KONYA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ EĞİK (OBLIQUE) GÖRÜNTÜ ALIMI, 3 BOYUTLU KENT MODELİ VE 3 BOYUTLU KENT REHBERİ PROJESİ

Tuncer ÖZERBİL [1], Ergün GÖKTEN [2], Mustafa ÖNDER[3], Osman SELÇUK[4], Nilhan ÇİFTÇİ SARILAR[5], Ayhan TEKGÜL[6], Erdal YILMAZ[7], Alpaslan TÜTÜNEKEN[8]

[1]Yük.Müh., GEOGIS, 06800, Ümitköy, Ankara, tozerbil@geogis.com.tr
[2]Yük.Müh., GEOGIS, 06800, Ümitköy, Ankara, ergun@geogis.com.tr
[3]Dr.Müh., GEOGIS, 06800, Ümitköy, Ankara, monder@geogis.com.tr
[4]Yük.Müh., GEOGIS, 06800, Ümitköy, Ankara, oselcuk@geogis.com.tr
[5]Yük.Müh., GEOGIS, 06800, Ümitköy, Ankara, nilhan@geogis.com.tr
[6]Yük.Müh., OttoTEK, 06460, Öveçler, Ankara, atekgul@gmail.com
[7]Dr.Müh., KANAVA, 06800, ODTU, Ankara, erdlylmz@gmail.com
[8]Yük.Müh., UVM Systems, 42080, Selçuklu, Konya, alpaslan.tuetueneken@uvmsystems.com

ÖZET

Eğik (Oblique) hava kameraları, eğik hava fotoğrafları ve bunların 3 boyutlu (3B) kent modellerinin oluşturulmasında kullanımı son yıllarda tüm dünyada yaygınlaşmış ve üreticiler gereksinimlerine özgü yöntem ve yazılımları içeren çeşitli çözüm yolları geliştirmiştir. Türkiye'de de bu konuda ilk kapsamlı adım Konya Büyükşehir Belediyesince 2012 yılında atılmış ve proje yüklenici firma olan GEOGIS tarafından Şubat 2014 tarihinde tamamlanmıştır.
3B kent modellemesinde Türkiye'de ilk kez bu büyüklükte bir alanın modellendiği proje kapsamında aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilmiştir;

- *İş bölgesinin ayrı ayrı olmak üzere düşey ve eğik görüntülerinin alınması ve fotogrametrik nirengi çalışmalarının yapılması,*
- *Eğik görüntüleri mekânsal sorgulamalarla beşli pencerede (Pentaview) görüntüleyebilen ve yatay, düşey mesafe ve alan ölçümleri yapabilen OttoPenta adlı yerli yazılımın geliştirilmesi,*
- *Fotogrametrik değerlendirme ile düşey stereo görüntülerden bina çatı ve detaylarının sayısallaştırılması, sayısallaştırılan çatı detaylarından 3B bina katı modellerinin oluşturulması,*
- *3B Bina katı modellerinin bina ID numaraları ile tanımlanarak kimlik kazandırılması ve böylelikle Belediyenin Oracle Spatial veri tabanında bulunan CBS verileri ile entegrasyonun sağlanacağı bağlantının kurulması,*
- *3B Bina modeli yüzeylerinin eğik görüntüler ile otomatik kaplanması (automatic texturing),*
- *Kaplanmış 3B bina modellerinin OGC standardı olan semantik yapıda ve CityGML formatında Oracle Spatial veritabanına aktarılması (export),*
- *3B Kent rehberinin oluşturulması, rehberin WEB ve mobil cihazlardan kullanıcılara sunulduğu KNVCity adlı yerli yazılımın geliştirilmesi ve internet üzerinden sunumu.*

Bu bildirinin amacı Türkiye'de ilk kez gerçekleştirilen 3B kent modeli ve rehberi oluşturma projesinde kazanılan bilgi ve deneyimlerin katılımcılar ile paylaşılmasıdır.
Anahtar Sözcükler: 3B Kent Modeli, 3B Kent Rehberi, 3B Modelleme, Eğik Görüntü, CityGML

ABSTRACT

OBLIQUE AERIAL IMAGE ACQUISITION, 3D CITY MODELING, 3D CITY GUIDE PROJECT FOR KONYA METROPOLITAN MUNICIPALITY

Usage of aerial oblique cameras and oblique images in generation of 3D city models has become popular all over the world in recent years and various solutions has been developed involving specialized methods and softwares. The first comprehensive step in this field was taken by Konya Metropolitan Municipality in Turkey in 2012 and the project undertaken by GEOGIS has been successfully completed in February 2014. It is the first time in Turkey that 3D city model of this large scale has been generated. The project involves;

- *Aerial image acquisition of the project area with vertical and oblique cameras respectively and photogrammetric triangulation,*
- *Development of OttoPenta software, which can display oblique images in pentaview screen, make spatial queries and also can measure the horizontal, vertical distance and area,*
- *Digitization of roof and roof structures from vertical stereo images using photogrammetric interpretation techniques and generation of 3D solid building models using this data,*
- *Assigning building ID numbers to solid models to integrate with the GIS data of the Municipality that is available in Oracle Spatial database,*
- *Automatic texturing of 3D models with oblique images,*
- *Exporting of textured 3D models into Oracle Spatial Database in CityGML format, complying the OGC standards,*
- *Development of KNVCity software, to create and publish the 3D city guide on WEB and mobile devices.*

The goal of this paper is sharing the experience and knowledge that was gained during the 3D City modeling and 3D city guide project which was performed for the first time in Turkey.
Keywords: 3D City Modeling, 3D City Guide, 3D Modeling, Oblique Aerial Image, CityGML

1. GİRİŞ

Yeryüzünün olabildiğince gerçekçi temsil edilebileceği görselleştirme araçlarının geliştirilmesi, tarih boyunca geomatik bilim insanlarına görev olarak yüklenmiştir. Geliştirilen her harita veya yeni nesil coğrafi gösterim aracı konumsal doğruluk, güncellik, görsel zenginlik açısından, kullanıcılarda daha iyisi, günceli, güzeli ve gerçeğe yakını anlamında beklentileri daima arttırmıştır. Teknoloji geliştikçe beklentiler artmış, beklentiler arttıkça teknoloji gelişmiş ve insanlığa hizmet eden bir teknolojik gelişim döngüsü oluşmuştur.

Son zamanlarda özellikle bilgisayar oyun sektöründe faaliyet gösteren program geliştiriciler, günümüz teknolojisinin sağladığı olanakların yanı sıra hayal güçlerini ve bilimsel yetilerini de CBS sektöründe görselleştirme alanında kullanmaya başlamışlardır (Yılmaz vd., 2004). Böylelikle yaşadığımız çevrenin hem kentsel hem de kırsal alanda, olabildiğince gerçekçi görselleştirilmesi anlamında geomatik bilim insanları için ulaşılması gereken çıta, "önce hayal et sonra gerçekleştir" ilkesiyle oldukça yükselmiştir.

Tarihsel gelişim sürecinde kil tabletler veya ceylan derisi üzerine çizilen ilk haritalar, kullanıcıların topoğrafyanın daha gerçekçi temsil edilmesi yönündeki beklentilerinin sonucu olarak günümüzde birçok teknolojik coğrafi gösterim araçlarına dönüşmüştür. Bu araçlardan en bilinen ve gittikçe yaygınlaşanlardan bir tanesi de 3B kent modelleridir.

Yerleşim yeri merkezlerinin sürekli büyümesi, nüfusun ve trafikteki araç sayısının artması, çarpık kentleşme ve paralelinde kentsel dönüşümün son yıllarda yaygınlaşması, toplum güvenliği gibi sorunlara paralel olarak kentlerin yönetimi karmaşıklaşmış ve profesyonel çözümler üreten yerel yönetimlere gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bu ihtiyaçlardan yola çıkarak son zamanlarda pek çok bilim insanı ve şirket 3B kent modeli oluşturma ve sunma konularında çalışmaya başlamıştır (Singh vd., 2013; Moser vd., 2010; Glander & Döllner, 2009).

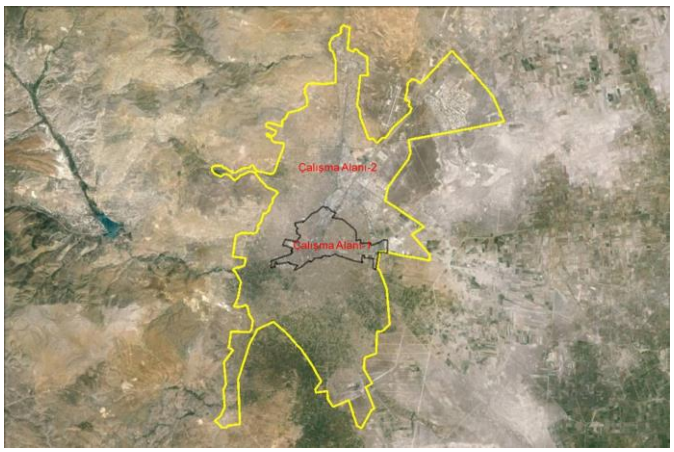
Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde kente ilişkin sorunların çözümünde sıklıkla kullanılmakta olan 3B kent modellerinin bir örneği de ilk kez Türkiye'de Konya Büyükşehir Belediyesi (KBB) tarafından projelendirilmiş ve GEOGIS tarafından gerçekleştirilmiştir.

2. KBB 3B KENT MODELİ PROJESİ

31 Ekim 2012 tarihinde KBB ile GEOGIS Şirketi arasında imzalanan sözleşme ile başlayan proje 03 Şubat 2014 tarihinde tamamlanmış ve şu anda 2 yıllık garanti süresi devam etmektedir.

2.1 Proje Alanı ve Diğer Sayısal Bilgiler

Şekil 1'de görülen proje alanı, Çalışma Alanı-1 ve Çalışma Alanı-2 olmak üzere iki bölgeden oluşmakta ve toplam 300 km² genişliğindedir. Eğik görüntü alımı proje alanının tamamında gerçekleştirilmiştir. 20 km² büyüklüğündeki Çalışma Alanı-1'de 3B bina modelleri LoD2, geri kalan 280 km² büyüklüğündeki Çalışma Alanı-2'de ise LoD1 detay düzeyinde üretilmiştir. Tüm sahaya yayılmış 3400 adet bina LoD3, 5 adet simge yapı (landmark) ise LoD4 detay düzeyinde modellenmiştir. Projeye ait sayısal bilgiler Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Proje alanı

Çizelge 1. Projeye ait sayısal bilgiler

Proje alanı	300 km²
Çalışma Alanı-1	20 km²
Çalışma Alanı-2	280 km²
LoD1 detay düzeyinde modellenen bina sayısı	170.000
LoD2 detay düzeyinde modellenen bina sayısı	40.000
LoD3 detay düzeyinde modellenen bina sayısı	3.400
LoD4 detay seviyesinde modellenen simge yapı sayısı	5

2.2 Proje İşlem Adımları ve İş Akışı

3B Kent modellemesinde elde mevcut veri türlerine göre uygulanacak çeşitli yöntemler söz konusudur. Yersel ölçümler ve fotoğraflar, havadan alınan düşey ve eğik görüntüler, yersel veya havadan alınan LIDAR verileri, insansız hava araçlarından alınan görüntüler, hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutu verileri, sokak görüntüleri (Street View-Mobile Mapping) gibi veri türlerinin tek tek veya kombine olarak uygun yazılımlarda işlenmesi ile üretimin yapılması mümkündür. 3B modellemede en iyi yöntem; modellemenin amacı, elde mevcut veriler, kullanıcının ihtiyaçları ve proje bütçesi gibi belirleyici unsurları esas alarak yapılacak sistem analizi sonucunda şekillenen ve size göre en uygun olan yöntemdir (Marre, 2011).

Konya projesi, aşağıdaki işlem adımlarının Şekil 2'de yer alan iş akış şemasına göre uygulanması ile düşey ve eğik görüntüler kullanılarak, fotogrametrik yöntemle gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 İş bölgesinde yer kontrol noktalarının tesisi ve ölçümünü takiben ayrı ayrı olmak üzere düşey ve eğik görüntü alımı ve fotogrametrik nirengi çalışmalarının yapılması,

2.2.2 Eğik hava fotoğraflarını mekânsal sorgulamalarla beşli pencerede (Pentaview) görüntüleyebilen ve yatay, düşey mesafe ve alan ölçümleri yapabilen OttoPenta adlı yerli yazılımın geliştirilmesi,

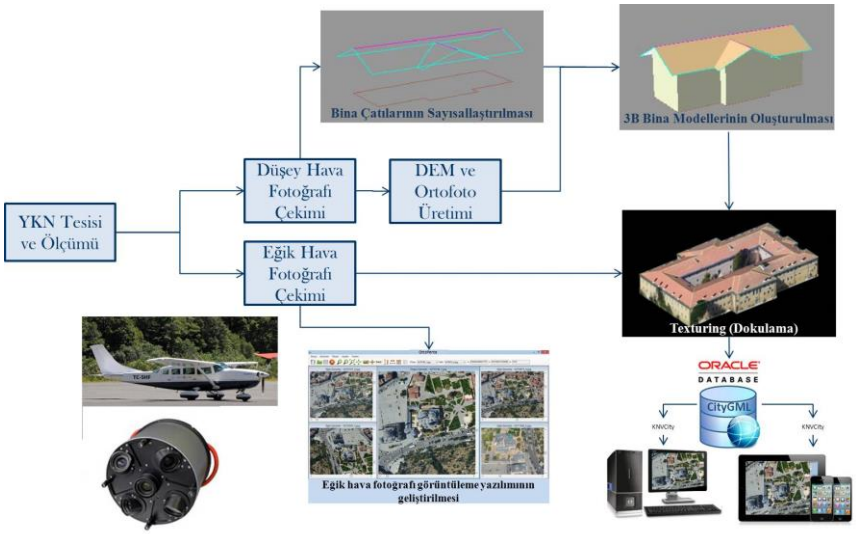
2.2.3 Fotogrametrik değerlendirme ile düşey stereo hava fotoğraflarından bina çatı ve çatı detaylarının sayısallaştırılması, sayısallaştırılan verilerle 3B bina katı modellerinin oluşturulması,

2.2.4 3B Bina katı modellerinin bina ID numaraları ile tanımlanarak kimlik kazandırılması ve böylelikle Belediyenin Oracle Spatial veri tabanında bulunan CBS verileri ile bütünleşmesinin (entegrasyonun) sağlanacağı bağlantının kurulması,

2.2.5 3B Bina modeli yüzeylerinin eğik hava fotoğrafları ile otomatik kaplanması (dokulama-texturing),

2.2.6 Kaplanmış 3B bina modellerinin OGC standardı olan semantik yapıda ve CityGML formatında Oracle Spatial veritabanına aktarılması (export),

2.2.7 3B Kent rehberinin oluşturulması, rehberin WEB ve mobil cihazlardan kullanıcılara sunulduğu KNVCity adlı yerli yazılımın geliştirilmesi ve internet üzerinden sunumu,



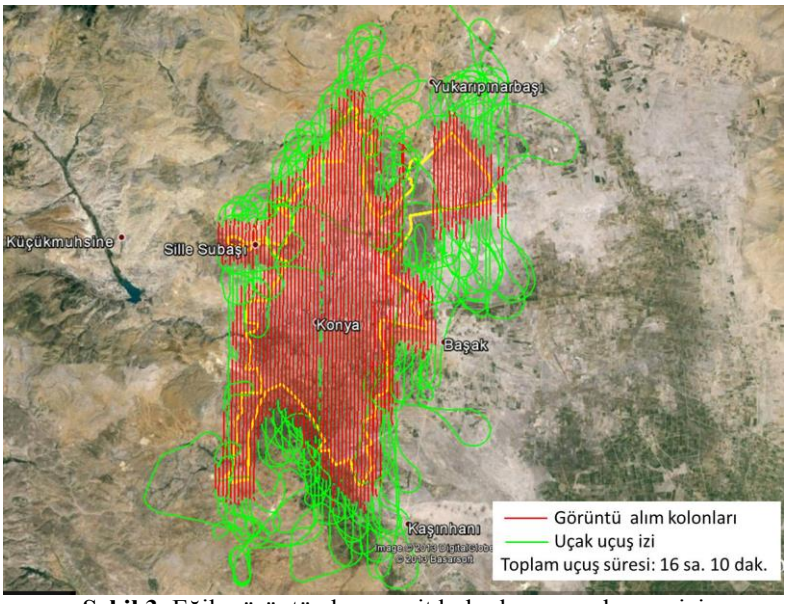
Şekil 2. Proje iş akış şeması

2.3 Yer Kontrol Noktaları (YKN), Düşey ve Eğik Görüntü Alımı ve Fotogrametrik Nirengi

Bilindiği gibi Fotogrametride hava fotoğraflarının konumsal doğruluğu, yöneltme parametrelerinin ve Yer Kontrol Noktalarının (YKN) doğruluğu ile doğru orantılıdır. Çekilen eğik görüntüler bina katı modelleri üzerine otomatik olarak kaplanacaksa, iş bölgesinde YKN tesisi ve ölçümlerinin yapılması, otomatik kaplama işlemi esnasında görüntü-3B model ilişkisinde konumsal doğruluğu arttıracak ve dolayısıyla görselliğe kalite getirecektir.

Konya projesinde 3B bina modellerinin eğik görüntülerle kaplanmasında otomatik kaplama yöntemi uygulandığından, 300 km² iş bölgesinde 42 adet YKN'nın tesis ve ölçümü yapılmıştır.

TC-SHF sicil numaralı GEOGIS şirketine ait Cessna T207-A tipi uçakta bulunan Zeiss DMC SSD düşey kamera ile iş bölgesinin önce düşey görüntüleri alınmıştır. Daha sonra bu kamera çıkartılmış ve yurtdışından kiralanan eğik kamera monte edilerek eğik görüntü alımı, toplam 16 saat 10 dakikalık uçuşla 4 günde tamamlanmıştır. Şekil 3'de 108 kolonla kapatılan iş bölgesi ve uçağın uçuş izi görülmektedir. Toplam 42.000 adet fotoğraf çekilmiş olup fotoğrafların dosya hacmi 1.1 TB'dır. Düşey ve eğik görüntü alımı uçuş planlamasında kullanılan bindirme oranları ve diğer uçuş bilgileri Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Eğik görüntü alımına ait kolonlar ve uçak uçuş izi

Çizelge 2. Uçuş ve çözünürlük bilgileri

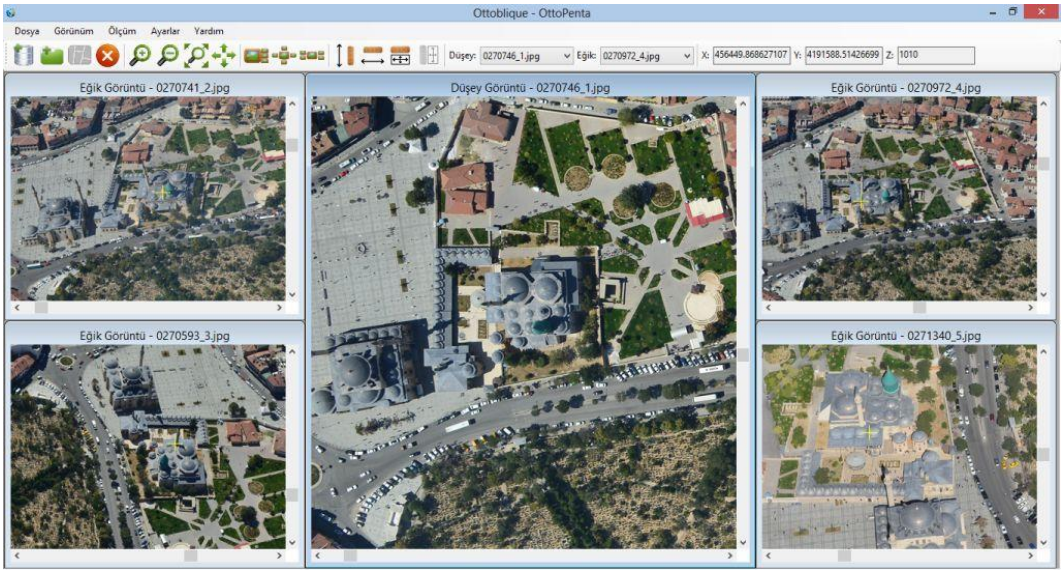
	Düşey Görüntü Alımı	**Eğik Görüntü Alımı**
İleri bindirme	% 60	% 70-80
Yan bindirme	% 30	% 60
Uçuş yüksekliği (Ortalama)	1200 m.	650 m.
Kamera çözünürlüğü	12-15 cm.	8cm (ön), 10cm (orta), 12cm (arka)

Düşey görüntülerin fotogrametrik nirengi işlemleri GEOGIS, eğik görüntülerinki ise kameranın kiralandığı şirket tarafından yapılmıştır.

2.4 Eğik Görüntüleri Görüntüleme ve Ölçüm Yazılımı (OttoPenta)

Proje kapsamında çekilen 42.000 adet eğik görüntü genel olarak 2 amaç için kullanılmıştır. Birincisi; üretilen katı modellerin kaplanması (dokulama-texturing), ikincisi ise; KBB'nin elinde bulunan yer isimleri verileri ile entegre edilmiş eğik görüntülerin yönetilmesi ve eğik görüntüler üzerinde ölçüm yapılmasını sağlayan ve proje kapsamında GEOGIS ve OttoTEK şirketlerinin ortak girişimiyle geliştirilen OttoPenta yazılımında görüntülenmesidir.

Şekil 4'de arayüzü görülen OttoPenta yazılımı, iç ve dış yöneltme parametreleri belirlenmiş eğik kameranın 4 eğik, 1 düşey görüntüsünün her birini ayrı ayrı pencerede birbirleriyle ve ayrı bir pencerede açık olan harita ile uyumlu (senkronize) şekilde görüntüleyebilen bir yazılımdır. Görüntülerin iç, dış yöneltme parametreleri ile kamera bilgilerinin tespit edilmesinden birkaç saat sonra OttoPenta ile görüntülenmesi ve görüntüler üzerinden ölçümler alınması, 3B Kent modelinin hazırlanması için gereken uzun süreyi telafi eden bir unsurdur.



Şekil 4. OttoPenta yazılımı arayüzü

OttoPenta ile eğik görüntüler üzerinde 2 ve 3 boyutlu olmak üzere yatay ve düşey mesafe, yine yatay ve düşey alan, 3 boyutlu eğim, koordinat, açı ve arazi boyunca mesafe ölçümlerinin yapılması mümkündür. Ölçüm ve işaretleme yapılan eğik pencerelerdeki görünüm, istenirse PDF, PNG, JPG gibi formatlarda KBB logolu filigran içeren görüntü olarak saklanabilmektedir.

Algoritma 3 boyutlu ölçüm işleminde, eğik pencerelerde kullanıcı tarafından işaretlenen noktalara ait diğer görüntülerdeki eşlenik noktaların koordinatlarını ölçmekte ve bu ölçümlere göre dengeleme yaparak her bir eşlenik nokta için 3B nokta koordinatı tespit etmekte ve ölçüm sonucunu bu koordinatlara göre bulmaktadır.

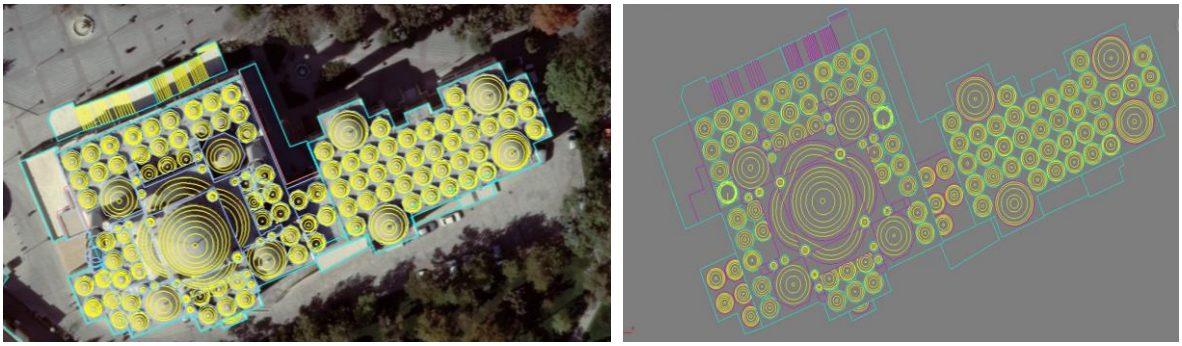
Yazılım üzerinde fare imleci ile sürekli 3B koordinat alınabilmekte ve bu koordinatlar istenilen bir projeksiyon ve datum sisteminde de görüntülenebilmektedir.

OttoPenta, Oracle Spatial veritabanında yüklü veya diskte mevcut SHP formatındaki vektör verileri harita ve eğik görüntüler üzerinde gösterme, bu vektör verilere parametrik veya genel on-the-fly projeksiyon dönüşümü yapma fonksiyonuna sahiptir. İstenirse, vektör verilere ait etiketler de gösterilebilmektedir.

Ayrıca bir lokasyona ait eğik görüntülerin ekrana çağrılması için klavyeden koordinat girilebilir, KBB'nin coğrafi veri tabanında bulunan Yer İsimleri Fihristi verileri veya mahalle, cadde/sokak, numara bilgileri içeren numarataj verileri kullanılabilir.

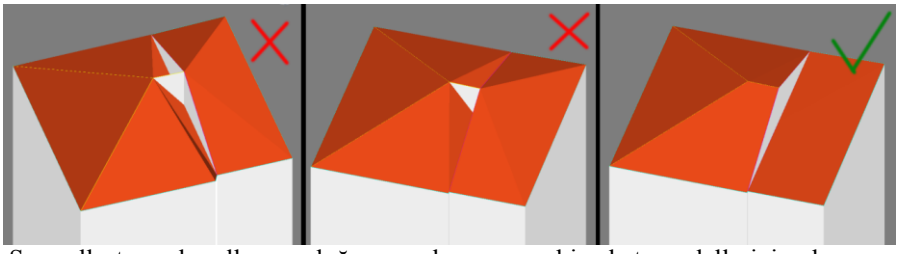
2.5 Bina Çatı ve Çatı Detaylarının Sayısallaştırılması

3B kent modellemesi projelerinde toplu halde bulunan ve birbirine yakın duran binaların üzerinde gezinerek yukardan bakıldığında gerçekçi görünüşü sağlayan unsur, bina çatıları ve çatılardaki detaylardır. Tüm fotogrametri ve vektör veri üretim projelerinde olduğu gibi fotogrametrik 3B bina modeli üretiminde de en zaman alıcı, dolayısıyla maliyeti arttıran işlem adımı, bina modelini oluşturacak çatı detaylarının sayısallaştırılmasıdır (Şekil 5). Çatı sayısallaştırmasında deneyimli bir fotogrametrik kıymetlendirme oparatörü, ortalama günde 60-80 adet binanın çatısını sayısallaştırabilir. Ancak bu sayı bina çatılarının karmaşıklığı ve operatörün deneyimine göre değişebilir.



Şekil 5. Çatı ve çatı detaylarının fotogrametrik yöntemle sayısallaştırılması

Model üretiminde kullanılan yazılıma göre değişebilen, sayısallaştırmada dikkat edilmesi gereken kuralların doğru uygulanması, Şekil 6'da da görüldüğü gibi bir sonraki aşamada oluşturulacak bina katı modellerine ait geometrik modellemenin hatasız ortaya çıkmasını sağlayacak ve böylelikle manuel düzeltmeler için harcanacak zamanı en aza indirecektir.



Şekil 6. Sayısallaştırma kurallarının doğru uygulanmasının bina katı modellerinin oluşumuna etkisi

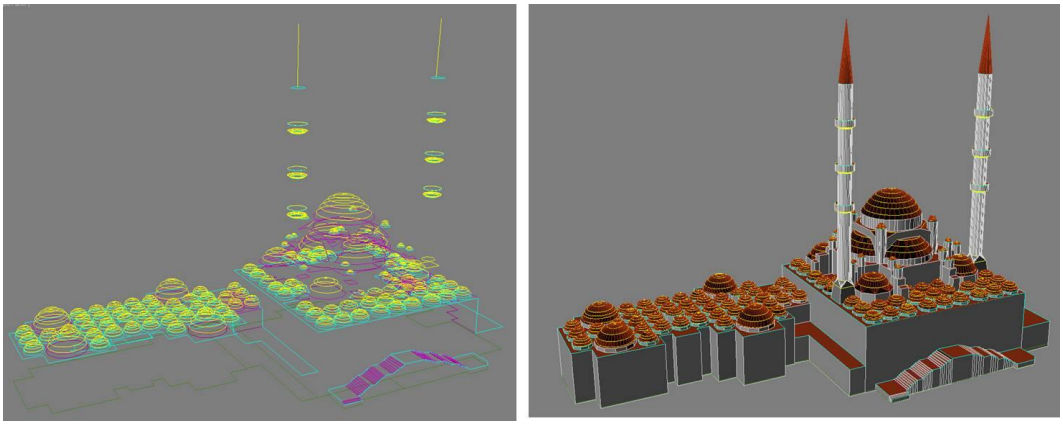
3B bina modellerinin üretiminde topolojik ve geometrik hataların oluşması kaçınılmaz olduğundan, üretimin her aşamasında veri kontrolü yapılması, sonuç ürünün doğruluğunu ve görsel kalitesini arttıracaktır. Veri kontrolleri ve hata düzeltmelerinin bir kısmı FME Workbench ile otomatik olarak, bir kısmı da manuel kontrol ve editlemeyle gerçekleştirilmiştir. Manuel düzeltilmesi gereken binalar % 15'i geçmiyorsa iyi bir sayısallaştırmadan söz edilebilir.

Sayısallaştırılan çatı ve çatı detaylarını oluşturan çizgilerin geometri tipi 3D Polyline, Polyline veya 3D Surface olmalıdır. Kıymetlendirme esnasında shape, elips, spline gibi geometri tipleri kullanılmış olan veriler, hazırlanan bir FME Workbench aracılığıyla 3D Polyline'a dönüştürülmüştür. Ayrıca 20 cm altındaki yakalama (snap) hataları da otomatik olarak düzeltilmiştir.

2.6 3B Bina Katı Modellerinin Oluşturulması ve ID Atama

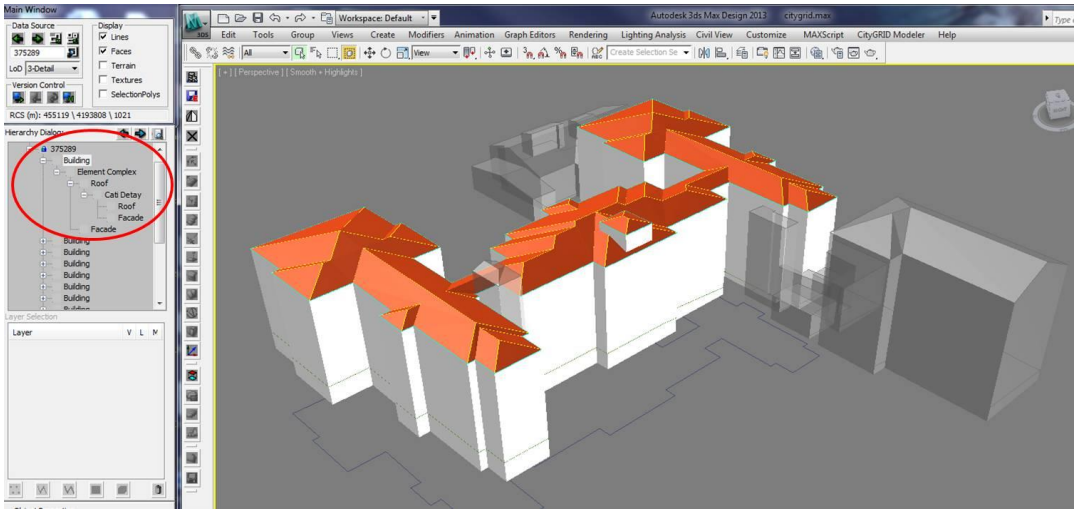
Konya projesinde 3B modelleme yazılımı olarak UVM Systems firmasının CityGRID yazılımı kullanılmıştır.

Şekil 7'de görüldüğü gibi CAD veri yapısında sayısallaştırılan çatı kırıklıkları, semantik veri yapısına uygun yüzeyler oluşturularak, CityGRID.xml formatında 3B bina katı modeline dönüştürülmüştür (convert).



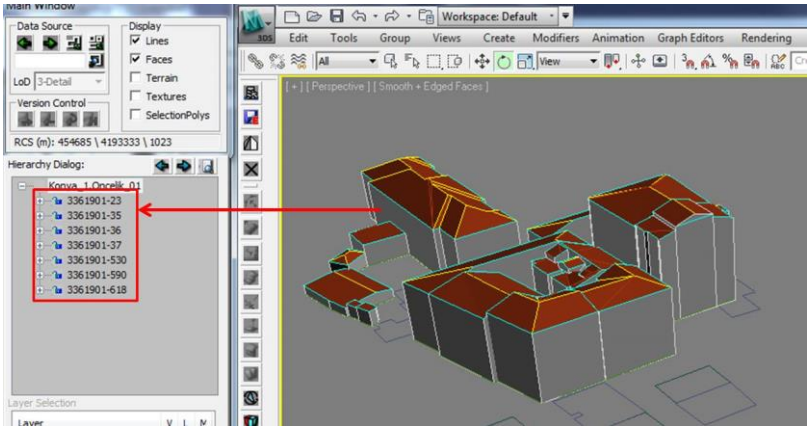
Şekil 7. Sayısallaştırılmış bina çatılarının 3B katı modele dönüştürülmesi (Convert)

Oluşturulan modellerdeki her bir nesne (object) semantik olarak Building (Bina), Roof (Çatı), Facade (Cephe), Roof Detail (Çatı detayı), Facade Detail (Cephe detayı) gibi hiyerarşik olarak yapılandırılmış ve yüzeyler CityGML veri yapısına uygun olarak tanımlanmıştır. Modellerin semantik ve hiyerarşik yapılanması Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Modelin semantik ve hiyerarşik yapılanması

Convert işlemi esnasında bina yüzeylerinin oluşmasına paralel olarak ayrıca Şekil 9'da görülen her nesne (object) için benzersiz (unique) bir ID numarası atanır. Bu aşamada ID numaraları, benzersiz olmakla beraber rasgele verilmiş ve anlam ifade etmeyen bina kimlik bilgileridir.



Şekil 9. Modellere ID numarası atanması

Bina kimlik bilgilerinin, Belediye tarafından atanmış ve Oracle Spatial veritabanında diğer coğrafi katmanlarla ilişkilendirilmiş olan gerçek bina ID numaraları ile değiştirilebilmesi için ID numarası taşıyan bina taban izlerine (footprint) ihtiyaç duyulmuş ve bu veriler idarece sağlanmıştır. Belediye tarafından sağlanan bina taban izi katmanı Şekil 10'dadır.

Şekil 10. Bina taban izi katmanı

Bina taban izi katmanında ki ID numaralarının 3B bina modellerindeki geçici ID numaraları ile değiştirilmesi işlemi yani semantik modelleme, hazırlanan bir FME Workbench ile otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

2.7 Sayısal Arazi Modeli ve Ortofoto Üretimi

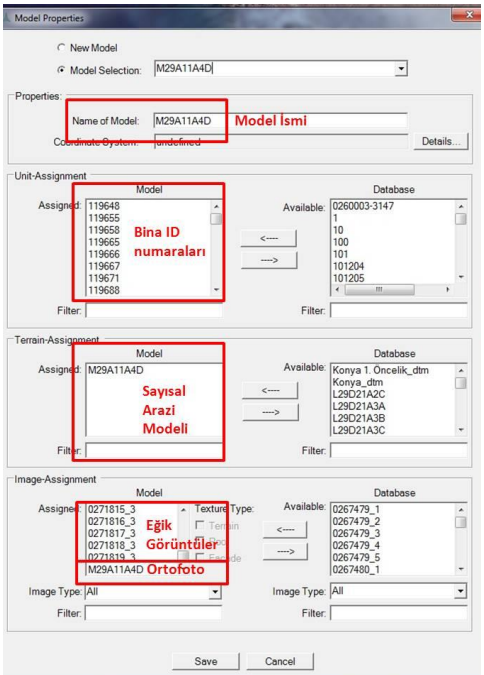
3B Bina katı modelleri geometrik ve topolojik hatalarının giderilmesi aşamasında, henüz bir arazi modeli eklenmediğinden, gerçek yüksekliklerine sahip değildir. Her model geçici olarak dış saçak kenarından aşağıya doğru 50 m. uzatılarak oluşturulmuştur. 3B bina modellerinin gerçek yüksekliklerine getirilmesi, modellerin sayısal arazi modeli esas alınarak kesilmesi ile sağlanır. 50 m.'den yüksek binalar ise arazi modeline kadar uzatılır.

Modelleme yazılımı, yükseklik verisi olarak TIN veri yapısı kullandığından, idare tarafından sağlanan yükseklik verileri TIN veri yapısına dönüştürülmüştür. Ayrıca iş bölgesinin ortofoto üretimi tamamlanmış ve hem TIN hem de ortofoto, 1/5.000 ölçekli pafta taksimatının sınırları esas alınarak kesilmiş ve model bölgeleri 1/5.000 ölçekli pafta isimleri ile isimlendirilerek veritabanına aktarılmaya (import) hazır hale getirilmiştir.

2.8 3B Bina Katı Modellerinin Eğik Görüntülerle Otomatik Kaplanması

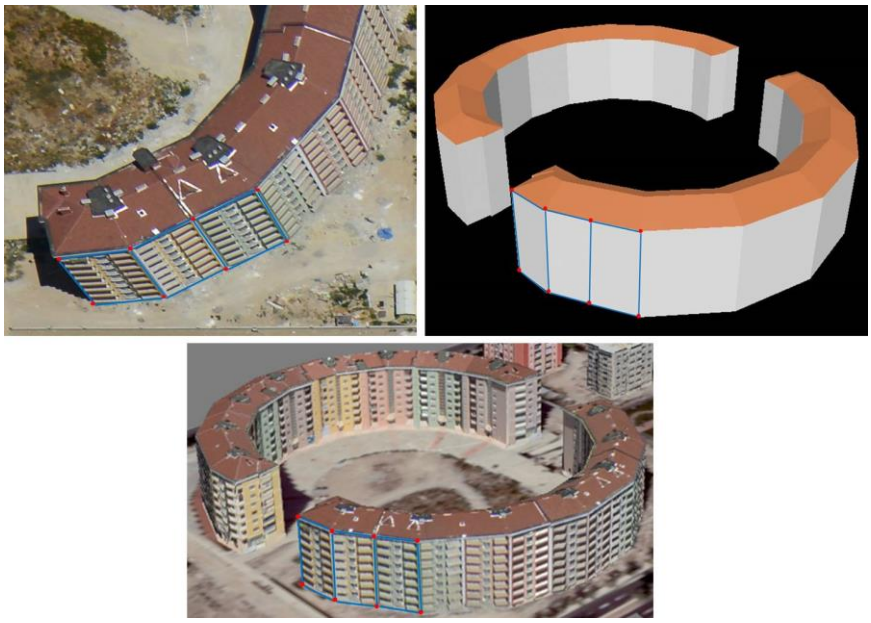
CityGRID.xml formatında ve 1/5.000 pafta taksimatına ayrılmış kent modeli verilerinin güvenli bir ortamda yönetimini sağlamak amacıyla, sayısal arazi modeli (TIN), bina modelleri, ortofotolar ve kamera parametreleri tanımlanmış eğik görüntüler CityGRID Microsoft SQL veritabanına aktarılmıştır (import).

Otomatik kaplama işlemine başlamadan önce hazırlanan FME Workbench ile kaplama yapılacak modelin hangi eğik görüntüleri içerdiği belirlenmiştir. Bu işlem esnasında; pafta numarası ile tanımlanan 3B model, gerçek ID numarası atanmış 3B binalar, sayısal arazi modeli, ortofoto ve kaplamada kullanılacak eğik görüntüler veritabanında birbirleriyle eşleştirilmiştir. Bu eşleşme sonrasında veritabanında oluşan model özellikleri (Model Properties) penceresi Şekil 11'de görülmektedir.



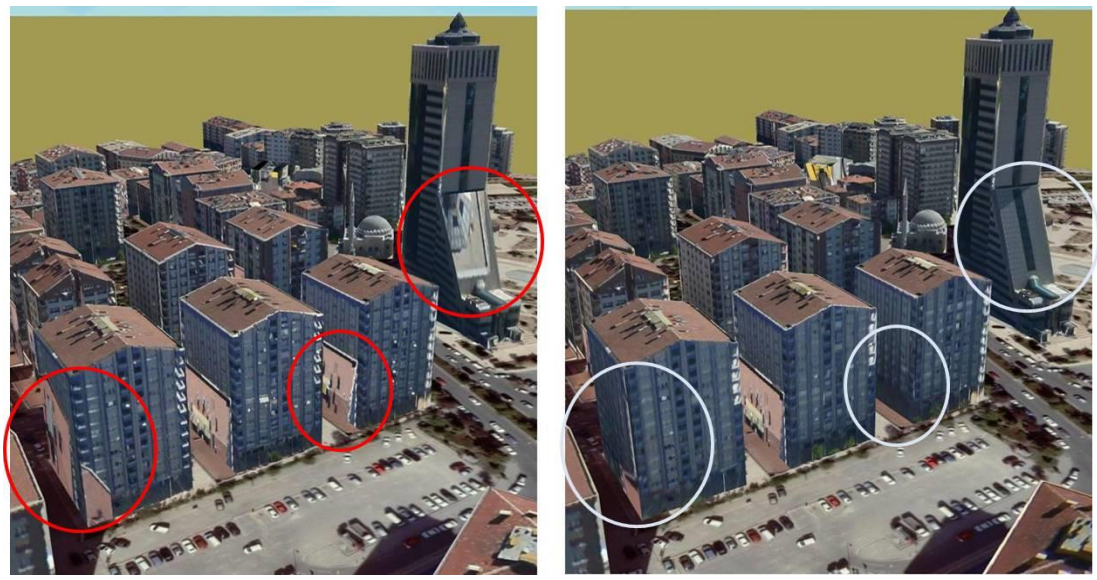
Şekil 11. Model özellikleri (Model Properties) penceresi

Kaplama işleminde kullanılacak tüm bileşenlerin hazır duruma gelmesinden sonra otomatik kaplama işlemi başlatılmıştır. Zamana ihtiyaç duyulan bu işlem adımında 1 bilgisayarla yaklaşık olarak 1 günde 3000 binanın kaplaması gerçekleştirilir. İşlem esnasında algoritma, Şekil 12'de görüldüğü gibi, kaplama alacak olan yüzeyle ilgili görüntülerden o yüzey için en uygun olanı tespit eder ve konumsal olarak eşleşen bölgeyi yüzey üzerine doku olarak atar. Bina yüzeyleri eğik (oblik) kamera sisteminin 45° eğiklik açısına sahip kameraları ile alınan görüntülerle kaplanırken, çatı yüzeyleri de aynı sistemin düşey kamerası ile alınan görüntüler ile kaplanır. Görüntülerin yöneltmesindeki hassasiyetin düşük olması, yüzeylerin kaplanmasında kayıklıklara sebep olacak ve bu durum görselliği olumsuz etkileyecektir.



Şekil 12. Eğik hava fotoğrafı, katı model ve kaplanmış 3B bina modeli

Otomatik kaplamada görünürlük analizi (visibility analysis) uygulanması, işlem süresini 4 kat artıran bir unsur olduğundan isteğe bağlıdır. Görünürlük analizi, birbirine yakın binaların görüntüsünün fotoğraf üzerinde komşu binayı kapatması ve bu görüntünün kaplamada kullanımını engellemek amacıyla, daha uygun görüntünün olup olmadığının analiz edilmesi ve en iyi görüntünün kullanılmasını sağlayan işlemdir. Şekil 13'deki sol görselde görünürlük analizi yapılmadan otomatik kaplamanın uygulanmasında elde edilen sonuç, sağ görselde ise görünürlük analizi uygulandığında elde edilen sonuç görülmektedir.



Şekil 13. Otomatik kaplamada görünürlük analizinin etkisi

2.9 Kent Modelinin CityGML Formatında Veritabanına Aktarılması

Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra 3 boyutlu bina modelleri KBB Oracle veritabanında saklanması için OGC 12-019 referans numaralı Open Geospatial Consortium kodlama standardında tanımlanan CityGML formatına

dönüştürülmüştür (Kolbe, 2009; OGC 12-019). CityGML modellerin Oracle veritabanına aktarılmasında 3D City Database altyapısı kullanılmıştır.

3D City Database, 3 boyutlu sanal şehir modellerini standart bir ilişkisel veritabanı üzerinde saklamak ve yönetmek için kullanılan ücretsiz, açık kaynak kodlu bir coğrafi veritabanıdır. Veritabanı modeli, görselleştirmenin çok ötesinde, karmaşık GIS modelleme ve analizlerine olanak tanıyan semantik açıdan zengin, hiyerarşik olarak yapılandırılmış, çok ölçekli şehir nesnelerini içerir. 3D City Database şeması 3 boyutlu şehir modellerinin temsil edilmesi ve değişimi için kullanılan City Geography Markup Language (CityGML)'e dayanmaktadır. 3D City Database temel olarak iki bileşenden oluşmaktadır:

2.9.1 3D City Database

3B Kent veritabanı modeli olan 3D City Database, binalara ek olarak 3 boyutlu kent modeline ait farklı tematik alanlar (kent mobilyası, su alanı, arazi kullanımı, ulaşım, bitki örtüsü, vb.) için de veri modelleri içermektedir. Proje kapsamında 3D City Database'in "Bina" veri modeli kullanılmıştır.

2.9.2 3D City Database Importer/Exporter

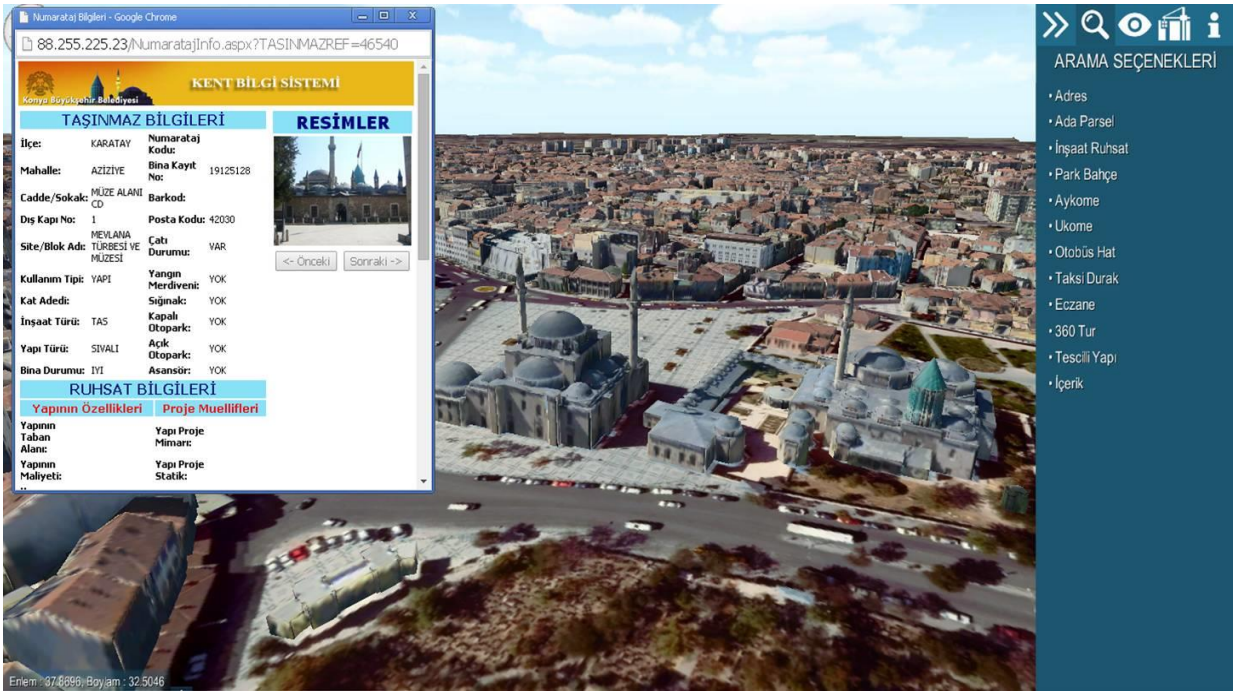
3B Kent modellerine ait coğrafi verinin yüksek performanslı olarak import ve export edilmesini sağlar. Proje kapsamında Importer, CityGML formatındaki modellerin Oracle veritabanına aktarılmasında, Exporter ise ihtiyaç halinde Oracle veritabanındaki modellerin KML ve COLLADA formatlarına export işlemlerinde kullanılmıştır.

2.10 3B Kent Rehberinin Oluşturulması, WEB'den ve Mobil Cihazlardan Sunulması

Hazırlanan 3B kent modeli, GEOGIS ve KANAVA şirketlerinin ortak girişimi ile hazırlanan KNVCity yazılımı ile internet üzerinden kullanıcılara sunulmuştur. KNVCity'nin geliştirilmesinde ve tasarımında 3B kent modelinin hızlı, görselliği yüksek, güvenli, ekonomik, özgün bir kent rehberi arayüzüne sahip olması ve mevcut coğrafi verilerle uyumlu olarak çalışması hedeflenmiştir.

3B Modeller, hızlı ve aynı zamanda görselliği yüksek şekilde sunulmak üzere optimize edilmiş ve proje kapsamında Belediye bünyesine kurulan 3B Model Sunucusuna tile bazlı olarak konularak istemcilerin buradan erişimleri sağlanmıştır. 3B Model Sunucusunda Windows Server 2008 işletim sistemi üzerinde çalışan bir HTTP server kurularak sunucu internet erişimine açılmıştır. Uygulama Belediyenin mevcut 2B Kent Bilgi Sistemindeki ilgili sorgulamaları doğrudan çağırmakta ve sonuçları, Şekil 14'deki arayüzü ile kullanıcılara görüntülemektedir.

Konya 3B kent rehberinde adres, taksi durağı, eczane, hastane vb. tesis sorgulamaları, en kısa yol analizi, bina bilgisi alma gibi alışılmış uygulamaların yanı sıra özgün uygulamalara da yer verilmiştir. Örneğin Şekil 15'de görülen solar enerji (cephe) analizi, 3B modeller üzerinden kesit alma, siluet analizi, gölge analizi, karşılaştırma modu gibi uygulamalar KNVCity yazılımına yetenek olarak eklenmiştir.



Şekil 14. KNVCity arayüzü

Şekil 15. KNVCity yazılımının özgün uygulamaları. (a) Solar analizi
(b) Karşılaştırma Modu (c) Siluet analizi (d) Kesit alma

WEB uygulamasında yer alan özellikleri içeren, IOS, Windows Phone, Blackberry ve Android işletim sistemine sahip, akıllı telefon ve tablet bilgisayarlar üzerinde çalışan KNVCity mobil uygulaması da yine GEOGIS ve KANAVA ortak girişimi ile geliştirilmiştir.

3. SONUÇLAR

Her ne kadar 3B Kent modellerinin üretiminde kullanılan veri türleri, yöntemler ve yazılımlar çeşitlilik gösterse de yürütülen projedeki girdiler, kaynaklar ve sistem analizi sonuç ürün üzerinde belirleyici olmaktadır. Konya projesinde uygulanan yöntem, KBB'nin de olumlu katkılarıyla mevcut şartlarda en uygun çözüm olarak ortaya çıkmıştır.

Proje kapsamında, kaynakların en iyi şekilde kullanımı hedef alınmış, yüksek maliyetli ve dış kaynaklı yazılımlardan kaçınılarak öz kaynaklarımıza yönelinmiş, bunun sonucunda de 2 yeni yazılım geliştirilerek ülkemizin kullanımına sunulmuştur. Bu projede elde edilen başarılı sonuçların ve edinilen deneyimlerin, 3B kent modellemesi konusunda yeni projelerin önünü açacağı değerlendirilmektedir.

KBB 3B Kent Rehberine, belediyenin WEB sayfasından ve http://88.255.225.19:9153/ WEB adresinden ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

Glander, T., Döllner, J., 2009, *Abstract representations for interactive visualization of virtual 3D city models*, Computers, Environment and Urban Systems, 33(5), 375-387

Marre, F., 2011, *Photogrammetry or LIDAR?*, GeoConnextion Geospatial, GIS, Spatial Technologies Magazine

Moser, J., Albrecht, F., Kosar, B., 2010, *Beyond visualisation–3D GIS analyses for virtual city models*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38(4), W15

OGC, 2012, *OGC City Geography Markup Language (CityGML)*, En-coding Standard, Ref. Num.: OGC 12-019

Singh, S. P., Jain, K., & Mandla, V. R., 2013, *Virtual 3D City modeling: Techniques and Applications*, ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1(2), 73-91

Yilmaz, E., Maras, H. H., Cetin, Y. Y., 2004, *Photo-Realistic Scene Generation for PC-Based Real-Time Outdoor Virtual Reality Applications*, Proceedings . XXth ISPRS Congress, Vol. XXXV, part B5, pp. 615-620