3B CBS ve YBM-CBS Bütünleşmesi Konusunda Başlıca Çalışmalar ve Eğilimler

Halil İbrahim Şenol[1*], Türkay Gökgöz[2]

[1]Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63000, Şanlıurfa.
[2]Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul.

Özet

Akıllı şehir kavramı son yirmi yılın en güncel ve gelişmekte olan kavramlarından biridir. Sürdürülebilir akıllı şehirler için planlama, inşaat, işletme, yönetim vb. tüm faaliyetlerin kusursuz bir akıcılıkta olması istenmektedir. Bu akıcılığın sağlanabilmesi için ise tüm araçlar arasında kusursuz bir birlik olması gereklidir. Akıllı şehirlerin kusursuz işlemesini sağlayacak araçlardan ikisi, detaylı yapı bilgisi veren Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve detaylı coğrafi bilgi veren Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'dir; ancak, YBM-CBS bütünleşmesinde çeşitli zorluklar vardır ve bu zorluklara çözüm arayışları sürmektedir. Temel sorun, dönüşüm sırasında karşılaşılan veri kaybıdır. YBM ve CBS'nin veri modellerindeki farklılık, veri kaybını artırmakta ve birlikte çalışabilirliği engellemektedir. Bu çalışmada; 3B CBS, YBM-CBS'nin bütünleşmesi ve Semantik Web teknolojisi kullanılarak YBM-CBS birlikte çalışabilirliği konularında literatür taraması yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Akıllı Şehir, Yapı Bilgi Modellemesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Bütünleşme, Birlikte Çalışabilirlik

1. Giriş

Genellikle görselleştirme amaçlı kullanılan 3 boyutlu (3B) şehir modelleri, planlama ve geliştirme amaçları doğrultusunda da etkin bir biçimde kullanılabilir. 3B şehir modellerinin üretiminde kullanılan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin birlikte çalışabilirliği bu nedenle önem arz etmektedir. YBM-CBS bütünleşmesi, yapı bilgisi bakımından zengin ve şehir planlama bakımından kullanışlı iki ortamın bir araya getirilmesidir. YBM-CBS bütünleşmesi; doğal afet planlaması, acil durum müdahalesi, ulaşım ağlarının planlanması, vb. mekânsal analizlerde kullanılabilir, daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilebilir.

Yapı bilgileri 2 boyutlu (2B) olarak üretildiğinde, bunların CBS ortamına aktarılması ve kullanılmasında problemler ortaya çıkmaktadır. Örneğin, AutoCAD dosya formatının CBS'de bir karşılığı olmadığı için, dönüşüm aşamasında veri kayıpları oluşabilir. 3B şehir modelleri için de benzer bir durum geçerlidir. YBM ile üretilen 3B modeller çeşitli dosya formatlarında depolanmaktadır ve IFC (Industry Foundation Class) bu dosya formatları arasında en çok kullanılandır. CBS ile üretilen 3B modeller de çeşitli dosya formatlarında depolanmakta ve yaygın olarak Shapefile (Esri firmasının geliştirdiği mekânsal vektör veri formatı), CityGML (City Geography Markup Language) ve CityJSON (City JavaScript Object Notation) formatları kullanılmaktadır.

YBM-CBS bütünleşmesi ve birlikte çalışabilirliği konusunda bugüne kadar yapılan araştırmalar belli çözümler sunmuş olsa da halen çözüm bekleyen aşağıdaki gibi problemler vardır:

- YBM ile CBS arasında içerik ve coğrafi referans bakımından uyuşmazlık ortaya çıkmaktadır: YBM, içerik olarak güçlü, coğrafi referans olarak zayıf iken, CBS'de durum tam tersidir.
- IFC, CityGML ve CityJSON'ın ayrıntı düzeyi (LOD: Level of Detail) farklılıklarından dolayı eşleşmesi zordur.
- Dönüşüm sırasında geometrik ve semantik veri kaybı olabilmektedir.
- YBM'den CBS'ye veri dönüşümünde araştırmalar belirli bir seviyeye gelmiştir fakat semantik veri kaybının önüne hala geçilememiştir.
- İki sistem arasında iki yönlü ve sürekli bir veri dönüşümü gerçekleştirilemediği için, tam bir birlikte çalışabilirlikten söz edilemez.

2. 3B CBS

Herbert ve Chen (2015), şehir planlamasında 3B verinin 2B veriye katkılarını ve 3B verilerin faydalarını belirlemeye yönelik bir araştırma yapmış ve 3B'nin 2B'ye göre avantajları olduğuna kanaat getirmişlerdir. Chen (2011), 3B şehir modellerinin kentsel tasarım uygulamalarını araştırmıştır. Bir binanın ne kadar güneşe maruz kaldığını tahmin etmek için 3B şehir modelleri kullanılmaktadır (Szabó vd., 2016; Li vd., 2015). Güneşe maruz kalma süresinin hesabı için gerekli geometrik bilgiler (çatının eğimi, yönü ve alanı) 3B şehir modellerinden sağlanabilir (Biljecki vd., 2015). Bununla birlikte, güneş enerjisi çalışmaları için 3B şehir modelleri yerine, yoğun nokta bulutları da kullanılabilmektedir (Gooding vd., 2015). 3B şehir modellerinin değerini gösteren diğer bir kullanım alanı ise, yapıların enerji talebi tahminidir.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (539) 3799149
E-posta: hsenol@harran.edu.tr (Şenol H. İ.), gokgoz@yildiz.edu.tr (Gökgöz, T.)

Yapıların enerji talebini tahmin etmek, enerji verimini artırmak için önemlidir. Araştırmacılar son yıllarda bina türü, hacmi, kat sayısı ve diğer özelliklere dayalı olarak ısıtma veya soğutma için enerji talebini tahmin etmek amacıyla 3B şehir modellerini kullanmışlardır (Agugiaro, 2016; Nouvel vd., 2015).

Görselleştirme, 3B CBS'nin ve 3B şehir modellerinin temel amaçlarından biridir. 2B ortamda sunulması imkânsız olan bazı özelliklerin, 3B modellerde çok rahatlıkla sunabiliyor olması (Ellul ve Altenbuchner, 2014), karar vericilerin ve kullanıcıların şehir planlarına bakış açısını değiştirmiş ve 3B model deneyimi, karar vermede etken olmuştur. 3B şehir modelleri ayrıca iki nokta arasındaki görüş hattını belirlemek ve görüş hacmini tahmin etmek (Lonergan vd., 2016) gibi birçok görünürlük analizi için vazgeçilmezdir. Cephe görünürlüğünün değerlendirmesinde (Rabban vd., 2015), gözetleme kameraları için en uygun konumu belirlemede (Yaagoubi vd., 2015), güvenlik (Bassani vd., 2015) gibi alanlarda da kullanılır. Gökyüzü görülebilirliğinin tahmini için yine 3B şehir modelleri kullanılabilir. Bununla birlikte, kentsel iklim belirleme ve termal konfor analizleri gibi çeşitli araştırmalarda da 3B şehir modellerinin kullanıldığı görülmektedir (Muñoz vd., 2015). Yapı gölge analizi de şehir planlamada sıklıkla yapılan analizlerdendir (Zhou vd., 2019).

Son zamanlarda bazı yerel idareler, binalardaki dikey mülkiyet alanları ve yer altı inşaatları (kablo hatları, boru hatlar, otopark vb.) gibi karmaşık mülkiyet alanlarına ilişkin çözüm üretmek için 3 boyutlu mülk kaydını geliştirmeye odaklanmıştır. Bu amaç doğrultusunda da yasal mülkiyetlerin 3B şehir modeli üretme teknikleri kullanılmıştır (Stoter vd., 2019; Vučić vd., 2020). Şehrin mevcut durumunu gözler önüne sermek, kentsel bilgileri vatandaşlara aktarmak ve geliştirilen önerileri tanıtmak amacı doğrultusunda yapılacak 3B şehir modellerine dayalı görselleştirme çalışmalarında, kullanıcıların birer şehir planlama uzmanı olmadığı unutulmamalıdır (Wu vd., 2010).

3B bina verileri, yapılarla ilgili ayrıntılı bilgiler verdiklerinden dolayı, afet yönetimi ve acil durum müdahalesinde kullanılabilirler (Tashakkori vd., 2015). İtfaiyelerin olay yerlerine kolay bir biçimde ulaşması ve doğru yere müdahale etmesi için 3B şehir modelleri kullanılabilir (Chen vd., 2014). Bununla birlikte, su kütlelerinden taşan su veya yoğun yağış nedeniyle meydana gelen taşkın olayının sınırlarını ve etkisini belirlemeye yönelik tasarımlar, 3B şehir modelleri kullanılarak geliştirilebilir (Varduhn vd., 2015). Genellikle 2B nesneler üzerinden yapılan dış mekân navigasyonu, 3B şehir modelleri kapsamında da ele alınan konulardan biridir (Hildebrandt ve Timm, 2014). İç mekân içeren 3B yapı modelleri; rota bulma ve erişilebilirlik (Jamali vd., 2017), tahliye (Atila vd., 2014), büyük ve karmaşık tren istasyonlarında yaya navigasyonu (Schaap vd., 2011), engelliler için iç mekân rotalarını belirleme (Kim ve Wilson, 2015) gibi uygulamalarda kullanılabilir. Arkeolojide; örneğin, antik kentlerin yeniden inşası, arkeolojik 3B nesnelerin modellenmesi, kazıların yönetilmesi, rekonstrüksiyon hipotezlerinin test edilmesi ve sit alanlarının zaman içindeki gelişiminin analiz edilmesi için 3B CBS kullanılmaktadır (McCarthy vd., 2019; Şenol vd., 2020).

3. YBM-CBS Bütünleşmesi

YBM-CBS bütünleşmesinin faydaları, çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Zhu vd., 2018). CBS, yapıların ve yapı bileşenlerinin coğrafi bilgilerine odaklanır. YBM ise mimari ve inşaat bakış açılarından maliyet ve zamanlama gibi ayrıntılı bina bileşenlerine ve proje bilgilerine odaklanır (Liu vd., 2017). YBM, planlamaya elverişli olması ve yapılarla ilgili 3B görüş ve manipülasyon yeteneğine sahip olması nedeniyle Mimarlık, Mühendislik, İnşaat (Architecture, Engineering, Construction- AEC) alanlarında tercih edilmektedir (Fosu vd., 2015). YBM-CBS bütünleşmesi konusunda çeşitli çalışmalar (Song vd., 2017) yapılmış olmakla birlikte, YBM ve CBS başlangıçta farklı amaçlar için geliştirildiğinden, halen çok sayıda zorluk yaşanmaktadır (Liu vd., 2017).

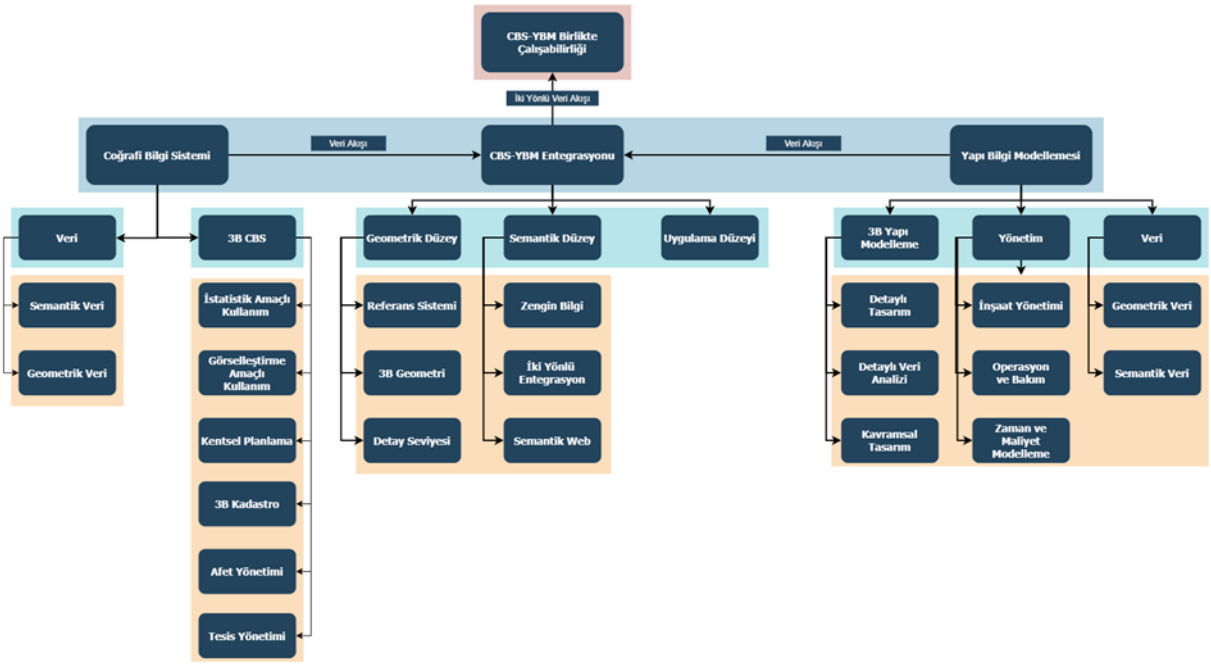
İç ve dış mekân uygulamalarının birleştirilmesine yönelik son zamanlarda yükselen talep ile birlikte coğrafi-mekânsal bir çerçevede bina modellerini bütünleştirmek için çeşitli sistemler ve araçlar tasarlamaya yönelik güncel çabalar söz konusudur (Liu vd., 2017). YBM-CBS bütünleşmesi, bir projenin yaşam döngüsünün planlama, tasarım, inşaat, işletim ve bakım gibi çeşitli aşamalarında etkili bir bilgi yönetimi sağlar. Farklı kaynaklardan gelen bilginin etkin yönetimi, kayda değer bir destek sağlayabilir (Xie vd., 2017). Bununla birlikte; bütünleşme yetenekleri, teknoloji uygulamaları, veri bütünleşmesi, kentsel yönetim ve niceliksel analiz ile akıllı sürdürülebilir şehirlerin gelişmesine yardımcı olur (Ma ve Ren, 2017). YBM ve CBS bütünleşmesinin özünde, bina ve 3B şehir modellemesi için, her iki alanın sağlam parçalarının bütünleşmesi yatmaktadır (Sani vd., 2018). İnşaat tedarik zinciri yönetimi, kültürel miras koruma, acil durum müdahalesi, kentsel enerji yönetimi, iklim adaptasyonu, ekolojik değerlendirme vb. çalışmalara önemli katkı sağlamaktadır.

CBS-YBM bütünleşmesi, Amirebrahimi vd. (2016) tarafından; veri, uygulama ve süreç olmak üzere üç açıdan ele alınmışken, Kang ve Hong (2015) tarafından süreçler, ontoloji, şema, sistem ve hizmet olmak üzere beş açıdan ele alınmıştır. Uygulama açısından başarılı sonuçlar elde etmek oldukça zordur; çünkü, uygulama açısından sadece başarılı bir bütünleşme değil, verilerin birlikte çalışabilirliği de önemlidir.

3.1. YBM-CBS Birlikte Çalışabilirliği

YBM-CBS birlikte çalışabilirliği, iki ortam arasında iki yönlü bilgi alışverişi yapma yeteneği anlamına gelir. İdeal veya başarılı birlikte çalışabilirlikte, YBM'den CBS'ye veya tam tersi yönde, geometrik ve semantik veriler herhangi bir kayıp olmaksızın aktarılabilmelidir (Şekil 1). Özetle, YBM-CBS bütünleşmesinin asıl amacı, iki ortam arasında geometrik ve semantik veri akışını sağlayabilmek ve böylece birlikte çalışabilir hale getirmektir. Bu kapsamda, geometrik düzeyde bu bütünleşme -ciddi eksikliklere rağmen- genel olarak sağlanmış olsa da, tam bir semantik bütünleşmeden söz

edilemez. YBM-CBS bütünleşmesinde, tek yönlü / çift yönlü gibi veri akış yönü kapsamında çeşitli araştırmalar yapılmış olsa da, üstesinden gelinmesi gereken çeşitli zorluklar vardır: Geometrik dönüşümdeki veri kayıpları ve dönüştürülemeyen nesneler buna bir örnektir (Sani ve Rahman, 2018).



Şekil 1. YBM-CBS birlikte çalışabilirliği

3.2. Geometrik Dönüşüm

Geometrik dönüşüm ile ilgili sorunların temelinde; (1) referans sistemi, (2) 3B geometri formatı ve (3) ayrıntı düzeyi bakımından YBM ve CBS arasında farklılıklar olmasıdır. Sani ve Rahman (2018) göre;

"(1) YBM'de nesnelerin konumları, bir yerel koordinat sisteminde (3B Kartezyen Koordinat Sistemi) belirlenir. Bir nesne için tanımlanan yerel koordinat sistemi, diğer nesneler için de referans olur. CBS'de ise genellikle ulusları, bölgeleri ve hatta tüm dünyayı kapsayacak şekilde tanımlı bir coğrafi koordinat sistemi kullanılır ve her nesnenin konumu; enlem, boylam ve yükseklik değerleriyle (mutlak koordinatlar) belirlenir.

(2) Bu farklı 3B geometrilerin farklı yazılımlarda farklı formatlarda depolanıyor olması, kolay veri dönüşümüne karşı bir engel oluşturur.

(3) CBS'deki ayrıntı düzeyleri, bir şehir modelinde bulunan ayrıntı miktarını yansıtırken, YBM'deki ayrıntı düzeyleri, bir yapı modelinde bulunan ayrıntı miktarını yansıtır; her ikisinde de beş ayrıntı düzeyi vardır; ancak, karşılık gelen ayrıntı düzeylerinin tanımlarında farklılıklar vardır."

3.3. Semantik Dönüşüm

YBM ve CBS arasındaki semantik uyumsuzluk, aynı nesne için YBM ve CBS'de farklı tanımların olmasından kaynaklanmaktadır. Semantik birlikte çalışabilirlik doğrultusundaki ana çaba, iki şema arasındaki boşluğu doldurmaktır ki, bu da mevcut şemalarda değişiklik yapılması gerektiği anlamına gelir. Deng vd. (2016) tarafından, bir referans ontoloji oluşturmaya yönelik geliştirilen Semantik Şehir Modeli (Semantic City Model), IFC ve CityGML arasında bilgi alışverişi için bir ara model görevi görmekte ve böylece, YBM ve CBS arasında farklı ayrıntı düzeylerinde harita üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Costa vd. (2016) tarafından, enerji verimine sahip bölgelerin güçlendirme tasarımını desteklemek için, IFC ve CityGML verilerini içeren Bölge Veri Modeli (District Data Model) geliştirilmiştir. EI-Mekawy vd. (2012) tarafından tasarlanan, LOD1 ve LOD4 ayrıntı düzeylerinde IFC ve CityGML arasında çift yönlü bilgi alışverişini destekleyen BIMServer'ın kullanıldığı, Birleşik Yapı Modeli (Unified Building Model) ve Hor vd. (2016) tarafından tasarlanan Bütünleşik Coğrafi-Mekansal Bilgi Modeli (IGIM) ise diğer örneklerdir. Semantik Web tabanlı yöntem umut vericidir; ancak, hala geliştirilmekte olduğu için bu tekniği kullanmak çoğunlukla zaman alıcıdır (Noor vd., 2019).

3.4. Veri Akış Bilgisi

YBM-CBS bütünleşmesinin amacı, iki ortam arasında özgür bilgi alışverişi sağlamaktır. Bu hem geometrik hem de semantik bilgilerin YBM'den CBS'ye veya tam tersi yönde serbestçe akışı anlamına gelmektedir. Ancak, akış, özellikle geometrik seviyede, YBM'den CBS'ye veya IFC'den CityGML'ye tek yönlü olabilmektedir. Bunun nedeni; bilgi talebi ve geometrik dönüşümün zorluk derecesidir (Zhu vd., 2018): CityGML'den IFC'ye geometri dönüşümü, yalnızca ayrıntı düzeyinin farklı tanımlanmasından dolayı değil, aynı zamanda 3B geometriyi temsil etmek için benimsenen yaklaşımlardaki farklılık nedeniyle de çok daha karmaşıktır. Dönüştürülme şekline karar verme zorunluluğunun yanı sıra, neyin dönüştürüleceği de yanıtlanması gereken bir sorudur. GeoBIM ve Semantik Şehir Modeli gibi bazı yöntemler çift yönlü semantik bilgi alışverişi sağladığından, bu konuda ilerleme kaydedilmiştir. Ancak, bu yöntemler projeye özgü olduğundan, farklı bir projeye doğrudan uygulanamayacağı anlamına gelir (Zhu vd., 2018). Çift yönlü bilgi alışverişi doğrultusunda daha geçerli bir yöntem elde etmek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

3.5. Semantik Web Teknolojileri

Semantik Web kavramı ilk olarak web'in mucidi olarak bilinen Tim Berners-Lee tarafından 2001 yılında tanımlanmıştır (Berners-Lee, 2001). Semantik Web; çok sayıda araştırmacının, akademik kurumun ve endüstriyel ortağın katılımıyla, World Wide Web Consortium (W3C) tarafından başlatılan ortak bir çabadır. Semantik Web, makine tarafından okunabilir verileri kaydetmek ve ontolojileri tanımlamak için, Kaynak Tanımlama Çerçevesi (Resource Description Framework– RDF) ve Web Ontoloji Dili (Web Ontology Language- OWL) gibi ontolojileri ve standart dilleri kullanır (Karimi ve Akinci, 2009). Semantik Web ve uygulamalarının temelinde bir yapı taşı olan RDF, web kaynaklarının ilgili makine tarafından yorumlanmasına izin verir (Beetz, 2014). Bu RDF'ler birbirleriyle ilişkili veya bağlantılı olduklarında, bağlı veriler (linked data) haline gelirler (Hahmann ve Burghardt, 2010). RDF'yi de kapsayan OWL ise kavramlar arasındaki gelişmiş ilişkileri tanımlamak için kullanılabilir. OWL, RDF'ye dayanmasına rağmen, bununla daha gelişmiş sınıf tanımları ve kısıtlamaları yapılabilir (Memduhoglu ve Basaraner, 2018). Bu nedenle, Semantik Web, farklı kaynaklardan gelen bilgileri bütünleştirme konusunda doğal bir yeteneğe sahiptir.

Mekânsal Semantik Web kavramı ise Fonseca ve Sheth tarafından 2002 yılında ortaya atılmıştır. Egenhofer (2002), Semantik Web'in gelecekte, yalnızca coğrafi bileşeni değil, aynı zamanda mekânsal bileşeni de içereceğini vurgulamaktadır. Mekânsal Semantik Web, web'e daha fazla semantik bilgi getirmekle ilgilidir ve bu, bilgisayarların insan zihnine daha yakın çalışmasını sağlamanın bir yoludur.

YBM ve CBS'nin farklı içerikleri ve veri yapıları vardır. YBM normalde CBS'den çok daha fazla bilgiye sahiptir. Kusursuz bir bütünleşme sistemi geliştirmek doğrultusunda, semantik web teknolojileri, referans ontoloji farklılıklarını depolamak ve temsil etmek için kullanılabilir. Mignard ve Nicolle (2014), evrimsel bir ontoloji ve bir Kentsel Tesis Yönetimi Urban Facility Management) mimarisi inşa etmişlerdir. Bununla birlikte, evrimsel ontolojinin geniş kabul görmüş bir tanımı yoktur.

Semantik Web tabanlı bütünleşme yöntemleri, YBM ve CBS arasında çift yönlü veri aktarımını sağlayabilir. Tanımlanan ontolojilerin Web'de yayımlanıyor olması da kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ek olarak, böyle bir yaklaşım, YBM ve CBS ortamındaki ilişkili bilgileri korurken, semantik veri bütünleşmesini de sağlar. Bununla birlikte, semantik web teknolojileri, özellikle küresel olarak kabul edilmiş ontoloji tanımının zenginleştirilmesi için hala gelişmekte ve olgunlaşmaktadır.

3.6. YBM-CBS Bütünleşmesinin Kullanım Alanları

3B kadastro, YBM-CBS bütünleşmesinin önemli bir uygulamasıdır. YBM, kadastro konusunda çok daha detaylı bilgi sağlayabilir; ancak, bazen bu bilgiler gereğinden fazla olabilir ve basitleştirme gerekebilir. 3B kadastro sistemi geliştirmek amacı doğrultusunda, YBM ve CBS arasındaki bilgileri bütünleştirmek için birçok çalışma yapılmıştır (Shojaei vd., 2015; Aien vd., 2013). Güncel araştırmalar, iç mekân acil durum müdahalesini de kolaylaştırmak için, iç ve dış mekân navigasyonunun birlikte kullanımınayönelmektedir (Gunduz vd., 2016). Bir iç mekân navigasyon sistemi geliştiren Zverovich vd. (2016), kapalı alan için YBM-CBS bütünleşmesi amacı doğrultusunda bir araç geliştirmeye de odaklanmıştır. Bilgi teknolojilerinin son zamanlardaki ilerleyişi, akıllı şehirlere yönelik kentsel dönüşümde etken bir rol oynamaya başlamıştır. Her ne kadar akıllı şehrin ilerleyişi sadece bilgi teknolojileriyle ilişkilendirilemese de, bilgi teknolojilerinin akıllı şehir üzerindeki rolü yadsınamaz. CBS ve YBM; hava koşulları, kentsel geometri ve binanın özellikleri arasındaki dinamik ilişkiyi araştırmaya yardımcı olabilir (Liu vd., 2017). Sel hasarı geleneksel olarak bina ve şehir olmak üzere iki farklı ölçekte değerlendirilir; bununla birlikte, YBM-CBS bütünleşmesi kapsamında ortaya çıkan yeni teknoloji ve araçlar yardımıyla, bütünleşik bir sistemde de değerlendirilebilir; böylece, tüm şehirdeki binalarda meydana gelen sel hasarının ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi mümkün olur (Lyu vd., 2019).

CBS, inşaat projelerinin coğrafi ilişkilerine bir bakış sunarak, çevresel tehlikelerin değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Öte yandan, YBM, tasarım aşamasından elde edilen bilgileri kullanarak, inşaat güvenliği endişelerini ortaya koyabilir. Isikdag vd. (2008), yangına müdahale yönetimi operasyonlarını geliştirmek için YBM ve CBS sisteminin birlikte kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada, sadece binanın kat planı ve katlar gibi semantik bilgiler değil, aynı zamanda yer seçimi ve acil durum müdahalesini optimize etmek için geometrik bilgiler de kullanılmıştır. Bunun dışında,

YBM ve CBS verilerinin bütünleşmesi, binalar ve jeoloji gibi yüzey ve yer altı özelliklerinin bütünleşik bir çerçevede modellenmesini sağlamaktadır (Tegtmeier vd., 2014).

4. Güncel Çalışma Konuları ve Eğilimler

YBM-CBS bütünleşmesindeki gelişmeler (Biljecki ve Arroyo Ohori, 2015) ve prosedürel modellemedeki gelişmeler (Martinovic vd., 2015), sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik (Carmigniani vd., 2011) uygulamalarıyla birleştiğinde, karar vericilere ve kullanıcılara daha fazla katkıda bulunulacağına inanılmaktadır. Bununla birlikte, gelecekte, yapıların dışındaki tematik özelliklerin de yapılar kadar önemli olacağı düşünülmektedir (Biljecki vd., 2015). Ayrıca, mevcut tesis yönetimi ve navigasyon gibi bütünleşik iç-dış mekân modellerinin, 3B iç mekân modellerine göre daha fazla kullanım alanı olacağı öngörülmektedir (Biljecki vd., 2015). Bununla birlikte, altyapı bilgileri de bütünleşik 3B şehir modelleriyle kullanılabilir. Acil durum ve afet simülasyonu, müdahale ve yönetimi tipik ve sıcak bir konudur (Xu vd., 2016; Wu ve Zhang, 2016). Akıllı şehir, sensör ağı ve Nesnelerin İnterneti, 3B modelleri temel alır ve hepsi CBS'deki güncel araştırma konularıdır.

YBM ve Konum Temelli Servisler (KTS)'in bütünleşmesi, geleneksel 2B KTS'yi özellikle bir bina içinde 3B'ye genişletebilir. Aynı CityGML sınıfı içinde ancak farklı IFC sınıflarına ait olan nesneleri ayırt etme yöntemleri araştırılabilir. IFC'de seçilecek sınıfın hangi CityGML sınıfına aktarılacağına karar verilmesi gerekmektedir. CityGML'deki bir sınıfa, IFC'deki karşılığını gösteren bir öznitelik eklemek çözüm olabilir. IFC ve CityGML, sırasıyla YBM ve CBS için temsili veri formatlarıdır. Semantik web teknolojileri, bütünleşme ve birlikte çalışabilirliği sağlamak için kullanılabilir.

Sonuç olarak, gelecekteki çalışmalar, YBM ve CBS'nin sorunsuz birlikte çalışabilirliğine odaklanmalıdır. Bu durum, bilginin hem geometrik hem de semantik açıdan YBM ve CBS arasında serbestçe akabileceği anlamına gelir. Uygulamada bütünleşmenin gerçekleştirilebilmesi için iki yönlü bütünleşme bir zorunluluktur. YBM ve CBS, uzun bir süre birbirlerinin yerini alamazlar; bağımsız ama tamamlayıcı sistemler olarak çalışmaya devam edeceklerdir. Şu anda öncelik, aralarında veri bakımından tam ve etkili birlikte çalışabilirliği sağlamaktır. Bununla birlikte, yüzlerce hatta binlerce binadan oluşan bütün bir şehir modelinin veri boyutu çok büyük olacaktır ve mevcut cihazlar tarafından neredeyse hiçbir biçimde ele alınamaz. Bu sorunun üstesinden gelmek için, semantik bilgileri olduğu gibi tutarken, veri boyutunu küçültmek için yeni tekniklere ihtiyaç vardır.

5. Sonuçlar

YBM-CBS bütünleşmesi, kentsel planlamayı bir sonraki aşamaya taşıyacak yeni ve hızlı gelişen bir konudur. Bu konuda çözüm bekleyen sorunların başında, bütünleşme sırasında gerçekleşen geometrik ve semantik bilgi kayıpları yer almaktadır. Ayrıca, bütünleşmenin uygulandığı standart bir yazılım olmaması ve genelde bireylerin geliştirdiği açık kaynak kodlu yazılımların kullanılmak zorunda kalınması da bütünleşme hassasiyetinin istenilen seviyede elde edilmesinin önüne geçmektedir. Bunun dışında, iki farklı sistem olan YBM ve CBS arasındaki uyuşmazlık da genellikle bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü iki sistem hem geometrik hem de semantik verileri farklı şekillerde depolamaktadır. Dolayısıyla, bütünleşme işlemi sırasında verileri doğru bir biçimde eşlemek zorlaşmaktadır. Bir diğer ölçüt ise veri zenginliğidir. YBM, yapı verisi anlamında çok zengin bir içeriğe sahipken, CBS, aynı zengin içeriğe sahip değildir ve uyuşmazlıklar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, YBM verilerinin çoğunun yerel bir koordinat sistemine sahip olması nedeniyle, CBS sistemleri içerisinde konumlandırılmasında sorunlar ortaya çıkmaktadır. İki sistemin birlikte çalışabilirliği için iki yönlü bir bütünleşme gerekmektedir. Fakat günümüze kadar yapılan çalışmaların çoğunda, YBM'den CBS'ye yönelik bir bütünleşmeye ağırlık verilmiştir. Bunun temel nedeni, YBM kadar zengin bir içeriğe sahip olmayan CBS'nin, YBM ortamında beklentileri karşılayamamasıdır. Ayrıca, bütünleşme çalışmalarının büyük bir kısmı, tam otomatik bir bütünleşme yaklaşımı öneremişlerdir. Bu konudaki araştırmalar son yıllarda ağırlık kazansa da hala eksiklikler vardır. YBM ve CBS'nin birlikte çalışabilirliğini sağlamak için önerilen yaklaşımların en dikkat çekeni ve gelecek vaat edeni, Semantik Web teknolojisidir. Eşleşmesi güç olan YBM ve CBS verilerinin, Semantik Web sayesinde yeniden tanımlanmasıyla, iki yönlü bütünleşme sağlanabilir. Birlikte çalışabilirlik konusundaki eksiklikler, bütünleşme uygulamalarını da zorlaştırmaktadır. Ancak, birlikte çalışabilirliği sağlamak için daha fazla uygulamaya ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

Agugiaro, G. (2016). Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models: experiences from Trento (Italy). *Applied Geomatics*, 8(1), 41–56.

Aien, A., Kalantari, M., Rajabifard, A., Williamson, I., Bennett, R. (2013). Utilising data modelling to understand the structure of 3D cadastres. *Journal of Spatial Science*, 58(2), 215–234.

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., Ngo, T. (2016). A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building. *Journal of Spatial Science*, 61(2), 317–350.4

Bassani, M., Grasso, N., Piras, M. (2015). 3D GIS based evaluation of the available sight distance to assess safety of urban roads. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 137.

Beetz, J. (2014). A scalable network of concept libraries using distributed graph databases. *In Computing in Civil and Building Engineering* (pp. 569–576).

Berners-Lee, T., Lassila, O., Hendler, J. (2001). The semantic web. *Scientific American*, 284(5), 34–43.

Biljecki, F., Arroyo Ohori, K. (2015). Automatic semantic-preserving conversion between OBJ and CityGML. *UDMV15: Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation*, November 23, Delft, The Netherlands.

Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842–2889.

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377.

Chen, L.-C., Wu, C.-H., Shen, T.-S., Chou, C.-C. (2014). The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations. *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, 1–12.

Chen, R. (2011). The development of 3D city model and its applications in urban planning. *19th International Conference on Geoinformatics*, Shanghai, China, 1–5.

Costa, G., Sicilia, A., Lilis, G. N., Rovas, D. V, Izkara, J. (2016). A comprehensive ontologies-based framework to support the retrofitting design of energy-efficient districts. *EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction-Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling,* Limassol, Cyprus, 673–681.

Deng, Y., Cheng, J. C. P., Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1–21.

Egenhofer, M. J. (2002). Toward the semantic geospatial web. *Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, McLean, VA, USA, 1–4.

Ellul, C., Altenbuchner, J. (2014). Investigating approaches to improving rendering performance of 3D city models on mobile devices. *Geo-Spatial Information Science*, 17(2), 73–84.

El-Mekawy, M., Östman, A., Hijazi, I. (2012). An evaluation of IFC-CityGML unidirectional conversion. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(5), 159–171.

Fosu, R., Suprabhas, K., Rathore, Z., Cory, C. (2015). Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS)–a literature review and future needs. *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference*, Eindhoven, The Netherlands, 27–29.

Gooding, J., Crook, R., Tomlin, A. S. (2015). Modelling of roof geometries from low-resolution LiDAR data for city-scale solar energy applications using a neighbouring buildings method. *Applied Energy*, 148, 93–104.

Gunduz, M., Isikdag, U., Basaraner, M. (2016). A review of recent research in indoor modelling & mapping. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 289.

Hahmann, S., Burghardt, D. (2010). Linked data–a multiple representation database at web scale. *Proceedings of the 13th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Zurich, Switzerland.

Herbert, G., Chen, X. (2015). A comparison of usefulness of 2D and 3D representations of urban planning. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(1), 22–32.

Hildebrandt, D., Timm, R. (2014). An assisting, constrained 3D navigation technique for multiscale virtual 3D city models. *GeoInformatica*, 18(3), 537-567.

Hor, A. H., Jadidi, A., Sohn, G. (2016). BIM-GIS integrated geospatial information model using semantic web and RDF graphs. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3(4), 73–79.

Isikdag, U., Underwood, J., Aouad, G. (2008). An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes. *Advanced Engineering Informatics*, 22(4), 504–519.

Jamali, A., Rahman, A. A., Boguslawski, P., Kumar, P., Gold, C. M. (2017). An automated 3D modeling of topological indoor navigation network. *GeoJournal*, 82(1), 157–170.

Kang, T. W., Hong, C. H. (2015). A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. *Automation in Construction*, 54, 25–38.

Karimi, H. A., Akinci, B. (2009). CAD and GIS integration. CRC Press, Florida, USA.

Kim, K., Wilson, J. P. (2015). Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine. *Journal of Spatial Science*, 60(1), 179–193.

Li, Z., Zhang, Z., Davey, K. (2015). Estimating geographical PV potential using LiDAR data for buildings in downtown San Francisco. *Transactions in GIS*, 19(6), 930–963.

Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C. P., Li, X., Liu, R. (2017). A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(2), 53.

Lonergan, C., Hedley, N. (2016). Unpacking isovists: a framework for 3D spatial visibility analysis. *Cartography and Geographic Information Science*, 43(2), 87–102.

Lyu, H. M., Shen, S. L., Zhou, A., Yang, J. (2019). Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 84, 31-44.

Ma, Z., Ren, Y. (2017). Integrated application of BIM and GIS: an overview. *Procedia Engineering*, 196, 1072–1079.

Martinovic, A., Knopp, J., Riemenschneider, H., Van Gool, L. (2015). 3d all the way: Semantic segmentation of urban scenes from start to end in 3D. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vancouver, BC, Canada, 4456–4465.

McCarthy, J., Benjamin, J., Winton, T., van Duivenvoorde, W. (2019). The Rise of 3D in Maritime Archaeology. In 3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology (pp. 1–10). Springer, Cham.

Memduhoglu, A., Basaraner, M. (2018). Possible contributions of spatial semantic methods and technologies to multi-representation spatial database paradigm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(3), 108–118.

Mignard, C., Nicolle, C. (2014). Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVe3D. *Computers in Industry*, 65(9), 1276–1290.

Muñoz, D., Beckers, B., Besuievsky, G., Patow, G. (2015). Far-LoD: Level of detail for massive sky view factor calculations in large cities. *Proceedings of the Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation*, Goslar, Germany, 1–6.

Noor, S., Shah, L., Adil, M., Gohar, N., Saman, G. E., Jamil, S., Qayum, F. (2019). Modeling and representation of built cultural heritage data using semantic web technologies and building information model. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 25(3), 247–270.

Nouvel, R., Mastrucci, A., Leopold, U., Baume, O., Coors, V., Eicker, U. (2015). Combining GIS-based statistical and engineering urban heat consumption models: Towards a new framework for multi-scale policy support. *Energy and Buildings*, 107, 204–212.

Rabban, I. E., Abdullah, K., Ali, M. E., Cheema, M. A. (2015). Visibility color map for a fixed or moving target in spatial databases. *International Symposium on Spatial and Temporal Databases*, Hong Kong, China, 197–215.

Sani, M. J., Rahman, A. A. (2018). GIS and BIM integration at data level: A review. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4/W9).

Schaap, J., Zlatanova, S., Van Oosterom, P. J. M. (2011). Towards a 3D geo-data model to support pedestrian routing in multimodal public transport travel advices. *Urban and Regional Data Management*, 63–78.

Senol, H. İ., Memduhoglu, A., Ulukavak, (2020). M. Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241-1250.

Shojaei, D., Rajabifard, A., Kalantari, M., Bishop, I. D., Aien, A. (2015). Design and development of a web-based 3D cadastral visualisation prototype. *International Journal of Digital Earth*, 8(7), 538–557.

Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J. C. P., Hampson, K. (2017). Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: a review from a spatio-temporal statistical perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12), 397.

Stoter, J., Ho, S., Biljecki, F. (2019). Considerations for a Contemporary 3D Cadastre for our Times. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4/W15).

Szabó, S., Enyedi, P., Horváth, M., Kovács, Z., Burai, P., Csoknyai, T., Szabó, G. (2016). Automated registration of potential locations for solar energy production with Light Detection And Ranging (LiDAR) and small format photogrammetry. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3820–3829.

Tashakkori, H., Rajabifard, A., Kalantari, M. (2015). A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation. *Building and Environment*, 89, 170–182.

Tegtmeier, W., Zlatanova, S., Van Oosterom, P. J. M., Hack, H. R. G. K. (2014). 3D-GEM: Geo-technical extension towards an integrated 3D information model for infrastructural development. *Computers & Geosciences*, 64, 126–135.

Varduhn, V., Mundani, R.-P., Rank, E. (2015). Multi-resolution models: Recent progress in coupling 3D geometry to environmental numerical simulation. In 3D Geoinformation Science (pp. 55–69). Springer.

Vučić, N., Mađer, M., Vranić, S., Roić, M. (2020). Initial 3D cadastre registration by cadastral resurvey in the Republic of Croatia. *Land Use Policy*, 104335.

Wu, B., Zhang, S. (2016). Integration of GIS and BIM for indoor geovisual analytics. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 455-458.

Wu, H., He, Z., Gong, J. (2010). A virtual globe-based 3D visualization and interactive framework for public participation in urban planning processes. Computers, *Environment and Urban Systems*, 34(4), 291–298.

Xie, Y., Wang, M., Liu, X., Wu, Y. (2017). Integration of GIS and moving objects in surveillance video. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 94.

Xu, M., Hijazi, I., Mebarki, A., Meouche, R. El, Abune'meh, M. (2016). Indoor guided evacuation: TIN for graph generation and crowd evacuation. Geomatics, *Natural Hazards and Risk*, 7, 47–56.

Yaagoubi, R., Yarmani, M. El, Kamel, A., Khemiri, W. (2015). HybVOR: A voronoi-based 3D GIS approach for camera surveillance network placement. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(2), 754–782.

Zhou, K., Lindenbergh, R., Gorte, B. (2019). Automatic shadow detection in urban very-high-resolution images using existing 3D models for free training. *Remote Sensing*, 11(1), 72.

Zhu, J., Wright, G., Wang, J., Wang, X. (2018). A critical review of the integration of geographic information system and building information modelling at the data level. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 66.

Zverovich, V., Mahdjoubi, L., Boguslawski, P., Fadli, F., Barki, H. (2016). Emergency response in complex buildings: automated selection of safest and balanced routes. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 31(8), 617–632.