

Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı

Mehmet Ali YÜCEL¹, Mehmet SELÇUK²

Özet

Kartografya mekansal verilerin elde edilmesi, düzenlenmesi ve gösteriminde geçmişten günümüze önemli ve vazgeçilmez bir yere sahiptir. 3B (3 Boyutlu) gösterimler bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerden sonra popüler hale gelmiştir. 3B kent modelleri değişik alanlarda kullanılmakta, gün geçtikçe buna duyulan ihtiyaç artmaktadır. Teknolojinin katkısı ile büyük bölgelere ait gerçeğe en yakın 3B kent modellerinin oluşturulmasına olanak sağlayan yazılımlar üretilmiştir. Yeni kent bilgi sistemlerinde semantik verilerin 3B gösterimi, büyük veri setlerinin etkileşimli olarak CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ile ilişkilendirilmesi ve 3B gösterimi mümkün olmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş olan yeni yöntemler, veri azaltma, ayrıntı düzeyi (Level of Detail: LoD) ile modelleme, akıcı işlem sağlama ve 3B kent modeli ile CBS arasında ilişki kurma özelliklerine sahiptir. 3B kent modellerinin eşzamanlı olarak görselleştirilmesi, binaların farklı ayrıntı düzeyleri ile modellenmesini gerektirmektedir. Bu makalede 3B kent modeli oluşturulurken, amaca yönelik görselleştirme yapılmasının önemine değinilmiştir. Bunun için geliştirilmiş görselleştirme yöntemleri incelenmiştir. Ayrıntı düzeyleri ile 3B kent modeli oluşturulmasında kullanılan veri türleri ve ayrıntı düzeylerinin 3B kent modellemeye katkısı anlatılmıştır. Sonuçlar kısmında ise ülkemizde mevcut verilerin ayrıntı düzeyleri ile 3B kent modelleme açısından eksik yanları vurgulanarak bu alanda bundan sonra yapılması gereken çalışmalara değinilmiştir.

Anahtar Sözcükler

3B kent modelleme, ayrıntı düzeyi (LoD), kartografya, 3B coğrafi bilgi sistemi (CBS), mekansal veri.

Abstract:

Level of Detail (LoD) Concept in Three Dimensional City Modeling

Cartography has had, and continues to have, important and indispensable roles in spatial data acquisition, processing, and visualization. The developments in computer technology have made 3D representations more popular tools for visualizing information. The need for 3D city models is growing rapidly and the applications of those models are appearing in a variety of fields in recent years. In parallel to technological developments, new and complicated softwares have been created. The newly developed 3D urban information systems use semantic data, provide transmission and reception of a great amount of urban information with interactive manipulation of detailed 3D city models linked with GIS (Geographic Information System). New techniques have been developed for GIS, including reduction of data, level of detail (LoD) modeling and streaming, and linking between 3D city model and GIS. The real-time visualization of 3D city models requires the representation of the buildings in

different levels of detail (LoDs). This article stresses the importance of purpose-oriented visualization. Therefore, related visualization approaches are examined. Data types used in creating 3D city models of different LoDs and the contribution of LoD concept in this respect are described. The conclusion section of this paper explains the future works to be carried out by emphasizing the limitations of the data from 3D city modeling using different LoDs.

Key Words:

3D city modeling, level of detail (LoD), cartography, 3D geographic information system (GIS), spatial data.

1. Giriş

Bilgisayar teknolojisi alanındaki gelişmeler her geçen gün haritalara yeni özellikler kazandırmakta ve özellikle sayısal haritalar giderek gelişmektedir. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ve bilgisayar destekli kartografya, haritalara olan ilgiyi artırmış ve haritalara yeni özellikler katmıştır. Sayısal haritalar yalnızca mekansal verilerin grafik olarak gösterildiği ürünler değil, verilerin düzenlenebildiği, sorgulanabildiği, analiz edilebildiği, 3B (3 Boyutlu) olarak modellenabildiği ürünlerdir. Haritanın yapımında geometri, kartografik gösterim ve iletişim özellikleri kadar estetik sunum özelliklerinin olması da önemlidir. Estetik sunum ile renkler arasındaki uyum, kontrast, desen gibi özelliklerin doğru ve olumlu kullanımı ile harita kullanıcılarında doğru algılamının ve etkinin uyandırılması hedeflenir.

Günümüzde veri tabanlarında analitik ve mantıksal sorgulama olanakları ile kullanıcılara harita okuma ve görsel algılama açısından kolaylıklar sağlansa da bazı eksiklikler bulunmaktadır. Harita kullanıcıları, genellikle haritanın tamamını görmeden, içerik ve mekansal bilgiler arasındaki ilişkinin ne olduğuna karar verememektedir. mekansal bilginin haritada doğru gösterimi, görselleştirme ile doğrudan ilişkilidir. Kartografik görselleştirme, kartografik kuralların yanı sıra kartografik tecrübeye de bağlıdır. Ancak bu kuralın teknolojiye paralel olarak geliştirilmesi günümüzde zorunluluk haline gelmiştir.

Mekansal bilgilerin 3B olarak gösterilmesi ile mekansal içeriği kavrama ve algılama daha kolaylaşmaktadır. Haritalarda üçüncü boyutun gösterimi, tarama, yükseklik eğrileri, gölgelendirme ve yükseklik eğrileri ile gölgelendirmenin bütünleştirilmesi gibi yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Bunlardan tarama yöntemi, üçüncü boyutun basılı haritalarda gösterimi için kullanılan ve kısmen matematik ve geometrik temelli olan yöntemlerden ilkidir ve günümüzde pek kullanılmamaktadır. Gelişmeler doğrultusunda tarama

¹ Arş. Gör. Dr.,

² Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul

yönteminin yerini gölgelendirme ve daha sonra, matematik ve geometrik açıdan eksiksiz kabul edilen yükseklik eğrileri yöntemi almıştır. Gölgelendirme ve yükseklik eğrileri yöntemlerinin ayrı ayrı veya beraber kullanımı günümüzde sık olarak görülmektedir. 2B düzlemde bulunan ve yükseklik bilgilerini de içeren bu tür ürünlere 2.5B (2.5 boyutlu) haritalar denmektedir. 3B kabartma haritalar gerçek anlamda 3B mekansal ürünlerdir ve 3B mekansal modellemenin temelini oluştururlar. Günümüzde bilgisayar ortamında üçüncü boyutun olabildiğince gerçekçi olarak gösterimi için çalışmalar sürmektedir.

Kent modellemede planlama süreci, değişik bilim dallarından kişilerin bir araya gelip ortak çalışmalarını gerektirmektedir. Sanal ortamlar kent modellemede kullanılan bir araçtır ve çalışmalara kolaylık sağlamaktadır. Büyük bölgeler için 3B kent modellerinin oluşturulması ve gösterimi zordur. Verilerin artması, veriler üzerinde düzenleme yapmayı ve gösteriminin hızlı olmasını engellemektedir. Günümüzde bu sorun, modellemenin amaca yönelik olarak farklı ayrıntı düzeylerinde (LoD: Level of Detail) yapılması ile giderilmektedir. Ayrıntı düzeyleri ile, karmaşık yapı ve büyük kapasiteli olan 3B kent modelleri arasında iletişim, paylaşım ve gösterim daha hızlı yapılabilmektedir.

2. 3B Kent Modelleri

3B kent modelleri, genellikle gelecek ile ilgili olarak, şehir verileri üzerinde keşif, analiz, sentez gibi kestirimleri yapmak için kullanılmaktadır. 3B kent modellerinin en önemli özelliklerinden biri de farklı mekansal bilgileri aynı ortamda bütünleştirerek, karmaşık kent modellerini oluşturup farklı amaçlar için kullanımını sağlamaktır. Bu konuda yapılan uygulamalar ve sistemlerde amaç, 3B kent modelleri ile kent planlama ve geliştirme, tesis yönetimi, lojistik, güvenlik, haberleşme, afet yönetimi, konumsal hizmetler, taşınmaz mal işlemleri, eğitim ve eğlence hizmetleri gibi temel sistem elemanlarının bütünleştirilmesidir. Bu özellikler nedeniyle 3B kent modellerinin çok sayıda etkin kullanıcı grubu ve etkili kullanım alanı vardır.

3B kent modellerine olan gereksinimler uygulama çeşitlerine göre farklılık göstermektedir. İnşaat, turizm, eğlence, halka açık alanlar gibi konuları kapsayan uygulamalarda yüksek derecede fotoğraflık görselliğe gereksinim duyulmaktadır (Şekil 1-a). Turizme yönelik uygulamalar buna örnek olarak verilebilir.

Diğer yandan analiz ve keşfe yönelik uygulamalarda binaların detaylı olarak gösterilmesine gerek duyulmamaktadır. Bu tür uygulamalarda genellikle tematik bilgiler gösterilmektedir. Örneğin binaların depreme karşı olan dayanıklılığının gösterildiği bir 3B kent modelinde, binaların basit 3B geometrik şekiller ile gerçek yüksekliklerinde gösterilmesi yeterlidir. Şekil 1-b'deki örnekte açık renk gösterimler yıkılma riskin az olduğu binaları, koyu renk gösterimler ise yıkılma riskin fazla olduğu binaları göstermektedir.



Şekil 1-a: Turizm amacı için yapılmış 3B kent modeli örneği (DÖLLNER vd. 2006).



Şekil 1-b: Binaların depreme karşı dayanıklılığını gösteren 3B kent modeli örneği (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 yapımına olanak sağlayan yazılım sayısı oldukça azdır.

2.1. 3B Kent Modellerinde Kullanılan Veri Türleri

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

- **Kadastral Veriler:** Kadastral veritabanları bina arsa, tarla sınırlarını, adres, iyelik vb., bilgileri içermektedir. Bu bilgilerin doğruluğu devlet güvencesi altındadır. Ülkemizde yeteri kadar 3B bina verileri bulunmamaktadır. 2B kadastral veriler ise yeteri kadar mevcuttur. 2B veriler 3B kent modellemede bazı ayrıntı düzeyleri için yeterli ve uygun iken bazıları için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerle kadastral veritabanları 3B verileri içermemelerine rağmen 3B kent modellemede önemli bir altlık oluşturmaktadır.

2B kadastral verilerden 3B bina modellerinin oluşturulması, bina sınırlarının gerçek yükseklikleri kadar yüksekliğe kaldırılması ile gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde büyük şehir belediyeleri 3B bina verisi toplama amaçlı yeni çalışmalar başlatmıştır. Bu çalışmaların sonuçlanmasından sonra daha gerçekçi 3B kent modellerinin oluşturulması için gerekli veri altyapısı sağlanmış olacaktır.

- **3B Sayısal Arazi Modelleri (SAM):** SAM'ın temelini sayısal yükseklik modelleri (SYM) oluşturmaktadır. SYM yalnız çıplak arazi topografyasını 3B olarak gösteren modellerdir. SYM'ler yükseklik bilgilerini içeren vektör veya grid veriler ile ya da LIDAR yöntemi ile elde edilmiş 3B nokta veriler kullanılarak oluşturulabilir. SYM'ye bina, yollar, bitki örtüsü vb., ekstra bilgilerin 2B veya 3B olarak eklenmesi ile SAM elde edilmektedir. Ortofotolar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri veya raster haritalar, SAM'larda yüzey kaplamaları olarak kullanılmaktadır. SAM'lara 3B nesnelerin (binalar, bitkiler, cadde ve sokak nesnelere vb.) eklenmesi ile 3B kent modelleri elde edilmektedir. Bu nedenle SAM'lar, 3B kent modellerindeki bütün 3B geometrik nesnelere için referans yüzeylerdir. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, ortofotolar ve raster haritalar ise fotorealistik görselleştirmede, arazi yüzeylerinin ve bina çatı dokularının çatı yüzeylerine eklenmesinde kullanılan önemli veri kaynaklarıdır.
- **3B Bina Modelleri:** 3B bina modelleri yersel veya havadan lazer tarama, fotogrametrik yöntemler ve yersel ölçmelere dayanan jeodezik yöntemler ile elde edilen verilerden türetilmektedir. 3B Binalar çeşitli ayrıntı düzeyleri ile gösterilebilir. Bu düzeyler; blok modeller (LoD-1), geometrik modeller (LoD-2), mimari modeller (LoD-3) ve ayrıntılı iç mekan nesnelere de içeren 3B bina modelleridir (LoD-4). Binaların detaylı olarak gösterimine olan gereksinimin artması, bina ayrıntı düzeylerinin önemini arttırmıştır. (DÖLLNER ve BUCHHOLZ 2005).
- **Mimari Modeller:** Tarihi yapılardan oluşan bölgelerdeki 3B kent modeli uygulamalarında, basit gösterimli 3B bina modelleri ile 3B mimari modeller birleştirilmektedir. Bu modeller genellikle binaların dış görünümünün yanı sıra bina içi nesnelere ve dış mekan (cadde ve sokak) nesnelere de ayrıntılı olarak göstermektedir.

3B kent modelleme ile ilgili oluşturulmuş kapsamlı kullarlar henüz bulunmamaktadır. Bu konuda 3B bina veri paylaşımını kolaylaştırmak için ilk standartlar CityGML (City Geography Markup Language) modelleme dili kapsamında OGC (Open Geospatial Consortium) tarafından aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

- 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 parsel ve 2B bina sınırlarını ve binaların yükseklik bilgilerini içeren 2B CBS verileri için ESRI Shape dosya biçiminin kullanılması,
- Bina sınırları arasındaki geometrik ilişkileri (topoloji) içeren veriler için ESRI Shape dosya biçiminin kullanılması.

3B kent modelleri yukarıdaki mekansal verilerden başka klasik 2B coğrafi referanslı (toprak kullanım bilgisi vb.) raster

ve vektör veri kaynaklarını (yol ağlarını, toplu ulaşım ağları) da içerir. Bu veriler 3B sayısal arazi modelleri üzerine raster veya vektör tabakası olarak eklenebilmektedir. Böylelikle 3B kent modellerinin görsel zenginliği arttırılmaktadır.

Karmaşık yapıdaki bölgelere ait tematik ve coğrafi bilgilerin 3B kent modeli ile bütünleştirilmesi, modelin geometrik özelliklerine bağlıdır. Örneğin emlakçılığa yönelik bir 3B kent modeli, binaların boş olup olmaması, yapılış yılı, kirası gibi bilgileri de içermelidir. Bu tematik bilgiler, binaların dış görünümünün (bina cephe renkleri, çatı renkleri ve çatı şekilleri vb.) farklı gösterilmesi ile görsel hale getirilebilir.

2.2. Fotorealistik Görselleştirme

Gerçekçi gösterimlere gereksinim duyulan uygulamalarda, yüksek derecede fotorealizm (fotoğrafik destek) gerekmektedir. Örneğin Taksim ve Sultanahmet Meydanı gibi tarihi eserlerin ve turistik tesislerin 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, model üzerinde incelediğinde tarihi dokuyu en iyi şekilde algılayabilmek için seçimini yapmalıdır. Fotorealistik görselleştirmede, nesnelere detaylı olarak gösterilmesi önemlidir. Detay miktarı arttıkça modelin cazibesi de artmaktadır. Karmaşık yapı bölgelerinin sanal ortamlarda geometrik ve dokusal olarak modellenmesi zordur ve gelişmiş 3B modelleme özellikleri olan yazılımlarla gerçekleştirilebilmektedir.

Fotorealistik gösterimin kapsamını genişletmek için günümüzde kullanılan güncel yazılımlar bitkilerden oluşan 3B özel kütüphanelere sahiptir. Bitkiler modellenmesi zor olan nesnelere ve bitkilerin değişik açılardan görüntülerinin ve yaprak dokularına ait bilgilerin bilinmesini gerektirmektedir. Gerçekçi gösterimler için iyi modellenmiş 3B bitki modellerinin kullanılması gereklidir. Buna karşın iyi modellenmiş 3B bitki modelleri çok fazla yüzeyden oluşmaktadır ve 3B kent modellerinde kullanımı yüksek kapasiteli bilgisayarlar ile olanaklıdır. İnsanın görsel algılama yeteneğinin çok yüksek olması nedeniyle bitkilerin ayırt edici özelliklerinin korunması gerekmektedir. Bu sebepler 3B bitki modelleri için de LoD gereksinimini kaçınılmaz kılmaktadır.

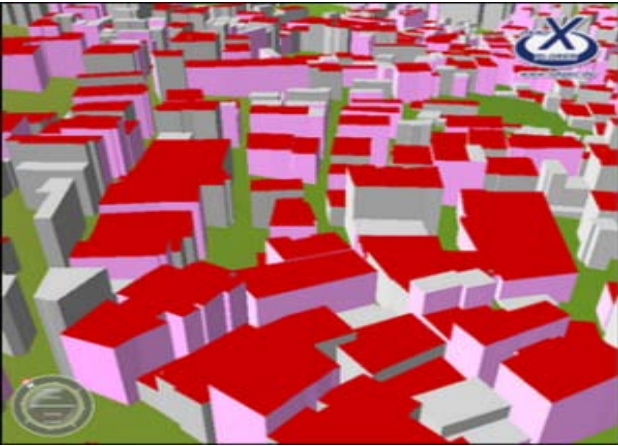


Şekil 2: Fotorealistik olarak görselleştirilmiş 3B kent modeli örneği (Atatürk Kültür Merkezi - Taksim)

2.3. 3B Tematik Görselleştirme

Tematik verilerin gösterimi ile ilgili uygulamalarda, binaların detaylı olarak gösterimi gerekli değildir. Harita yapımında olduğu gibi 3B kent modellemesinde de amaç önemlidir. Modelin ayrıntı düzeyi modelin yapılış amacına uygun olmalıdır. Ayrıca detaylı gösterimler bilgisayar ortamındaki işlemlerin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu nedenle tematik verilerin 3B kent modellerinde gösteriminde binalar 3B basit geometrik şekiller ile gösterilir (Şekil 3).

Doğal gaz, elektrik, su kullanımı, bina kat adetlerinin kent modeli üzerinde gösterimi gibi uygulamalar, 3B tematik görselleştirme işlemine örnek olarak verilebilir. Tematik verilerin gösteriminde, tematik kartografya ile ilgili kurallara uyulmalıdır. Örneğin model üzerinde yarım ton renk tonları ile gösterilen nicel (sayısal) verilerde aynı veriler için hep aynı renk ton değerleri kullanılmalıdır. Sel baskını durumunda, risk altında olan bölgelerin gösterimi buna örnek olabilir. Sel riski az olduğu bölgeler açık renk tonları ile, riskin daha fazla olduğu bölgeler ise aynı rengin daha koyu tonları ile gösterilmelidir. 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 farklı renklerin kullanılması gereklidir.



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

2.4. Tasvirsel Görselleştirme

Fotorealistik olmayan 3B kent modelleme, fotorealistik yöntemde problem olan bazı özelliklere yeni çözümler getirmiştir. Bu yöntem fotoğraflardaki ayırt edilemeyen veya gereksiz olan detayların ayıklanmasına olanak sağlamaktadır. Böylelikle amaca yönelik detaylar gösterilir ve karmaşa önlenmiş olur (Şekil 4-a ve Şekil 4-b). Kentsel analitik karar verme, kent bilgi sistemleri, kent ve peyzaj planlama, bilgisayar oyunları gibi uygulamalarda tasvirsel görselleştirme kullanılmaktadır. Ayrıca bu gösterim coğrafi referanslı bilgilerin algılanmasını kolaylaştırır. Bu yöntem kartografya, coğrafi bilgi sistemleri, görselleştirme ve görsellik ilkeleri doğrultusunda haritalar, perspektif haritalar, 3B mekansal modeller ve bunların bütünleştirilmesi ile geliştirilmiştir.



Şekil 4-a: Tasvirsel yöntem ile görselleştirilmiş 3B kent modeli örneği (Buchholz vd., 2005).



Şekil 4-b: Tasvirsel yöntem ile görselleştirilmiş 3B kent modeli örneği (Döllner ve Asche, 2007).

3. 3B Binalar için Ayrıntı Düzeyi Kavramı

3B binalar için ölçek kavramı, ayrıntı düzeyleriyle (LoD) ifade edilmektedir. Her bir LoD belirli bir geliştirme düzeyini gösterir. Standart olarak belirli ölçeklerdeki 2B topografik haritaların aksine, 3B binalar için genel olarak kabul edilmiş ayrıntı düzeyleri yoktur. Aşağıdaki listede açıklandığı gibi, şu anda geçerli olan LoD'ler çoğunlukla veri çözünürlüğü, semantik bilgilerin içeriği ve uygulamalara bağlı olarak belirlenmiştir. Ayrıntı düzeyleri ile 3B kent modelleme 3B mekansal verinin elde edilmesi ve kullanımında maliyetlerin en aza indirilmesine de katkıda bulunmaktadır.

Kolbe (2004), yerleşim yerleri ve binalar için üç ayrıntı düzeyi önermiştir:

- LoD1 = Binayı haritalardaki sınırlarından mevcut yüksekliği kadar yükseltme,

- LoD2 = Düz çatılı ve duvar dokusu ile zenginleştirilmiş LoD1,
- LoD3 = Ayrıntılı çatılar, bina yüzeyindeki çıkıntıların gösterildiği ve fotoğraflarla zenginleştirilmiş LoD2.

Schilcher vd. (1998)'de binalar için 3 LoD önermiştir:

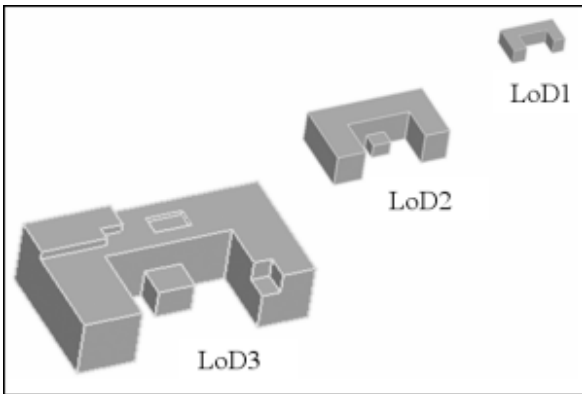
- LoD1 = Binayı haritalardaki sınırlarından mevcut yüksekliği kadar yükseltme,
- LoD2 = LoD1'e ek olarak düz çatılı binalar,
- LoD3 = LoD2'ye ek olarak cephe fotoğraflarının bina cephelerine yerleştirilmesi.

Gröger vd. (2004) ise sayısal arazi modellerini de içeren 5 LoD önermiştir:

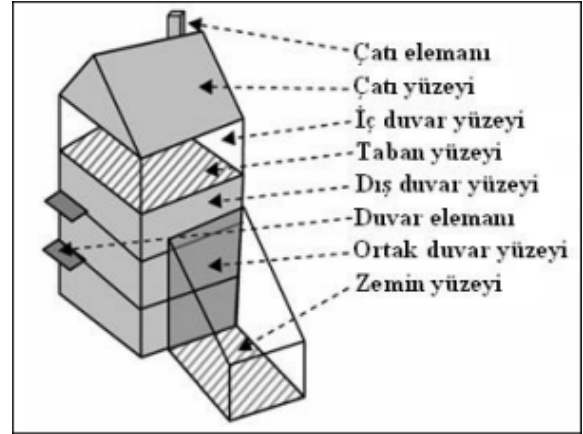
- LoD0 = Uydu görüntüsü, ortofoto vb. görüntülerin sayısal yükseklik modeli yüzeyine giydirilmesi,
- LoD1 = Binayı haritalardaki sınırlarından mevcut yüksekliği kadar yükseltme,
- LoD2 = Çatı türleri, çatı elemanları ve önemli ağaçlar ile zenginleştirilmiş LoD1,
- LoD3 = Bitki örtüsü, sokak nesnelere (sokak lambaları, elektrik direkleri vb.) ve mimari özellikleri ile modellenmiş binalar,
- LoD4 = LoD3'e ek olarak bina içi ayrıntıların da modele eklenmesi.

Bu tanımlamalar karşılaştırıldığında, aralarındaki bazı farklılıklara rağmen hepsi, düşük çözünürlüklü alt düzey LoD'lerden, daha yüksek çözünürlüklü daha üst düzey LoD'lere doğru bir geçiş içermektedir. Şekil 5 bir binanın 3 farklı ayrıntı düzeyindeki 3B modelini göstermektedir (MENG ve FORBERG 2006).

En ayrıntılı LoD'de, bir bina Şekil 6'da gösterildiği gibi, dış bileşenleri; çatı yüzeyi, çatı elemanı, dış duvar yüzeyi ve duvar elemanı ile iç bileşenleri; iç duvar, oda duvar yüzeyi, zemin yüzeyi, tavan yüzeyi ile tanımlanabilir (RAMOS vd. 2004). Binalar kadastral sınırlarıyla değişik detay ve ayrıntılarda gösterilebilir. Her bina katı, örneğin boş olup olmadığı gibi ek bilgileri içerebilir. Ayrıca iç veya dış bileşenlerde, güneş enerjisi sisteminin olup olmadığı, kullanılan yakıt türü veya yapı türü gibi ek bilgileri içerebilir.



Şekil 5: Bir binanın 3 Farklı ayrıntı düzeyinde gösterimi.



Şekil 6: 3B bir bina modelinin yapısal bileşenleri (RAMOS vd. 2004).

Ayrıntı düzeyleri, bağımsız toplanan farklı verilerin aynı ortamda depolanması için tasarlanmıştır. Aynı zamanda veri analizi ve görselleştirilmesi işlemlerinin kolay ve etkin olmasını da sağlamaktadır. 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, detayın en az olduğu ayrıntı düzeyi olan LoD0, yalnız 3B sayısal arazi modelini içerir. İlgili model alanına ait hava fotoğrafı ya da harita, sayısal yükseklik modeli üzerine giydirilebilir. Bu düzeyde arazi modeli 3B olmasına rağmen kent modeli 2.5B'dir. Çünkü binalar 3B olarak gösterilmemektedir. LoD1 ayrıntı düzeyi, 3B kent modelinde sık olarak kullanılan ve 3B bina modellerinin en basit olduğu düzeydir. Bu ayrıntı düzeyinde binalar dikdörtgen prizmalar ile çatılar da düz olarak gösterilir. LoD2 ayrıntı düzeyinde ise bina çatı tipleri, dış cephe ayrıntıları ve bitkiler belirli oranda gösterilmektedir. LoD3 ayrıntı düzeyinde binaların balkonları, duvar ayrıntıları, çatılar gibi özelliklerinin gösterildiği mimari özellikli modeller ile oluşturulur. Yüksek çözünürlüklü fotoğraflar, bu ayrıntı düzeyinde yapıların dış yüzeylerine yerleştirilmektedir. 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 7) (YÜCEL ve SELÇUK 2008).



Şekil 7: CityGML'in önerdiği ayrıntı düzeyleri.

Ayrıntı düzeyleri, model üzerindeki gösterilebilir en küçük nesne boyutları ve vazgeçilebilir en büyük nesne boyutları ile de ilgilidir. Vazgeçilebilir en büyük nesne büyüklüğü her LoD' de farklıdır ve bu değerden daha küçük boyutta olan nesnelere modellenen elenir. Bu işlem genelleştirme ile gerçekleştirilir. Ayrıntı düzeyi miktarları üzerinde düşünülüp tartışılabilir bir konudur ve uygulamadan uygulamaya farklılık gösterebilir. CityGML kapsamında LoD1 düzeyinde oluşturulan bir modelde kullanılan verilerin konum ve yükseklik duyarlılığı 5mx5m'dir. Bu düzeyde bina ayrıntıları için vazgeçilebilir en büyük ayrıntı değeri 6m'dir. LoD2 düzeyinde kullanılan verilerin konum ve yükseklik duyarlılığı ise 2mx2m'dir. Vazgeçilebilir en büyük ayrıntı değerleri ise 4mx4m'dir. Bu değerler tüm ayrıntı düzeyleri için Tablo1'de verilmiştir (GRÖGER vd. 2006).

Düşük çözünürlüklü modeller oluşturulurken çözünürlüğü yüksek veriler kullanılıyorsa veriler verilen bu eşik değerler ile genelleştirilir. Çözünürlüğü düşük veriler ile üst seviyelerde, yani ayrıntılı modeller oluşturmak olanaksızdır. Tablo 1'deki değerler, 3B kent modellerinin veri kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ayrıntı düzeyleri ile 3B kent modelleme, veri setlerinin karşılaştırılmasını ve bütünleştirilmesini sağlar.

4. Sonuç ve Öneriler

3B kent modelleri, mekansal verilerin 3B görselleştirilmesinin sonucu ve önemli unsurlarından birisidir. Kentsel uygulamalarda karar verme, durum belirleme, projelendirme, mühendislik uygulamaları ve birçok değişik sektörel çalışmalarda altlık oluşturmaktadır. Yani 3B kent modellerinin kullanımı neredeyse gereklilik haline gelmiştir.

Binaların gerçeğe en yakın modellenmesi için cephe bilgilerinin, bina çıkıntılarının, çatı tiplerinin ve iç mekan nesnelerinin gösterilmesi gerekmektedir. Günümüzde bu bilgilerin 3B kent modellerine aktarılması için birçok ülke veri tabanlarını geliştirmektedir. Bu amaca paralel olarak birçok Avrupa ülkesi 3B bina bilgileri (çatı tipleri, bina yükseklikleri, bina giriş çıkış yerleri, bina çıkıntıları vb.) ile veri tabanlarını bütünleştirmişlerdir ve yeni verilerin toplanmasında bu özellikleri dikkate almaktadırlar. Örneğin Almanya'da ATKIS sisteminde 3B kent modelleme amaçlı bilgiler mevcuttur. Ülkemizde şu anda CBS amacı için toplanmış olan 2B bina verileri, sınırlı olarak 3B bina bilgilerini de içermek-

tedir. Örneğin İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ndeki CBS verileri kat adedi bilgilerini içermektedir ve bu bilgiler 3B kent modellerinde kullanılabilir. Ancak tarihi yapıların kat yükseklikleri günümüzdeki bina kat yüksekliklerinden daha yüksek olduğu için bina yüksekliklerinin doğru olarak 3B kent modellerine aktarılması gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle daha doğru sonuçlara ulaşmak için kullanılmakta olan bu verilere kat adedi bilgilerinin yanı sıra bina yükseklik bilgilerinin de eklenmesi gerekmektedir.

Günümüzde arazi ve bina detaylarına ait 3B bilgiler yersel ve havadan lazer tarama teknikleri ile doğrudan 3B olarak toplanabilmektedir. Bu yöntemler 3B veri ediniminde hızlı ve doğru sonuçlar vermektedir. Ülkemizde İstanbul Büyükşehir Belediyesi Tarihi Yarımada'ya ait 3B bina bilgilerini yersel lazer tarama yöntemiyle toplamıştır ve bu bölgeye ait 3B bina cephe bilgileri elde edilmiştir. Yersel lazer tarama ile çatı bilgileri elde edilememektedir. Ayrıca orman ve koru gibi ağaçlık bölgelerin bu yöntemle belirlenmesi olanaksızdır. Bu eksiklikler havadan lazer tarama yöntemi ile giderilmelidir. Her iki yöntemle elde edilmiş verilerin bütünleştirilmesi ile daha gerçekçi 3B kent modellerinin oluşturulması için yeterli veri altyapısı sağlanmış olacaktır. Ayrıca tarihi yapıların cephe fotoğrafları ile bu verilerin zenginleştirilmesi, görsellik açısından faydalı olacaktır.

Ayrıntı düzeylerinin belirlenmesi için yapılan araştırma ve uygulamalar sonucu değişik öneriler ortaya çıkmıştır. Bu öneriler yeni uygulama ve çalışmalar ile gelişecektir. Ayrıntı düzeylerinin belirlenmesinde amaç, modelleme yapılan bölgenin büyüklük ve yapılaşma durumu, kullanılan verilerin özellikleri ve 3B bina genelleştirme konusu önemli rol oynamaktadır.

Ayrıntı düzeyleri farklı veri setlerinden oluşturulduğu için OGC tarafından yapılmakta olan standartlaştırma çalışmalarının kapsamı genişletilerek kesinleştirilmesi 3B kent modelleme çalışmaları için faydalı olacaktır.

Tablo 1: CityGML'in ayrıntı düzeyleri ve ayrıntı düzeylerinde kullanılan veri çözünürlükleri için getirdiği standartlar (GRÖGER vd. 2006).

	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 şekilleri	-	Düz	Basit yapıda	Basit yapıda	Gerçek görünümde
Çatı çıkıntıları (Saçaklar)	-	-	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

Kaynaklar

- BUCHHOLZ H., DÖLLNER J., NIENHAUS M. and KIRSCH F.: **Real-Time Non-Photorealistic Rendering of 3D City Models**, Proceedings of The 1st International Workshop on Next Generation 3D City Models, Bonn, Germany, 21-22 June 2005.
- DÖLLNER J. and ASCHE H.: **Geoinformation Science at The University of Potsdam**, 4th International Symposium on LBS and Telecartography, Hong Kong, 8-10 November 2007.
- DÖLLNER J., BAUMANN K. and BUCHHOLZ H.: **Virtual 3D City Models as Foundation of Complex Urban Information**, CORP 2006 & Geomultimedia06, Vienna, Austria, 13-16 February 2006.
- DÖLLNER J. and BUCHHOLZ H.: **Continuous Level-of-Detail Modeling of Buildings in 3D City Models**, Proceedings of ACM GIS 2005, pp. 173-181, Bremen, Germany, 4 - 5 November 2005.
- GRÖGER G., KOLBE T. H., DREES R., KOHLHAAS A., MÜLLER H., KNOSPE F., GRUBER U. and KRAUSE U.: **Das Interoperable 3D-Stadtmodell der SIG 3D der GDI NRW**. Version 2, 10 May 2004, www.ikg.uni-bonn.de/fileadmin/sig3d/pdf/Handout_04_05_10.pdf.
- GRÖGER G., KOLBE T. H. and CZERWINSKI A.: **Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language)**, Open Geospatial Consortium, Inc., OGC 06-057r1, 2006, http://www.opengeospatial.org/standards/gml.
- KOLBE T. H.: **Interoperable 3D Visualisierung-3D Web Map Server**. KS Band9 Der XFaktor-Mehrwert für Geodaten und Karten, Bonn, pp. 130-140, 2004.
- MENG F. and FORBERG A.: **3D Building Generalisation**, In: Challenges in the Portrayal of Geographic Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation, Chapter 11, Elsevier, 2006.
- RAMOS F., SIRET D. and MUSY M.: **A 3D GIS for Managing Building Rehabilitation Process**, proceedings of The 12th International Conference on Geoinformatics, Gavle, Sweden, 7-9 June 2004.
- SCHILCHER M., ROSCHLAUB R. and GUO Z.: **Vom 2D-GIS zum 3D-Stadtmodell Durch Kombination von GIS, CAD und Animationstechniken**, Proceedings ACS'98, Fachseminar Geoinformationssysteme, Frankfurt, Germany, CD ROM, 12 - 14 November 1998.
- YÜCEL M.A. ve SELÇUK, M.: **3D City Modeling through CityGML** International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia, Bulgaria, 6 - 7 November 2008.