini de en aza indirerek uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Çalışmada daha sonraki araştırmalar için proje iş programına ek olarak yapı maliyet hesabının da 3B modellerle bütünleştirilmesi önerilmiştir [29]. Şekil 6'da 3B görsel verilerle bütünleşik iş programı CBS ortamında görülmektedir.



Şekil 6. CBS ortamında 3B görsel verilerle bütünleşik proje iş programının sunumu [29].

Proje iş programının takibi için animasyon tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Örnek bir yapının iç bölümlerinin ve yapının çevresindeki peyzajın 3B olarak sunulduğu çalışmada, CPM algoritması kullanılarak hazırlanan proje iş programı birden-bire, birden-çoğa ve çoktan-çoğa tablo ilişkileri ile 3B veri katmanlarına bağlanmıştır. *Animation Manager* kullanılarak her bir proje aşaması başlama ve bitiş sürelerine göre tanımlanmış; yapının iç detayları ve dış görünümü etkileşimli bir şekilde ve 3B olarak ekrana getirilmiştir. Yapı iç detaylarının görüntülenmesi sayesinde, proje yöneticileri tarafından yapım esnasında iş kazalarının meydana gelebileceği bölgelerin tespitinin sağlanabileceği ve gerekli önlemlerin önceden alınabileceği düşünülmektedir [13]. İleriki çalışmalar için, uygulama aşamasındaki bir yapı projesinin fiziksel bileşenlerinin yanında personel, malzeme ve geçici tesisler gibi öğelerinin de görüntülenmesi öneri olarak sunulmuştur. Proje yönetimi ile CBS'nin bütünleştirilmesinin konumsal ve konumsal olmayan proje verilerine tek ortam üzerinden erişmek için iyi bir çözüm olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla *Microsoft Project* kullanılarak hazırlanan proje iş programı 3B görsel verilerle bütünleştirilerek CBS ile bütünleşik proje yönetim sistemi oluşturulmuştur. Kullanıcı arabirimi C# programlama diliyle geliştirilen sistemde iş programındaki aşamaların tamamlanma yüzdeleri günlük aralıklarla görüntülenmiştir (Şekil 7). Sistem, örnek yapının tamamlanan aşamaları için maliyet verilerini de kapsamaktadır. Çalışma, proje yöneticilerine projenin konumsal özelliklerini görme imkânı sağlamaktadır. Bu sayede tüm birimlerin iş programı konusunda iletişim halinde olacağı düşünülmüştür [30].



Şekil 7. CBS entegreli proje yönetim sistemi özet raporu [30].

2.7 Gerçek Zamanlı Proje Takibi

CBS kullanılarak inşaat projesindeki ilerlemeleri görüntüleyen otomatik bir proje takip sistemi geliştirilmiştir. *ArcSched* adı verilen bu sistem, proje yöneticilerine proje aşamalarındaki ilerlemeleri gerçek zamanlı olarak takip etmeyi ve olası aksaklıklara zamanında müdahale etmeyi sağlamaktadır [31]. Sistem prefabrik bir yapı üzerinde uygulanmıştır. Prefabrik yapısal elemanların montajı, öndöküm yapı inşaatı için büyük bir kritik faaliyet olarak değerlendirilmiştir. *ArcSched*; tasarım, üretim ve yapının inşası aşamalarını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır.

Veri toplama aşamasında barkot kullanılması öneren sistem, toplanan verinin ve video kameralardan elde edilen görüntülerin yapı yönetim ofisine sırasıyla kablosuz ve kablolu bağlantılarla gönderilmesini içermektedir. Toplanan veriler yöneticiler tarafından proje iş programı ve yapı proje çizimleri ile bütünleştirilmiştir. Konumsal ve tematik verileri tek ortamda bütünleştiren *ArcSched*, gerçek zamanlı proje kontrolünü sağlayan CBS tabanlı bir sistemdir (Şekil 8).



Şekil 8. *ArcSched* gerçek zamanlı montaj görüntüleme menüsü [31].

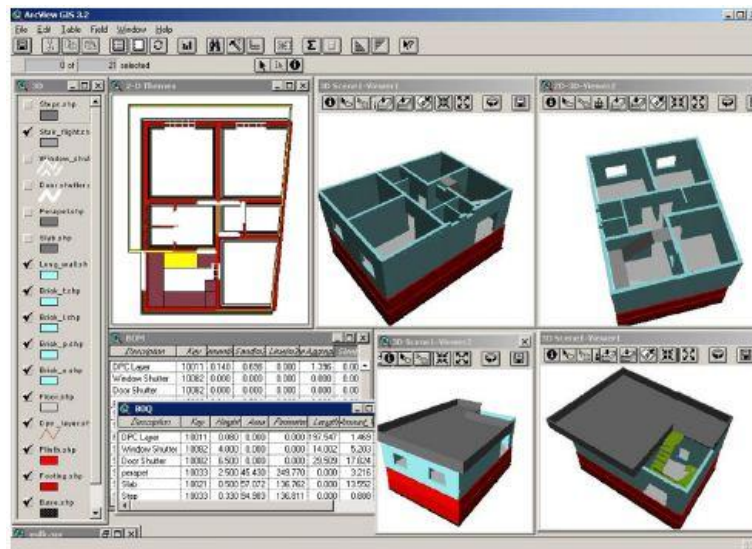
İş sahasında atıkların azaltılması için GPS ve CBS teknolojileriyle bütünleşik bir sistem önerilmiştir. Sistem, geniş iletişim ağında malzeme ve ekipmanlar için GPS ve CBS'nin entegrasyonunu sağlarken otomatik veri toplama, inşaat malzeme ve ekipman yönetimi için barkot sistemi gibi bileşenleri de

kapsamaktadır. GPS ve CBS entegrasyonlu malzeme ve ekipman yönetim sistemi sayesinde yönetim birimlerinin şantiyedeki faaliyetler ve şantiyeye gelecek malzeme hakkında eşzamanlı bilgiye erişmesi amaçlanmıştır. İmalatların zamanında ve en az atık üretimiyle bitirilebilmesi için malzeme ve ekipmanın iş sahasına istenen zamanda gelmesi, şantiye yöneticilerinin öncelikli sorumlulukları olarak belirlenmiştir. Çalışmada, GPS ve CBS bütünleşik sistemin imalatlardaki etkinliği artırdığı; böylece yapımda zamandan ve maliyetten tasarruf sağlandığı görülmüştür [32].

2.8 Malzeme Yönetimi ve Maliyet Analizi

Şantiyede etkili malzeme yönetimi, projenin başarısına önemli bir katkı sağlayacaktır. CBS, sağladığı veritabanı ve konumsal analiz özellikleri sayesinde büyük miktarda verinin depolanması ve analiz edilerek en doğru kararın verilmesine yardımcı olmaktadır. İnşaat sektöründe sıkça kullanılan CAD teknolojisi yerine CBS'nin kullanılması, oluşturulacak malzeme planlarına yersel bilgilerin ve tematik haritaların eklenmesine imkân verecektir [4]. Daha önce bahsedilen *MateriaPlan*, her bir yapı elemanının uzunluk, alan ve hacim bilgileri yardımıyla metraj ve yaklaşık maliyet hesabı yapabilmektedir. Kullanılan yöntem, yapıya ait proje çizimlerinin farklı katmanlara dönüştürülüp CAD ortamından CBS'ye transfer edilmesini öngörmektedir. Açık Veritabanı Bağlantısı (ODBC) kullanılarak çizim katmanları ve yapı elemanlarına ait öznelik verileri bütünleştirilmiştir. Çalışma, yalnızca metraj bilgilerini değil, aynı zamanda şantiye içinde malzeme depolama alanlarının yer seçimini sağlamaktadır. Oluşturulan sistem, manüel yöntemlerle fazla zaman alan metraj ve maliyet hesaplamalarına yenilikçi bir yaklaşım getirmiş ve CBS'nin bu alandaki etkili kullanımını ortaya çıkarmıştır.

ArcView yazılımına gömülü bir programlama dili olan *Avenue* kullanılarak örnek bir yapı için metraj hesabı yapılmış ve CBS ortamında 3B görsel verilerle bütünleştirilerek sunulmuştur. *AutoCAD*'de üretilen mimari proje çizimleri, ayrı veri katmanlarına dönüştürülerek CBS ortamına transfer edilmiştir. Her bir veri katmanına uzunluk, alan ve hacim bilgi alanları girilerek metraj hesabı yapılmıştır. Maliyet analizi için oluşturulan veri tablosu ile metraj tablosu ilişkilendirilmiş, böylece inşaat projesinde kullanılan kaynakların maliyetleri hesaplanmış ve 3B görsel verilerle bütünleştirilmiştir. (Şekil 9).



Şekil 9. 3B model ile bütünleşik metraj ve maliyet planlamaları [15].

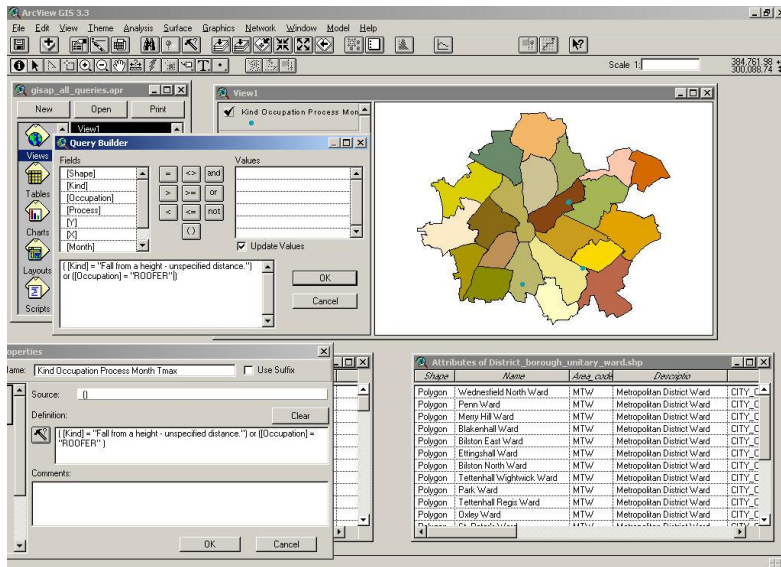
2.9 İş Güvenliği

İnşaat sektörü en tehlikeli iş alanlarının başında gelmektedir [33]. Bu nedenle güvenlik ve kalite kontrolü, inşaat projelerinin hem projelendirme aşamasında hem de yapım aşamalarında dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Özellikle büyük ölçekli inşaat projelerinde güvenlik şartlarının göz önünde bulundurulması, olası iş kazalarının önüne geçilmesine olanak sağlayacaktır. Gelişen bilgisayar ve

görüntüleme teknolojileri sayesinde güvenlik görüntülemeleri yapılabilen, işçi faaliyetleri yakından takip edilebilmektedir. CAD programları kullanılarak oluşturulan tarih çizelgeleri, saha içi fotoğraflar ve sonuç raporları, konumsal tabanlı verilerin sağlanması konusunda yetersizdir [34]. 4B CAD ve Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojileri; yeni iş sahalarının sel, drenaj, çalışma alanında konfor, güzergâh ve malzeme sevkiyat planlamaları, işçi güvenliği gibi esasların analizini sağlayacak konumsal analiz yeteneklerine sahip değildir [35]. Uygulama aşamasında güvenlik planlamaları içinde değerlendirilmesi gereken bu ölçütler, CBS yardımıyla analiz edilebilmektedir. CBS'nin bu konudaki gelişmiş özelliklerinden yararlanılarak hidroelektrik santrali inşaatında kullanılacak bir görüntüleme sistemi geliştirilmiştir. Sistem; konumsal veri modelleme fonksiyonlarının kullanılması, konumlarına göre verilerin görüntülenmesi ve sorgulanması aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmada CBS yazılımındaki *Kriging* ve *Inverse Distance Weighted (IDW)* yöntemlerinden yararlanılmıştır. Sistem, hidroelektrik santrali için güvenlik standartlarının geliştirilmesini ve sürdürülmesini önermektedir [34].

Henüz devam eden bir çalışmada doğrusal inşaat projelerinin güvenlik yönetimi için internet tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Petrol ve doğalgaz hatları için sağlamlık ve güvenlik yönetimini öneren çalışma, CBS tabanlı bir yaklaşımla konuma bağlı risklerin otomatik olarak tespit edilmesini sağlamaktadır. Sistemin arabirimi, *Visual Studio* yazılım geliştirme ortamında *ArcGIS* yazılımının internet uygulaması geliştirme araçları (*ArcGIS Web ADF*) ve *Microsoft SQL* veritabanı kullanılarak oluşturulmaktadır. Web tabanlı sistem, doğrusal inşaat projeleri için uzaktan erişim ve kontrol özellikleri sağlayacaktır [36].

Bu konu üzerine yapılan diğer bir çalışmada *GISAP* adı verilen bir iş kazası önleme sistemi oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı, inşaat alanı ile ilgili büyük miktarda verinin analizi için bir yöntem geliştirmektir. Sistemin inşasında konumsal veritabanı olarak *Microsoft Access*, CBS yazılımı olarak *ArcView* kullanılmış; SQL sorgulamaları ve ODBC'den yararlanılmıştır. Önerilen yöntem, iş sahasında kazaların azaltılmasına yönelik birbiriyle ilişkili birçok faktörün değerlendirilmesi için etkin bir platform sağlamaktadır. Çakıştırma, yakınlık ve ağ analizleri gibi konumsal faaliyetleri ve konumsal verinin görüntülenmesini kapsayan *GISAP*, şantiyedeki güvenlik kontrollerinin daha iyi anlaşılmasına ve daha doğru hedeflerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır [37]. Şekil 10'da *ArcView* ortamında yapılan bir SQL sorgulamasının sonuçları ve grafik gösterimi verilmiştir.



Şekil 11. *ArcView* ortamında yapılan bir SQL sorgulamasının sonuçları ve grafik gösterimi [37].

Konumsal olmayan yapı güvenlik verileri, örnek bir yapının CPM tabanlı proje iş programı ve 3B görsel verileri ile bütünleştirilmiştir. Çalışma; güvenlik koşullarını ve şartnamelerini içeren bir güvenlik veritabanı oluşturulması, bu veritabanı ile 3B görsel veriler arasındaki ilişkilerin kurulması, proje

parametrelerine karar verilerek iş programının geliştirilmesi ve güncellenmesi aşamalarından oluşmaktadır. İnşaat güvenlik planlamalarının ne, ne zaman, nerede ve neden sorularına cevap verebilmek için CBS, üç farklı alanda kullanılmıştır. İlk olarak farklı aşamaların güvenlik verilerini içeren güvenlik veritabanı oluşturulurken CBS araçlarından faydalanılmıştır. Risk durumlarının tespitinde, konumsal ve tematik verilerin analizinde de CBS'den yararlanılmıştır. Oluşturulan 4B CBS sistemi, konumsal analizler yardımıyla güvenlik planlamacılarının kaza ihtimali yüksek alanları tespit etmesini sağlayacaktır. Böylece güvenlik önlemleri alınarak iş kazalarının önlenebileceği düşünülmektedir [35].

3. TARTIŞMA

İş sahasında projenin amacına bağlı olmak üzere küçük, orta ve büyük ölçekli projeler yürütülmektedir. Özellikle orta ve büyük ölçekli inşaat projelerinde birimler ve bireyler arasındaki koordinasyonun ve iletişimin sağlanması, projenin başarıya ulaşması için önemli bir koşuldur. İnşaat projelerinde çalışanlar ve yöneticiler arasındaki iletişimsizlik yanlış imalatlara, dolayısıyla zaman ve maliyet kaybına yol açmaktadır. Son yıllarda bilgi teknolojilerinin inşaat projelerinde başarılı bir yönetim sürecinin anahtarı olduğu fark edilmiştir [29]. İnşaat projelerinde yaygın olarak CAD teknolojileri kullanılmaktadır [4]. CAD araçları, tasarım ve planlama aşamalarında proje kapsamındaki bireylere kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak CAD teknolojisi, inşaat projelerinin konumsal problemlerine çözüm üretememektedir [4,28, 29]. Bilgi teknolojilerinin önemli bir parçası olan CBS'nin yapı yönetimi alanında kullanılabileceği düşünülmüş ve CBS tabanlı yapı yönetimi uygulamaları geliştirilmiştir. Yukarıda detaylı şekilde değinilen çalışmaların birçoğunda, CBS'nin konumsal problemlerin çözümü için etkili bir araç olduğu bulgulanmıştır. Orta ve büyük ölçekli projelerde saha ve ulaşım planlamaları, şantiye tasarımı, iş programının kontrolü, malzeme planlamaları, gerçek zamanlı proje takibi vb. konumsallığın ön planda olduğu faaliyetlerin, CBS'nin konumsal veri analizi, veritabanı ve görsel sunum özellikleri sayesinde başarıyla gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, son yıllarda dünyanın çeşitli ülkelerinde gerçekleştirilen CBS tabanlı yapı yönetimi uygulamaları derlenmiş ve detaylı şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalar; veritabanı yönetimi, saha ve ulaşım planlamaları, şantiye tasarımı, e-ticaret, 3B görselleştirme, iş programı kontrolü, gerçek zamanlı proje takibi, malzeme yönetimi ve maliyet analizi, iş güvenliği gibi alt başlıklar halinde sunulmuştur. Bu çalışmalarda inşaat sektörünün, bilgi teknolojileriyle bütünleşik bir araca ihtiyaç duyduğu bulgulanmıştır. Ayrıca proje planlama ve tasarım aşamasında yaygın olarak kullanılan CAD teknolojisinin, inşaat projelerinin konumsal problemlerine cevap verme konusunda yetersiz olduğu belirlenmiştir. CBS araçları ise, sahip oldukları konumsal veri analizi, güçlü veritabanı ve görselleştirme desteği sayesinde konumsal problemlere etkin çözümler sunabilmektedir. Konumsal faaliyetlerin aksamadan yürütülebilmesi, projenin başarıya ulaşmasına katkı sağlamaktadır. Yapı yönetiminin çeşitli alanlarında gerçekleştirilen başarılı çalışmalara rağmen Türkiye'de henüz bu alanda bir araştırma gerçekleştirilmemiştir. Ülkemizde yapı yönetimi hala geleneksel yöntemlerle sürdürülmektedir. Proje kapsamındaki birimler ve bireyler arasındaki iletişimsizlik ve güvenilir olmayan bilginin varlığı nedeniyle öngörülemeyen aksamlar ve ek maliyetler meydana gelmektedir. Bu nedenle, konumsal ve özniteliksel proje verilerini bir arada tutabilen ve bu verilerin analizine olanak sağlayan CBS'nin kullanımı, ülkemizde inşaat projelerinin başarılı bir şekilde yürütülmesini, zaman ve maliyet kayıplarının önlenmesini sağlayacaktır. Bu çalışma, ülkemizdeki mevcut yapı yönetimi pratiklerine yenilikçi bir bakış açısı getirmeyi amaçlarken ileriki çalışmalarla yapı projelerinin yönetiminde CBS tabanlı uygulamaların geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını önermektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından 1103F044 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Walker, A., "Project Management in Construction", *Blackwell Publishing*, Fifth Edition, İngiltere, 2007.
2. McGeorge, D., Palmar, A., "Construction Management New Directions", *Blackwell Publishing*, Second Edition, İngiltere, 2007.
3. ESRI, 2005. "ArcGIS solutions for civil engineering." http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgis-civil_engineering.pdf (15.09.2011)
4. Cheng, M.Y., Yang, C.Y., 2001, "GIS-based cost estimates integrated with material layout planning." *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(4), 291-299.
5. Sun, W., Hasell, M.J., 2002, "Exploring a GIS prototype to improve the management of the architectural design, engineering and construction building product process." Proc. *Environment Science and Research Institute (ESRI) Conference*, <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc02/pap0212/p0212.htm> (18.09.2011).
6. Oloufa, A.R., Eltahan, A.A., Papacostas, C.S., 1994, "Integrated GIS for construction site investigation." *Journal of Construction Engineering and Management*, 120 (1), 211-222.
7. Varghese, K., O'Connor, J.T., 1995, "Routing large vehicles on industrial construction site." *Journal of Construction Engineering and Management*, 121(1), 1-12.
8. Sebt, M.H., Karan, E.P., Delavar, M.R., 2008, "Potential Application of GIS to Layout of Construction Temporary Facilities", *International Journal of Civil Engineering*, 6, 235-245.
9. Cheng, M.Y., O'Connor, J.T., 1996, "ArcSite: Enhanced GIS for construction site layout." *Journal of Construction Engineering and Management*, 122 (4), 329-336.
10. Li, H., Kong, C.W., Pang, Y.C., Shi, W.Z., Yu, L., 2003, "Internet-based geographic information systems system for E-commerce application in construction material procurement." *Journal of Construction Engineering and Management*, 129 (6), 689-697.
11. Bansal, V.K., Pal, M., 2008, "Generating, evaluating, and visualizing construction schedule with Geographic Information Systems." *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 22(4). 233-242.
12. Bansal, V.K., Pal, M., 2009, "Extended GIS for construction engineering by adding direct sunlight visualisations on buildings." *Construction Innovation*, 9(4), 406-419.
13. Bansal, V.K., Pal, M., 2009, "Construction schedule review in GIS with a navigable 3D animation of project activities." *International Journal of Project Management*, 27, 532-54.

14. Li, H., Chen, Z., Yong, L., Kong, S.C.W., 2005, "Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency." *Automation in Construction*, 14(3), 323-331.
15. Bansal, V.K., Pal, M., 2007, "Potential of geographic information systems in building cost estimation and visualization", *Automation in Construction*, 16, 311-322.
16. Bansal, V.K., 2011, "Application of Geographic Information Systems in Construction Safety Planning", *International Journal of Project Management*, 29(1), 66-77.
17. Bansal, V.K., Pal, M., 2006, "GIS based projects information system for construction management." *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 7(2), 115-124.
18. Driscoll, F.G., 1986, "Groundwater and Wells", İkinci baskı, Johnson Division, St.Paul, Minnesota.
19. Cheng, M.Y., Chang, G.L., 2001, "Automating utility route design and planning through GIS" *Automation in Construction*, 10(4), 507-516
20. Cheng, M.Y., O'Connor, J.T., 1994, "Site layout of construction temporary facility using enhanced-Geographic Information System (GIS)" *Automation in Construction*, 3, 11-19.
21. Hegazy, T., Elbeltagi, E., 1999, "EvoSite: Evolution-based model for site layout planning", *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 13(3), 198-206.
22. Rahman, A.A., Pilouk, M., "Spatial Data Modelling for 3D GIS", *Springer*, New York, ABD, 2008.
23. Ford, A., 2004, "The visualisation of integrated 3D petroleum datasets in ArcGIS." *24th ESRI User Conference*, San Diego, 1-11.
24. Ekberg, F., 2007, "An approach for representing complex 3D objects in GIS applied to 3D properties." Thesis for Master of Geomatics, Department of Technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden.
25. ESRI, 2008, "The Multipatch Geometry Type", White Paper, <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/multipatch-geometry-type.pdf> (06.10.2011).
26. Bansal, V.K., Pal, M., 2006, "Geographic Information Systems for Construction Industry: A methodology to generate 3-D view of buildings", *Geoenseñanza*, 11, 17-28.
27. Zhong, D., Li, J., Zhu, H., Song, L. 2004, "Geographic information system based visual simulation methodology and its application in concrete dam construction processes." *Journal of Construction Engineering and Management*, 130 (5), 742-750.
28. Poku, S.E., Arditi, D., 2006, "Construction scheduling and process control using geographic information systems." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20 (5), 351-360
29. Bansal, V.K., (2008), "Geographic Information System in Construction Management", *Doctor of Philosophy*, Department of Civil Engineering, India
30. Kolagotla, V., 2009, "Geographical Information System And Its Application To Project Management In Construction Industry", *Symposium of Map Asia*, India.

31. Cheng, M.Y., Chen, J.C., 2002, "Integrating barcode and GIS for monitoring construction progress." *Automation in Construction*, 11(1), 23-33.
32. Li, H., Chen, Z., Yong, L., Kong, S.C.W., 2005, "Application of integrated GPS and GIS technology for reducing construction waste and improving construction efficiency." *Automation in Construction*, 14(3), 323-331.
33. Salminen, S., 1995, "Serious occupational accidents in the construction industry", *Construction Management Economics*, 13, 299-306.
34. Jia, N., Xie, M., Chai, X., "Development and Implementation of a GIS-Based Safety Monitoring System for Hydropower Station Construction", *Journal of Computing in Civil Engineering*, kabul tarihi: 12.01.2011, ASCE.
35. Bansal, V.K., 2011, "Application of Geographic Information Systems in Construction Safety Planning", *International Journal of Project Management*, 29(1), 66-77.
36. Atay, H., Ergen, E., Toz, G., 2010, "GIS based decision support system for health and safety management in linear projects", *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, UK.
37. Manase, D., Heesom, D., Oloke, D., Proverbs, D., Young, C., Luckhurst, D., 2011, "A GIS analytical approach for exploiting construction health and safety information", *Journal of Information Technology in Construction*, 16, 335-356.