

FARKLI AYRINTI DÜZEYLERİNDE 3 BOYUTLU KENT MODELLEME VE CityGML

3 DIMENSIONAL CITY MODELING IN DIFFERENT LEVELS OF DETAIL AND CityGML

Araş. Gör. Dr. Mehmet Ali YÜCEL*, Prof. Dr. Mehmet SELÇUK**

ÖZET

Coğrafi mekansal verinin doğasında olan karmaşa ve düzensizlik, kullanıcılar tarafından doğru algılanmasını zorlaştırmakta ve görselleştirilmesinin önemini arttırmaktadır. 3B (3 Boyutlu) gösterimler mekansal nesnelere algılanmasını kolaylaştırmaktadır. 3B kent modelleri farklı amaçlar için birçok disiplin tarafından kullanılmakta ve bu alandaki ihtiyaçlar gün geçtikçe artmaktadır. Büyük kent bölgelerinin modellenmesi için geliştirilmiş olan yeni yöntemler, veri azaltma, ayrıntı düzeyi (Level of Detail: LoD), akıcı işlem sağlama ve 3B kent modeli ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) arasında ilişki kurma özelliklerine sahiptir. Ayrıntı düzeyleri ile karmaşık yapılı ve büyük kapasiteli olan 3B mekansal modellerin iletişimi, paylaşımı ve gösterimi daha hızlı yapılabilmektedir. 3B kent modellemede veri paylaşımını kolaylaştırmak için ilk standartlar CityGML (City Geography Markup Language) modelleme dili kapsamında Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B Kent Modelleme, CityGML, Coğrafi Mekansal Veri, 3B Görselleştirme, Ayrıntı Düzeyi (LoD).

ABSTRACT

Geospatial data structure is inherently complex and irregular. Because of that perceiving geospatial data is difficult and its visualization is important. 3D representations of

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, aliyucel@yildiz.edu.tr

** Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, selcuk@yildiz.edu.tr

spatial objects increase people's perception. The need for 3D city models is growing rapidly and the applications of those models have been appearing in a variety of fields in recent years. New techniques have been developed for 3D urban information system, including reduction of data, level of detail (LoD), streaming, and linkage between 3D city models and GIS. 3D spatial models have complex structure and require large disk storage. The real-time visualization of 3D city models requires the representation of buildings in different LoDs. OGC generated CityGML (City Geography Markup Language) for standardization and easy data sharing between 3D city models.

Keywords: 3D City Modeling, CityGML, Geospatial Data, 3D Visualization, Level of Detail.

1. GİRİŞ

3B sanal kent modelleri, arazi modelleri, bina modelleri, bitki modelleri, yollar gibi ulaşım sistemlerini içeren 3B mekansal sanal ortamlar mekansal ve coğrafi tabanlı şehir verilerinin gösterimini içerir. Bu modeller genellikle gelecek ile ilgili keşif, analiz, yönetim gibi kestirimleri yapmak amacı için kullanılmaktadır. Sanal 3B kent modellerinin en önemli özelliklerinden biri de farklı mekansal bilgilerin aynı ortamda bütünleştirilip gösterimine ve karmaşık kent modellerinin oluşturulup bunların yönetimine olanak sağlamasıdır.

Bu konuda yapılan uygulama ve sistemler 3B sanal kent modelleri ile kent planlama ve geliştirme, tesis yönetimi, lojistik, güvenlik, haberleşme, afet yönetimi, konumsal hizmetler, gayrimenkul işlemleri, eğitim ve eğlence hizmetleri gibi temel sistem elemanlarının birleştirilmesini amaçlamaktadır. Bu nedenle sanal 3B kent modellerinin çok sayıda etkin ve etkili kullanım alanı ve kullanıcı grubu vardır.

2. KENT MODELLERİNİN 3B GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

3B sanal kent modellerinin gereksinimleri uygulama çeşitlerine göre farklılık göstermektedir. Turizm, eğlence, halka açık alanlar gibi konuları kapsayan uygulamalarda yüksek derecede fotoğrafik görseleliğe gereksinim duyulmaktadır, (Şekil 1-a). Örneğin imara açılacak bölgelerin planlamadan sonra nasıl olacağını kestirilmesini amaçlayan

uygulamalarda 3B görselleştirmenin kalitesi modelin planlamadan sonraki durumu ne kadar iyi yansıtabildiğine bağlıdır. Diğer yandan analiz ve keşfe yönelik uygulamalarda binaların detaylı olarak gösterilmesine gerek duyulmamaktadır. Bu tür uygulamalarda genellikle tematik bilgiler gösterilmektedir. Şehir planlama açısından bakıldığında gösteriminde binaların kullanıldığı tematik bilgiler, binanın boş olup olmadığı, sahibinin kim olduğu, binanın yapıldığı yıl gibi bilgilerdir. Şekil 1-b bir bölgeye ait mülkiyet bilgilerini göstermektedir, (Döllner vd., 2006). 2B CBS uygulamalarında tematik özellikleri içeren mekansal nesnelere ve tematik bilgilere ait analiz ve keşif işlemleri kolaylıkla yapılabilirken 3B ortamlarda bu işlemlerin yapılmasına olanak sağlayan yazılım sayısı oldukça azdır.



Şekil 1: Farklı amaçlar için oluşturulmuş 3B kent modeli örnekleri (Döllner vd., 2006).

3B kent modellerinin oluşturulması ve sürdürülmesi birbirinden bağımsız veri kaynaklarından yapılabilmektedir. Bu da veritabanları arasındaki güçlü bağlantılar ile sağlanabilmektedir. Burada önemli olan konu, verilerin sistematik ve doğru olarak birleştirilmesidir. 3B kent modellemede kullanılan veriler şunlardır:

- **Kadastral Veriler:** Kadastral veritabanları bina, arsa ve tarla sınırlarını, adres ve iyelik bilgilerini içermektedir. Bu bilgilerin doğruluğu devlet güvencesi altındadır. Kadastral veritabanları 3B verileri içermemelerine rağmen 3B bina modellerinin oluşturulmasında önemli bir yer tutmaktadır.
- **Sayısal Arazi Modelleri ve Hava Fotoğrafları:** Bu veri kaynakları grid verilerden veya LIDAR verilerinden türetilen sayısal arazi modellerini ve ortofotoları içerir. Sayısal arazi modelleri 3B kent modellerindeki bütün geometrik nesnelere için

referans yüzey olarak kullanılmaktadır. Hava fotoğrafları ise fotorealistik görselleştirmede arazi yüzeylerinin ve bina çatı dokularının çatı yüzeylerine eklenmesinde kullanılan önemli veri kaynaklarıdır.

- 3B Bina Modelleri: 3B bina geometrileri yersel veya havadan laser tarama ve fotogrametrik yöntemler ve yersel ölçmelere dayanan jeodezik yöntemler ile elde edilmektedir. Binalar çeşitli ayrıntı düzeyleri ile gösterilmektedir, (Kolbe vd., 2005). Bu düzeyler blok modeller (LoD1), geometrik modeller (LoD2), mimari modeller (LoD3) ve ayrıntılı iç mekan modelleridir (LoD4), (Döllner and Buchholz, 2005). Binaların detaylı olarak gösterimine olan gereksinimin artması bina ayrıntı düzeylerinin önemini arttırmıştır. 3B mekansal verinin elde edilmesi ve kullanımında maliyetleri en aza indirilmesi gibi amaçlar için bu çalışmalar yapılmaktadır, (Döllner vd., 2006; Ribarsky vd, 2002; Förstner, 1999)
- Mimari Modeller: Tarihi yapılardan oluşan bölgelerde ve şehir gelişim planlarında basit gösterimli 3B bina modelleri ile mimari modeller birleştirilmektedir. Bu modeller genellikle binaların dış görünümünün yanı sıra bina içi nesnelere ve dış mekan nesnelere de ayrıntılı olarak göstermektedir.

3B kent modellerinin oluşturulması ile ilgili kapsamlı kurallar henüz bulunmamaktadır. Bu konuda ilk çalışmalar CityGML kapsamında OGC (Open Geospatial Consortium) tarafından yapılmış ve halen sürdürülmektedir. 3B kent modelleri için CityGML ile aşağıda belirtilen veri standartları getirilmiştir:

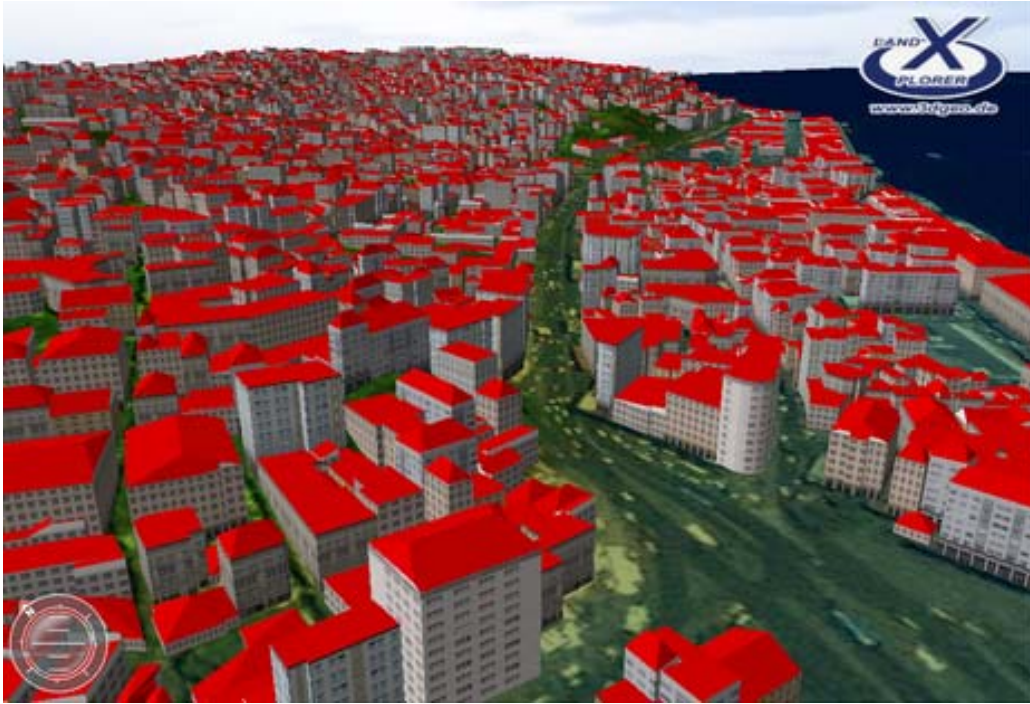
- Ayrıntı düzeyleri ile oluşturulacak 3B bina modelleri için CityGML dilinin kullanılması,
- 3B mimari bina modelleri için 3D-Studio MAX ve VRML dosya biçiminin kullanılması,
- 2B CBS verileri (2B parsel ve 2B bina sınırlarını ve binaların yükseklik bilgilerini içeren) için ESRI Shape dosya biçiminin kullanılması,
- Bina sınırları arasındaki geometrik ilişkileri (topoloji) içeren veriler için ESRI Shape dosya biçimini kullanılması.

3B kent modelleri yukarıdaki mekansal verilerden başka klasik coğrafi referanslı 2B veri kaynaklarını (toprak kullanım bilgisi vb.), ve vektör veri kaynaklarını (yol ağlarını, toplu ulaşım ağları) da içerirler. Bu veri setleri sayısal arazi modelleri üzerine görüntü tabakası olarak yerleştirilerek 3B modele eklenebilir, (Döllner vd., 2006).

Karmaşık yapıdaki bölgelere ait tematik ve coğrafi bilgilerin 3B kent modeli ile bütünleştirilmesi modelin geometrik özelliklerine bağlıdır. Örneğin, emlakçılık amaçlı oluşturulmuş bir 3B kent modeli, binanın boş olup olmaması, yapılış yılı, kira fiyatı gibi bilgileri içermelidir. Bu tematik bilgiler, bina cephe renklerinin, çatı renklerinin veya çatı şekillerinin model üzerinde farklı gösterimi ile görsel hale getirilebilir.

2.1 Fotorealistik Görselleştirme

Gerçekçi gösterimlerin önemli olduğu uygulamalarda yüksek derecede fotorealizm gerekmektedir. Örneğin, Sultanahmet Meydanı gibi tarihi eserin çok fazla olduğu bölgelerde turizme yönelik bir 3B kent modeli oluşturulurken, binalar gerçeğe en yakın görünümünde modellenmeli ve fotoğraflarla desteklenmelidir, (Şekil 2). Çünkü bölgeyi gezmek isteyen bir turist burayı model üzerinde incelediğinde, tarihi dokuyu en iyi şekilde algılamalı ve bölgeyi gezmeye isteğine kapılmalıdır. Fotorealistik görselleştirmede detaylı gösterimlerin kullanılması önemlidir. Detay miktarı arttıkça modelin cazibesi de artmaktadır. Büyük bölgeleri içeren 3B kent modellerinde yüksek çözünürlüklü ve sürekli görüntü sağlanması gerekmektedir, (Beck, 2003; Willmott vd., 2001).

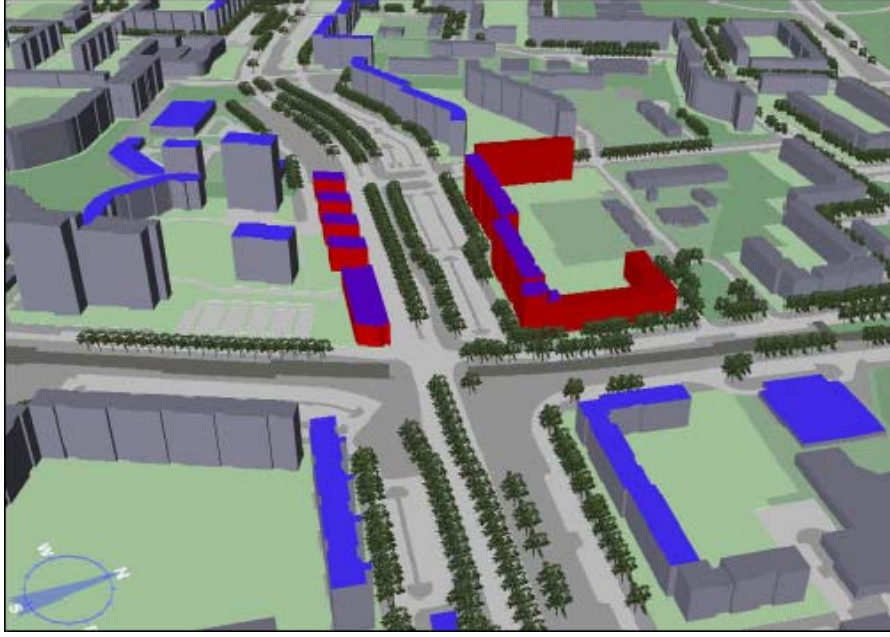


Şekil 2: Fotorealistik olarak görselleştirilmiş 3B kent modeli örneği.

Fotorealistik gösterimin kapsamını genişletmek için günümüzde kullanılan güncel yazılımlar 3B bitkilerden oluşan özel kütüphanelere sahiptir. Bitkiler modellenmesi zor olan nesnelere. Çünkü bunun için bitkilerin değişik açılardan görüntülerinin, yaprak dokularına ait bilgilerin, küçük ve tek bitkilerin türlerinin bilinmesini gerektirmektedir. Etkileşimli bir sınıflandırmanın yapılması için çok karmaşık olan bitki yapılarının basitleştirilmesi gerekmektedir. Karmaşık yapının sebebi iki madde ile açıklanabilir: 1) Sıradan tek bir ağacın 3B modeli 50.000 ile 150.000 arası yüzeyden oluşmaktadır ve bu yüzeylerin büyük bir kısmı yapraklardır. 2) İnsanın bitkileri algılama yeteneği çok gelişmiştir, (Döllner, 2006). Bu nedenle gerçekçi gösterimler için iyi modellenmiş bitkilere gereksinim vardır. Buna karşın iyi modellenmiş bitki modelleri de çok fazla yüzeyden oluştuğu için iyi modellenmiş bitki modellerinin kullanıldığı 3B kent modelleri yüksek kapasiteli bilgisayarları gerektirmektedir. Bu nedenle bitki gösteriminde de LoD gereksinimi kaçınılmazdır.

2.2 3B Tematik Görselleştirme

Tematik bilgilerin 3B gösterimi 3B mekansal görselleştirmeye geniş ve kapsamlı bir araç ve ortam sağlamıştır. Tematik verilerin gösterimi ile ilgili uygulamalarında binaların detaylı olarak gösterimi gerekli değildir. Harita yapımında olduğu gibi, 3B modellemede de amaç önemlidir. Modelin ayrıntı düzeyi modelin yapılış amacına uygun olmalıdır. Ayrıca detaylı gösterimler bilgisayar ortamındaki işlemlerin yavaşlamasına neden olmaktadır, (Müller ve Schumann, 2002). Bu nedenle tematik verilerin 3B modellenmesinde mekansal veriler 3B basit geometrik şekiller ile gösterilir, (Şekil 3).



Şekil 3: Tematik verilerin 3B görselleştirilmesi. Bina cepheleri ve çatılar değişik tematik bilgileri göstermektedir.

Doğal gaz, elektrik, su kullanımı, bina kat adetlerinin kent modeli üzerinde gösterimi gibi uygulamalar tematik görselleştirme işlemine örnek olarak verilebilir. Tematik verilerin gösteriminde tematik kartografya ile ilgili kurallara uyulmalıdır. Örneğin model üzerinde gösterilen veriler nicel (sayısal) özellikli ise, gösterimde aynı rengin ton değerleri kullanılmalıdır. Binaların depreme olan dayanıklılıklarının gösterimi buna örnek olarak verilebilir. Deprem riski az olan binalar açık renk tonları ile, riskin daha fazla olduğu binalar ise aynı rengin daha koyu tonları ile gösterilmelidir. Binaların yapı türleri gibi nitel özelliklerin gösteriminde ise aynı rengin tonlarının kullanılması yanlıştır. Renk tonlanması kullanıcıda sayısal bir algılamaya neden olmaktadır. Bu nedenle nitel özelliklerin gösteriminde aynı rengin tonları kullanılmaz, farklı renkler kullanılır.

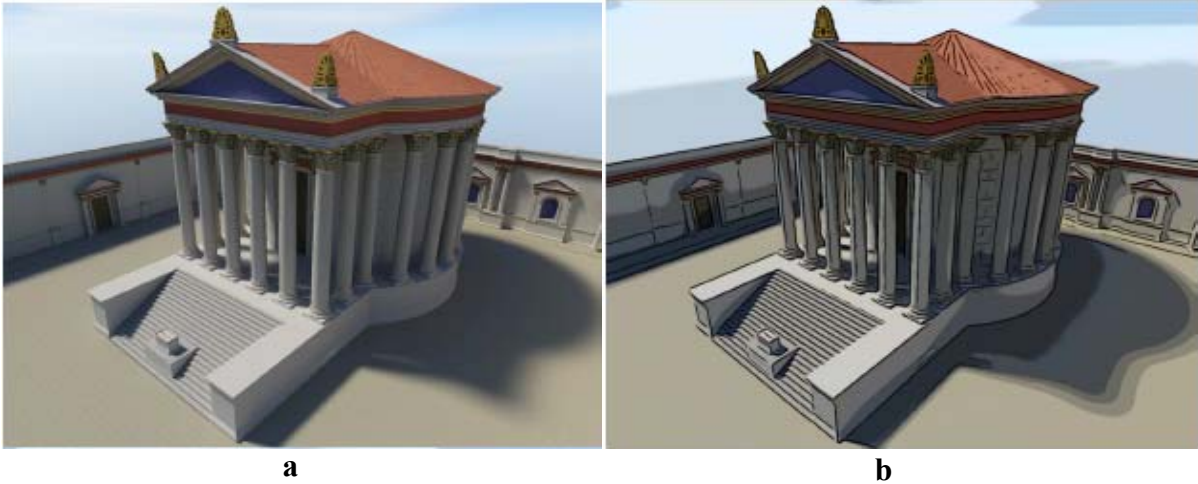
2.3 Tasvirsel Görselleştirme

Fotorealistik olmayan 3B kent modellemesi, fotorealistik yöntemde problem olan bazı özelliklere yeni çözümler getirmiştir. Bu yöntem fotoğraflardaki ayırt edilemeyen veya gereksiz olan detayların ayıklanmasına olanak sağlamaktadır, (Strothotte ve Schlechtweg, 2002). Böylelikle amaca yönelik detaylar gösterilir ve karmaşa önlenmiş olur. Kentsel analitik karar verme, kent bilgi sistemleri, kent ve peyzaj planlama, bilgisayar oyunları gibi

uygulamalarda bu yöntem kullanılmaktadır, (Şekil 4, Şekil 5). Ayrıca mekansal ve coğrafi referanslı bilgilerin algılanması kolaylaştırır. Bu yöntem kartografya, coğrafi bilgi sistemleri, görselleştirme ve görsellik ilkeleri doğrultusunda haritalar, panoramik haritaların ve bunların bütünleştirilmesi ile geliştirilmiştir.



Şekil 4: Tasvirsel görselleştirilmiş 3B kent modeli.



Şekil 5: Mimari bir yapının fotorealistik (a) ve tasvirsel (b) olarak görselleştirilmiş 3B modelleri, (Maass vd, 2008).

2.4 CityGML ve Özellikleri

CityGML, 3B kent modellerine GML dilini kullanarak veri depolama, veri dönüşümü ve veri değişimi için XML-tabanlı ortamların oluşturulmasını sağlar. CityGML, GML ile aynı altyapıdadır ve 3B mekansal veriler için tasarlanmıştır. 3B kent modellerinde mekansal nesnelere ve nesnelere birbiriyle olan ilişkilerini genel bir ortamda birleştirmeyi amaçlar.

Böylelikle farklı uygulamalarda ortak verilerin kullanımına olanak sağlar. 3B mekansal veri değişimi için OGC tarafından belirlenmiş uluslararası ISO TC211 standartları kabul edilmiştir.

CityGML, verileri grafik özelliklerinin yanı sıra, tematik ve anlamsal (semantik) özellikleri ile sınıflandırıp birleştirerek, gösterimini sağlar ve geometrik ve semantik veri modellerine ortam oluşturur. Mekansal nesnelerin geometrik ve topolojik özelliklerinin tutarlı ve homojen olmasına imkan verir. CityGML’de bütün nesnelere CityObject kavramı ile tanımlanmıştır, (Yücel ve Selçuk, 2008).

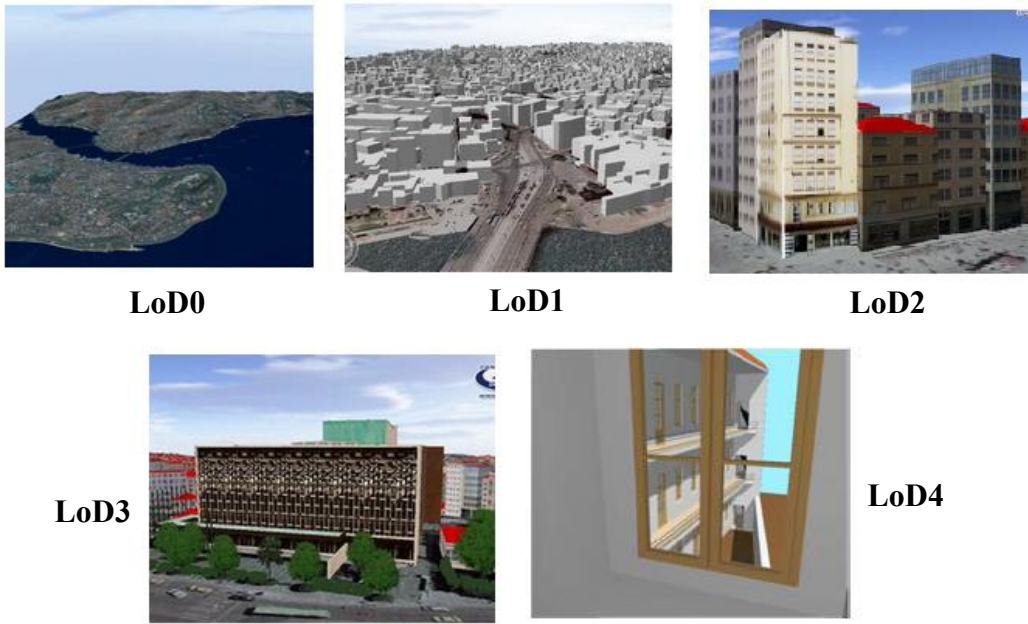
CityGML ortamındaki kent modelleri, sayısal arazi modelleri, binalar, bitkiler, su alanları gibi mekansal nesnelere kapsar. Ağaçlar gibi genellikle farklı ayrıntılarda olan mekansal nesnelere, prototipler olarak modellenip kent modelinin farklı bölgelerinde kullanılabilir. Geometrisi kapalı bir model olarak belirlenmemiş nesnelere (yaya alt geçitleri, uçak hangarları ya da tüneller) hacminin hesaplanabilmesi için ClosureSurfaces özelliğine sahiptir. Bu özellik nesnenin açık bölgesi belirlenip kapatılarak hacmi hesaplanabilir. Arazi arakesit eğrileri (TerrainIntersectionCurve) özelliği ile de binalar gibi arazi yüzeyine bitişik olması gereken nesnelere sayısal arazi modelinde doğru konumlandırılması sağlanır, (Gröger vd., 2006).

2.4.1 Çok Ölçekli Modelleme ve LoD

Bağımsız toplanan farklı verilerin aynı veri tabanlarında depolanması için ayrıntı düzeyleri (LoD) kavramı geliştirilmiştir. LoD ile veri analizi ve görselleştirilmesi işlemleri kolaylaşmaktadır. Günümüzde en son yapılan çalışmalarda ayrıntı düzeyleri kavramı CityGML kapsamında incelenmektedir. CityGML dili ayrıntı düzeyleri kavramına bir standart getirmek için geliştirilmiştir. Bir CityGML veri setinde nesnenin farklı çözünürlükteki görünüşleri dikkate alınarak gösterimi, analizi ve görselleştirilmesi aynı anda farklı ayrıntı düzeylerinde birlikte gerçekleştirilebilir.

CityGML’de LoD0, LoD1, LoD2, LoD3 ve LoD4 adı verilen beş ayrıntı düzeyi tanımlanmıştır. Bunlardan LoD0 ayrıntısını en az olduğu düzeydir ve yalnız 3B arazi modelini

içerir. Model uydu görüntüsü gibi ekstra veriler ile desteklenebilir. Bu düzeyde arazi modeli 3B olmasına rağmen, kent modeli 3B değildir. Çünkü bu düzeyde binalar 3B gösterilmemektedir. Bir üst düzey olan LoD1 ayrıntı düzeyi basit kent modelleme işlemlerinde en çok kullanılan düzeydir. Bu ayrıntı düzeyinde binalar dikdörtgen prizmalar ile çatılar da düz olarak gösterilir. LoD2 ayrıntı düzeyinde ise bina çatı tipleri, bina cephelerinin fotoğrafları ve basit bitki modelleri eklenerek model zenginleştirilir. LoD3 ayrıntı düzeyinde binaların balkonları, duvar ayrıntıları gösterilir. Yüksek çözünürlüklü fotoğraflar bu ayrıntı düzeyinde yapıların dış yüzeylerine yerleştirilebilmektedir. Ayrıca ayrıntılı bitki modelleri ve taşınabilir nesnelere LoD3 modellerinde gösterilir. LoD3 ayrıntı düzeyindeki yapılara, odalar, merdivenler, iç duvarlar, mobilyalar gibi bina içinde bulunan nesnelere eklenmesi ile LoD4 ayrıntı düzeyine ulaşılır, (Şekil 6), (Kolbe, 2007; Yücel ve Selçuk, 2008).



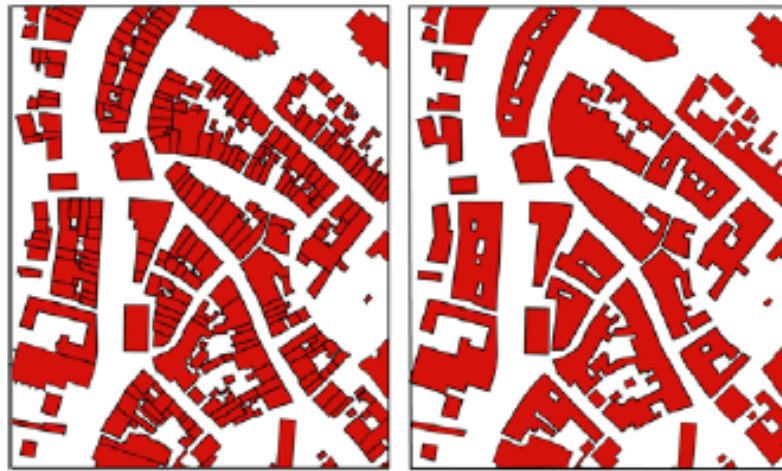
Şekil 6: OGC tarafından 3B kent modelleri için belirlenmiş ayrıntı düzeyleri.

Ayrıntı düzeyleri ile nesne gösterimleri, her düzeyde gösterilebilir en küçük nesne boyutlarına bağlıdır, (Tablo 1). Tablo1’de verilen sayısal değerler kesin değildir; üzerinde tartışılabilir ve uygulamadan uygulamaya farklı olabilir. 3B kent modeli veritabanlarının kalitesinin belirlenmesinde bu beş ayrıntı düzeyi kullanılabilir. Çizelgedeki sınıflandırmalar ile 3B kent modelinin veri tabanındaki veri kalitesinin değerlendirilmesi için kullanılabilir. Ayrıntı düzeylerin sınıflandırılması veri setlerinin karşılaştırılmasına bütünleştirilmesine olanak sağlar, (Gröger vd., 2006).

Tablo1: CityGML’de ayrıntı düzeyleri ve veri çözünürlükleri.

	LoD0	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Modelin kullanıldığı alan	Bölge, İl	Kent, Şehir	İlçe, Mahalle	Mimari modeller (bina dışı)	Mimari modeller (bina içi)
Model çözünürlük düzeyi	Çok düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Mutlak 3B nokta doğruluğu (konum / yükseklik)	LoD1’den daha düşük	5m / 5m	2m / 2m	0.5m / 0.5m	0.2m / 0.2 m
Genelleştirme (konum / yükseklik)	Yoğun genelleştirme	Genelleştirilmiş nesne blokları; > 6mx6m/3m	Genelleştirilmiş nesnelere; > 4mx4m/2m	Gerçek boyutlu nesnelere; > 2mx2m/1m	Yapı elemanları
Yapı donatıları	-	-	-	Dış elemanların gösterimi	İç elemanların gösterimi
Çatı tipleri	-	Düz	Basit yapıda	Basit yapıda	Gerçek görünümde
Çatı çıkıntıları	-	-	Henüz yok	Henüz yok	Var
Dış mekan nesnelere	-	Önemli nesnelere	Prototipler	Prototipler	Gerçek görünümde
Ağaçlar, büyük bitkiler	-	Önemli nesnelere	Prototip (6m den yüksek)	Prototip (2m den yüksek)	Prototip, gerçek görünüm
Bitki örtüsü	-	>50mx50m	>5mx5m	< LoD2	<LoD2

Büyük alanı kapsayan ve binaların değişik geometrilerde olduğu 3B kent modellerinde, veri gösteriminin daha hızlı olması için bina sınırlarında basitleştirme ve birleştirme gibi genelleştirme işleminin yapılmasını gerektirmektedir, (Şekil 7). Basitleştirme ve birleştirme işlemlerinde genelleştirme kriterleri uygulamadan uygulamaya farklılık gösterebilmektedir, (Andreas, 2005).



Şekil 7: Bina sınırlarına basitleştirme ve birleştirme işleminin uygulanması.

Kartografik çalışmalarda gösterimler ister 2B ister 3B olsun önemli olan nesnelerin vurgulanması için genelleştirme işlemlerine gerek duyulmaktadır, (Şekil 8). 3B kent modellerinde grafik değişkenlerin ve tasarımın modele en iyi şekilde yansiyabilmesi için eleman tabanlı (element based) yapı oluşturulmalı ve eleman tabanlı vurgu yapılmalıdır. Eleman tabanlı yapı ölçeğe ve veri hassasiyetine bağlı değişkenlerin belirlenmesini gerektirir, (Jobst vd., 2008)



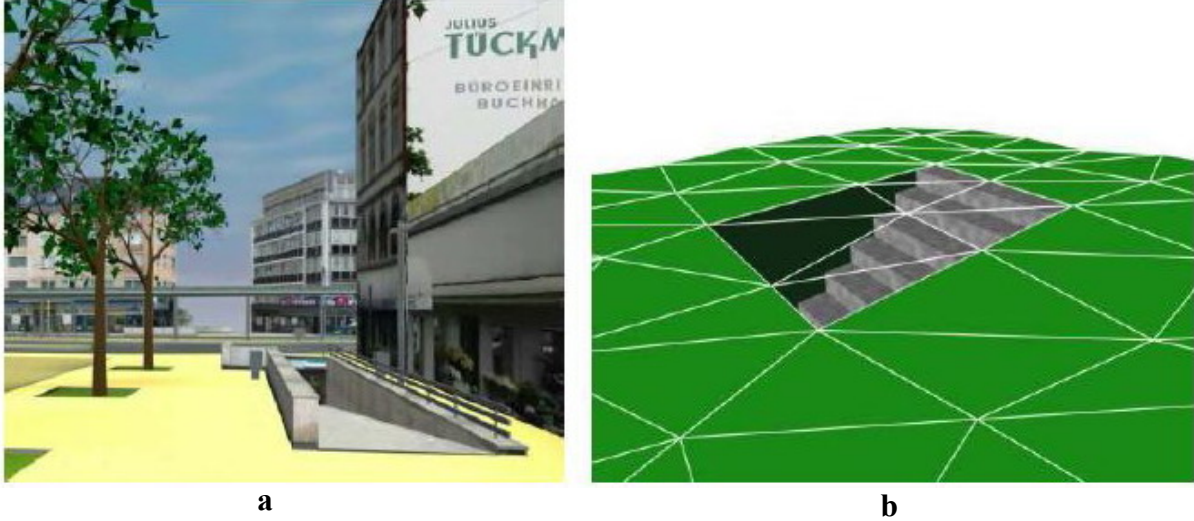
Şekil 8: Genelleştirilmiş 3B kent modeli.

2.4.2 Kapalı Yüzeyler

Yaya altgeçitleri ve uçak hangarları gibi hacimsel bir geometri ile modellenmemiş nesnelerin hacimlerinin hesaplanabilmesi için kapalı hale getirilmeleri gerekir. Bu gibi yerler kapalı yüzeyler (ClosureSurfaces) özelliği ile kapatılabilmektedir. Kapalı yüzeyler, hesaplanabilen özel yüzeylerdir, değişik durumlarda hacimsel olarak dikkate alınmazlar veya alınmazlar. Örneğin, bir yolun görselleştirildiği uygulamada bir alt geçidin yalnız girişi önemlidir, yolun alt kısmında kalan kısmı dikkate alınmaz.

Kapalı yüzeyler özelliği ile aynı zamanda, yüzey altındaki nesnelere ve yapılar da modellenmektedir. Yaya altgeçitleri, tüneller gibi yüzey altında kalan yapıların hacminin hesaplanmasına gerek duyulan sel baskınları gibi simülasyonların oluşturulmasında kapalı nesnelere olarak modellenmelidir. Böylelikle doğru gösterim ve modellerin oluşması gerçekleştirilmiş olur. Yüzey altında kalan yapıların girişleri sayısal arazi modelinde delikler

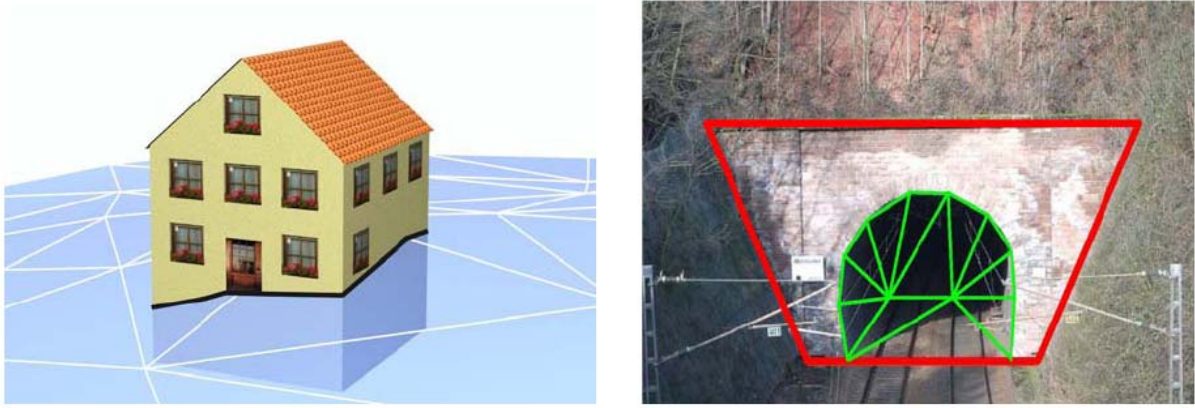
oluşturmaktadır, (Gröger vd., 2006). Arazi yüzeyi hesaplamalarının doğru olması için, bu delikler modelin görüntüsü bozulmayacak şekilde kapatılmalıdır, (Şekil 9). Buna karşın yakın plan görselleştirmelerde bu tür girişler açık olmalıdır.



Şekil 9: Yaya alt geçidi (a), Girişi kapalı bir yüzeyle kapatılmış alt geçit (b).

2.4.3 Arazi Arakesit Eğrisi

3B kent modellemede dikkate değer noktalardan biri de binaların arazi ile bütünleştirilmesidir. Bu konudaki en önemli sorun binaların zeminin üzerinde havada kalmaları veya zemine fazla gömülmeleridir. Binalar zemine tam olarak oturtulmalıdır. Bu durum özellikle bina ve arazi verileri farklı ayrıntı düzeyindeki veri tabanlarından gelmiyorsa veya veriler farklı üreticiler tarafından üretilmişse, ortaya çıkmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için oluşturulan bir binanın arazi arakesit eğrisi (Terrain Intersection Curve: TIC) belirlenmelidir. Bu eğri, binanın tabanının arazi yüzeyi ile olan ara kesitidir ve bina sınırı boyunca kesin temas yüzeyini belirler, (Kolbe, 2007), (Şekil 10). Bina sınırı bir veya birden fazla kapalı alan ile gösterilebilir. Eğer binanın, bir avlusu varsa, TIC iki kapalı alan ile bina sınırını oluşturur: Parsel sınırı bir kapalı alan, binanın sınırı da diğer bir kapalı alandır. Sınırlar belirlendikten sonra bina yukarı, ya da aşağıya çekilerek araziye temas yüzeyi belirlenir ve arazi arakesit çizgi oluşturulur, (Kolbe ve Gröger, 2003). Böylelikle binanın arazi modeli üzerinde doğru olarak yerleştirilmesi sağlanır. Arazi ile olan arakesit ayrıntı düzeyine bağlı olarak da değişik olabilir. Bir bina sınırı her ayrıntı düzeyinde farklı arazi ara kesit eğrisiyle belirlenebilir.



Şekil 10: Bir binanın ve tünelin arazi ile olan arakesit çizgileri.

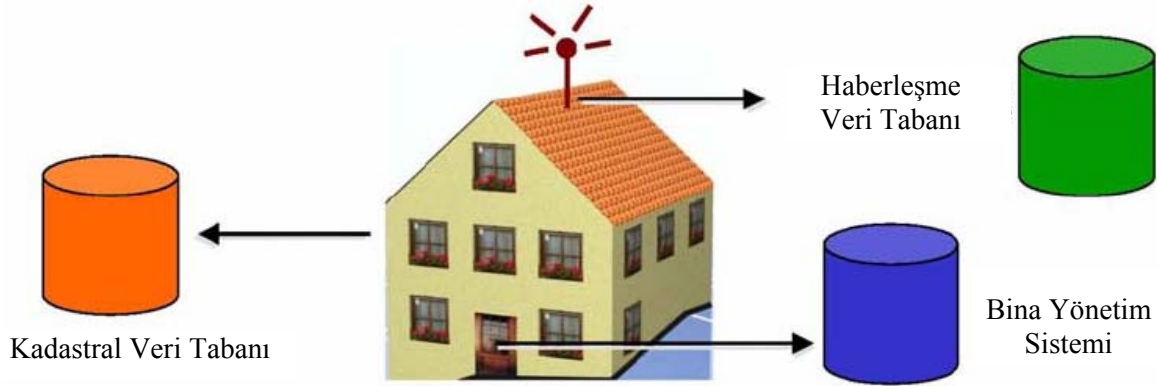
2.4.4 Öznitelikler için Kod Listeleri ve Sözlükler

Nesnelerin sınıflandırması genellikle belirli bir aralıktaki değerlerle sınırlıdır. Örnek olarak çatı türleri verilebilir; çadır şeklinde olan çatılar, üçgen çatılar, tonoz çatılar, düz çatılar. Veritabanında eğer aynı öznitelikler farklı isimler kullanılarak yazılırsa veya bazılarında yazım yanlışları olursa, birlikte işlerlik açısından sorunlar ortaya çıkar. CityGML’de özniteliklerin sınıflandırılması, kod listeleri ve GML sözlükleri ile gerçekleştirilmektedir, (Cox vd., 2004). Her nesne için verilen öznitelikler kontrol edilerek belirtilen standartlarda olması sağlanır. Ayrıca öznitelik değerlerinin diğer dillere de kolaylıkla çevrilip standart oluşturulması olanaklıdır. Sözlükler ve kod listeleri genişletilebilir veya kullanıcılar tarafından tekrar tanımlanabilir. Aynı zamanda var olan modellere kaynak oluşturabilir.

2.4.5 Dış Kaynaklar

3B nesnelere genellikle diğer veri tabanları ya da veri setlerinden türetilirler veya bu veri tabanları, ya da veri setleri ile ilişkilidirler. Örneğin 3B bir bina 2B bir kadastral haritadan veya var olan bir mimari bina modelinden alınarak, 3B kent modeline eklenebilir. Oluşturulan 3B nesne, kaynağı olan veri ile sürekli iletişim halinde olmalıdır. Çünkü kaynak veride yapılan güncelleştirmelerin modele aktarılabilmesi için bu iletişimin olması gereklidir. Örneğin, bir kadastral bilgi sisteminde bir binanın sahibinin isimi ve adresi veya bir bina bilgi sisteminde kapılar ve antenler v.b. nesnelere ilgili bilgiler güncel olmalıdır. Güncelliğin

sağlanması için, modeldeki her bir nesnenin dış veri setlerindeki ilgili veriler ile bağlantısının kopmaması gerekmektedir. Böyle bir sistem, nesnenin benzersiz olarak tanımlanabileceği dış kaynak bilgi sistemi ile gerçekleştirilebilir, (Şekil 11). Bu sisteme düzenli kaynak tanımlayıcı (URI) denmektedir ve internetteki herhangi bir kaynaktan gelen verinin belirli standartlar çerçevesinde düzenlenmesini sağlar.

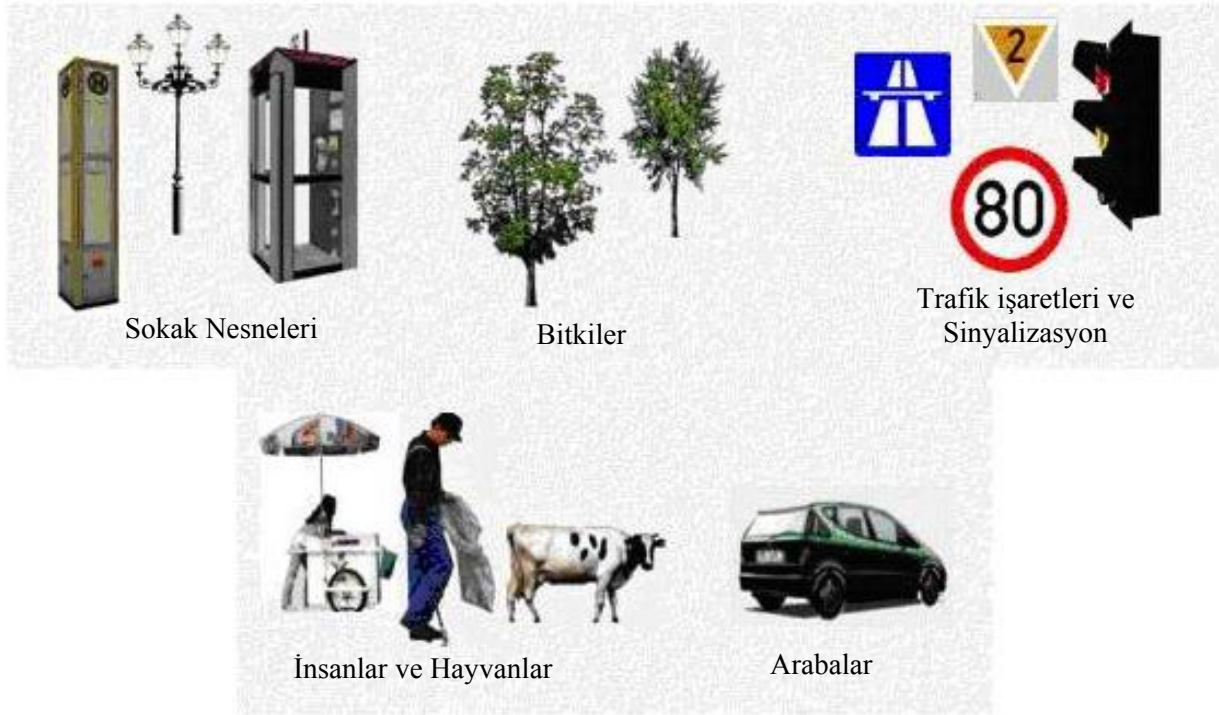


Şekil 11: Dış kaynaklar, (Gröger vd., 2006).

2.4.6 Kentsel Nesne Grupları ve Prototip Nesneler

Gruplandırma işlemi, kullanıcı tarafından belirlenen ölçütlere göre kent nesnelerinin gruplanmasını ve modelde bu şekilde gösterilmesini sağlar. Bir nesne grubu bir veya birden fazla isim ile adlandırılmış, hatta özel özniteliklerle sınıflandırılmış, olabilir. Örneğin, 1907 nolu binadaki 17 nolu odanın yangın çıkış güzergahı belirlenirken, bu işlem kaçış güzergahı olarak adlandırılabilir. Gruplandırma işlemi yaparken bu tip hataların yapılmamasına dikkat edilmelidir. Yüzey malzemeleri ve dokuları hakkındaki bilgiler gerçek 3B kent modelinin gerekli bir parçasıdır, (Gröger vd., 2006). GML arazi yüzeyi ile ilgili doku ve yüzey kaplaması özelliklerini içermezken CityGML’de bu tür özellikler bulunmaktadır.

Ağaçlar ve diğer bitki türleri, trafik ışıkları ve trafik işaretleri gibi nesneler prototipler olarak hazırlanarak tekrar tekrar kullanılabilir, (Şekil 12). Prototiplerin geometrisi yerel koordinat sistemleri ile tanımlanmıştır. Her örnek, prototipte bir referans ile gösterilir. Bu sistemlerde coğrafi koordinatlar ile çalışılır. Ölçek, dönüklük ve dönüşümler bir dönüşüm matrisi ile prototipe aktarılır.



Şekil 12: Prototip nesne örnekleri.

3. SONUÇLAR

3B kent modelleri coğrafi bilgilerin gösteriminde kullanılan önemli unsurlardan birisidir. Kentsel karar verme, durum belirleme ve projelendirme işlemlerine altlık oluşturmakta ve ön kestirimlerin yapılmasına ve doğru hedeflere ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Gelişmekte olan 3B modelleme teknolojileri ile yalnız grafik görüntülerden oluşan klasik 3B kent modelleri geliştirilerek karmaşık yapıdaki semantik kentsel bilgilerin de 3B modellenbildiği yazılımlar üretilmiştir. Farklı amaçlar için yapılan çalışmalarda farklı ayrıntı düzeylerinde mekansal verilere gereksinim duyulmaktadır. Ayrıntı düzeyleri kavramı 3B kent modellemede önemli bir yere sahiptir ve farklı verilerin ortak kullanımını sağlamaktadır.

Değişik mekansal veri tabanları farklı özellikte mekansal verileri içerebilir. Bu farklılık veri toplama amacı, ölçeği, çözünürlüğü, gösteriminde kullanılacak projeksiyon ve verisi toplanan nesnelerin özellikleri gibi unsurlara bağlıdır. 3B kent modeli oluşturulurken

kullanılan mekansal verilerin bu unsurlar ile ilgili özellikleri önemlidir. Örneğin, farklı çözünürlükte toplanmış veriler bütünleştirilirken ve analiz edilirken en düşük çözünürlükte olan veri çözünürlüğü üzerinden değerlendirme yapılır. 3B kent modeli oluşturulurken kullanılan verilerin kalitesi ve özellikleri, oluşturulan modelin kalitesini doğrudan etkiler. Fotorealistik olarak en iyi modellerin oluşturulması için bina ve arazi modellerine ilişkin fotoğraflar yüksek çözünürlüklü olmalıdır. Modelde kullanılan vektör veriler en yüksek ayrıntı düzeyi için yeterli doğruluk ve çözünürlükte olmalıdır. Daha düşük ayrıntı düzeyleri için bu veriler her ayrıntı düzeyi için önerilen ayrıntı düzeyine genelleştirme işlemi ile dönüştürülmelidir.

Son yıllarda standartların oluşması için OGC tarafından CityGML modelleme dilinde çalışmalar sürdürülmektedir. CityGML ile 3B kent modellerinde kullanılan verilerin paylaşımının kolay olması için veri biçimlerine standartlar getirilmiştir. Ancak bu standartlar günümüzde sınırlı miktardadır ve genişletilerek detaylandırılmalıdır. Ayrıca, CityGML 3B sayısal arazi modellerine, 3B bina modellerine ve 3B şehir nesnelere modelleme kolaylıkları sağlamaktadır. Nesne bazında 3B standartların geliştirilmesi farklı kent modellerinin aynı standartlarda olmasını ve birbirleri arasında veri paylaşımını ve bütünleştirilmesini olanaklı kılacaktır. Ayrıntı düzeyleri farklı veri setlerindeki verilerin 3B kent modellerinde birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle 3B kent modellemeye yönelik standartların kapsamının genişletilerek kesinleştirilmesi faydalı olacaktır.

4. KAYNAKLAR

Anders, K. H., (2005), “Level of Detail Generation of 3D Building Groups by Aggregation and Typification”, *Proceedings of 22st International Cartographic Conference*, La Coruna, Spain.

Beck, M., (2003), “Real-time Visualization of Big 3D City Models”, *International Archives of The Photogrammetry Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV-5/W10.

Cox, S., Daisy, P., Lake, R., Portele, C., and Whiteside, A., (2004), “OpenGIS Geography Markup Language (GML 3.1), Implementation Specification Version 3.1.0”, *Recommendation Paper OGC Doc. No. 03-105r1*.

Döllner, J., Baumann, K., and Buchholz, H., (2006), “Virtual 3D City Models as Foundation of Complex Urban Information Spaces”, *CORP 2006 & Geomultimedia06*, Vienna, Feb. 13-16.

Döllner, J., and Buchholz, H., (2005), “Continuous Level-of-Detail Modeling of Buildings in 3D City Models”, *Proceedings of ACM GIS 2005*, pp. 173-181.

Förstner, W., (1999), “3D City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods”, *Proceedings Photogrammetric Week*, University of Stuttgart, pp. 291-303.

Gröger, T, Kolbe, T.H., and Czerwinski, A., (2006), “Oveview of CityGML”, *In: Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification*, Open Geospatial Consortium, Inc., 11-15.

Jobst, M., Kyprianidis, J. E., and Döllner, J., (2008), “Mechanisms on Graphical Core Variables in the Design of Cartographic 3D City Presentations”, *Geospatial Vision-New Dimensions in Cartography*, Selected Papers from the 4th National Cartographic Conference GeoCart'2008, New Zealand, pp.45-59.

Kolbe T., Gröger G., ve Plümer, L. (2007), “CityGML - Interoperable Access to 3D City Models”, *In: Proceedings of the Int. Symposium on Geoinformation for Disaster*

- Management*, Eds: Oosterom, P., Zlatanova, S., Fendel, E. M., 21-23 March , Delft, Springer.
- Kolbe, T. H., Gröger, G., and Plümer, L. (2005), “CityGML - Interoperable Access to 3D City Models”, In: *Proceedings of The First International Symposium on Geo-Information for Disaster Management*, Springer, Verlag.
- Kolbe T. H., and Gröger G., (2003), “Towards unified 3D City Models”, In: Schiewe, J., Hahn, M., Madden, M., Sester, M. (eds): *Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II. Proc. of Joint ISPRS Work-shop*, Stuttgart.
- Maass, S., Trapp M., Kyprianidis, J.E., Döllner, J., Eichhorn, M., Pokorski, R., Bäuerlein, J., and v.Hesberg, H., (2008), “Techniques for The Interactive Exploration of High-Detail 3D Building Reconstructions Using The Example of Roman Cologne”, *VSMM 2008 - Conference on Virtual Systems and MultiMedia Dedicated to Digital Heritage*, Limassol, South Cyprus.
- Müller, W., and Schumann, H., (2002), “Visual Data Mining”, *NORSIGD Info 2/2002*, November 2002, pp. 4-7, 2002.
- Ribarsky, W., Wasilewski, T., and Faust N., (2002), “From Urban Terrain Models to Visible Cities”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(4):10-15.
- Strothotte, T., and Schlechtweg, S., (2002), “Non-Photorealistic Computer Graphics: Modeling, Rendering and Animation”, *Morgan Kaufman*.
- Willmott, J., Wright, L.I., Arnold, D.B., and Day, A.M., (2001), “Rendering of Large and Complex Urban Environments for Real-Time Heritage Reconstructions”, *Proceedings of the Conference on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage*, pp. 111-120, ACM Press.
- Yücel, M.A. ve Selçuk, M., (2008), “3D City Modeling through CityGML”, *International 18th Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields*, 6-7 November, Sofia, Bulgaria.