

# ÜÇ BOYUTLU BİNA MODELLERİ İÇİN OTOMATİK BİNA YÜZ DOKUSU ÇIKARIMI

E. Sümer<sup>1</sup>, M. Türker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Başkent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 06530, Ankara, [esumer@baskent.edu.tr](mailto:esumer@baskent.edu.tr)

<sup>2</sup> Hacettepe Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, [mturker@hacettepe.edu.tr](mailto:mturker@hacettepe.edu.tr)

## ÖZET

*Bu çalışmada, yerden çekilmiş bina fotoğraflarından otomatik olarak çıkarılan gerçekçi yüz dokularının üç boyutlu bina modelleri üzerine kaplanması gerçekleştirilmiştir. Test verisi olarak Ankara ili Batıkent yerleşim bölgesinden seçilen bir grup dörtgen şekilli bina kullanılmıştır. Geliştirilen yaklaşımın ilk adımı olarak çekilen fotoğrafların geometrik rektifikasyonu yapılmıştır. Daha sonra, geometrik rektifikasyonu yapılmış fotoğraflardan, görüntü bölütleme prensibine göre çalışan watershed algoritması tekrarlı olarak kullanılarak, bina yüz dokuları çıkarılmıştır. Son olarak, üç boyutlu bina modellerinin oluşturulması ve doku kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılmış olan bu çalışma ile sanal şehirlerin üretilmesine giden yolda önemli bir gelişme kaydedilmiştir.*

Anahtar Sözcükler: Görselleştirme, 3-Boyutlu Bina Modellemesi, Görüntü İşleme, Otomatik Doku Çıkarımı

## ABSTRACT

### AUTOMATED EXTRACTION OF BUILDING FACADE TEXTURES FOR 3-D BUILDING MODELS

*In this study, 3-d building models were mapped with the realistic facade textures, which were automatically extracted from the ground-level building photographs. A group of rectilinear buildings from Batıkent residential area, Ankara was used as the test data. The first step of the proposed approach was the geometric rectification of the building photographs. Then, an image segmentation based repetitive-watershed algorithm was utilized to extract the building facade textures from the rectified photographs. Finally, three dimensional building models were constructed and the texture mapping was performed. By this study, a considerable progress has been made towards the construction of the virtual cities.*

Keywords: Visualization, 3-D Building Modeling, Image Processing, Automated Texture Extraction

## 1. GİRİŞ

Bilgisayar sistemlerindeki yeni yazılım ve donanım teknolojileri ile paralel olarak gelişen simülasyon sistemleri bir çok yeni teknolojinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu teknolojilerden biri olan sanal gerçeklik kavramı günümüzde birçok alanda adından sıkça söz edilir hale gelmiştir. Sanal gerçeklik, bilgisayar tarafından yaratılan dinamik bir ortamla insanların iletişim kurmasını sağlayan üç boyutlu bir benzetim modeli olarak tarif edilebilir. Sanal gerçeklik uygulamalarının en önemlileri şüphesiz video oyunları ve eğlence dünyasıdır. Buna ek olarak eğitim, turizm, mimari ve arkeoloji gibi alanlarda da bu teknolojinin kullanımına sıkça rastlanmaktadır.

Son zamanlarda Coğrafi Bilgi Teknolojileri ile sanal gerçeklik teknolojisinin birarada kullanıldığı çeşitli uygulamalara sıkça rastlanmaktadır. Bunlardan en önemli olanı hiç şüphesiz sanal şehirlerdir. Sanal şehirlerde binalar, yollar, bitki örtüsü, arazi ve daha birçok objenin üç boyutlu katı modelleri yer alır. Bu modeller arasında gezinti ve uçuşlar yapılarak bir bölgenin farklı perspektiflerden görülebilmesi mümkün olmakla birlikte bazı objelere hareket kabiliyeti kazandırılarak çeşitli animasyonlar da yapılabilmesi mümkündür. Sanal şehirlerin gerçeğe en yakın bir biçimde oluşturulabilmesi için gerekli olan unsurlardan birisi de dokudur. Doku bilgisi hazır kütüphanelerden elde edilebileceği gibi ilgili nesneye ait fotoğraflardan veya çeşitli optik kayıt sistemlerinden de üretilebilir. Hazır kütüphanelerde yer alan dokular sanal olarak üretilmiş olup gerçeklikten daha uzaktır. Oysa diğer yolla elde edilen dokular kaplandıkları nesnelere üzerindeki gerçeklik hissini arttırmaktadır. Gerçek bina yüz dokularının elde edilmesi ve bina modellerine kaplanması konusunda literatürde yapılan birçok çalışmada veri toplama aşamasının ağırlıklı olarak yersel optik kayıt sistemleri ve lazer tarayıcılar (LIDAR) ile gerçekleştirildiği göze çarpmaktadır.

Yersel lazer tarayıcı kullanımı ile yapılan bir çalışmada bina yüz dokuları yüksek detay seviyesi ile gerçeğe çok yakın bir biçimde tespit edilmiş ve bina modelleri üzerine kaplanmıştır. Geliştirilen sistem bir mobil araç üzerine monte edilmiş olan lazer tarayıcı, optik kamera ve GPS alıcısından oluşmaktadır (Früh, vd., 2003). Bina yüz dokularının elde edildiği farklı bir çalışmada yüksek irtifaya sahip bir noktaya kurulan hareketli CCD tarayıcılar ile yüksek çözünürlüklü panoramik görüntüler elde edilmiştir. Daha sonra, bu görüntüler elle kırılarak doku bilgisi oluşturulmuş ve bina modelleri üzerine kaplanmıştır (Haala, vd., 2005). Tsai, vd., (2006) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada,

video görüntüleri kullanılarak gerçekçi bina yüz dokularının çıkarımı ve bina modellerine kaplanması sağlanmıştır. Video çerçevelerinden elde edilen çoklu görüntüler sayesinde bina yüz dokusunu engelleyen nesnelere belirli ölçülerde ortadan kaldırılmıştır. Yerden çekilmiş yüksek çözünürlüklü fotoğrafların kullanıldığı bir diğer çalışmada, bina yüz dokusu kenar tespitine dayalı bir yaklaşımla elde edilmiştir. Buna göre, önce bina duvar dokusu bulunmuş ardından diğer objelerin (pencere, kapı, vs) yerleri tespit edilerek duvar dokusu üzerinde yapılandırılmıştır (Laycock, vd., 2007). Tsai, vd., (2007) tarafından yapılan benzer bir çalışmada bina yüzlerinin gerçeğe yakın dokularla kaplanması amaçlanmıştır. Bu dokuların elde edilmesinde yerden çekilmiş yakın mesafeli dijital fotoğraflardan faydalanılarak bina modelleri yarı-otomatik bir yaklaşımla kaplanmıştır. Yakın bir zamanda David (2008) tarafından yapılan bir başka çalışmada, bina doku bilgisi tek bir yersel görüntüden otomatik olarak çıkarılmıştır. Geliştirilen yaklaşımda, görüntü üzerindeki çizgi ve bina köşe noktaları RANSAC kestirim algoritması ile belirlenerek kesişim ve kümeleme yöntemleriyle bina yüz dokusu tespit edilmektedir. Yerden eğik olarak çekilmiş dijital fotoğraflardan bina yüz dokularını çıkaran ve bina modelleri üzerine kaplayan bir başka çalışmada dokular yarı-otomatik bir yaklaşımla elde edilmiştir. Yapılan eğik çekim, fotoğraf sayısını azaltmakta ancak elde edilen dokunun geometrisinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, doku görüntüleri üzerinde ekstra bir geometrik düzeltme işlemi yapılmıştır (Tan, vd., 2008). Yapılan başka bir çalışmada ise, bina yüz dokusu yerden çekilmiş çoklu fotoğraflardan çıkarılmıştır. Bu sayede, farklı bakış açıları kullanılarak doku bilgisini kısıtlayıcı engellerin (ağaç, araba, direk) ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Oluşturulan dokular üç boyutlu bina modelleri üzerine kaplanmıştır (Poullis, vd., 2008).

Bu çalışmanın temel amacı, otomatik olarak elde edilen gerçekçi bina yüz dokuları ile üç boyutlu bina modellerinin kaplanmasıdır. Ankara ili, Batıkent yerleşim bölgesinden seçilmiş olan bir grup binanın yerden çekilmiş dijital fotoğrafları çalışmanın veri kaynağını teşkil etmektedir. Halen geliştirilmekte olan yaklaşımın gelinen aşamasında, dörtgen şeklindeki binaların yüz dokusu otomatik olarak çıkarılmakta ve oluşturulan bina modelleri üzerine kaplanmaktadır. Doku çıkarımı işlemi, watershed bölütleme algoritmasının tekrarlı kullanımı ile MATLAB ortamında gerçekleştirilirken, model oluşturma ve doku kaplaması işlemleri Sanal Gerçeklik Modelleme Dili (VRML) ile gerçekleştirilmiştir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Ankara'nın Batıkent yerleşim bölgesinden seçilen bir grup bina test verisi olarak kullanılmıştır. Batıkent Türkiye'de kooperatifler yoluyla yapılmış en büyük toplu konut projesidir. Proje 1979 yılında bir sosyal konut projesi olarak çarpık kentleşme sorununa çözüm getirmesi amacıyla başlatılmış ve zaman içerisinde çeşitli değişikliklere uğrayarak bugünkü halini almıştır. Batıkent, konum olarak Ankara'nın batısında 1000 hektarlık bir alan üzerinde kuruludur. Bölge, planlı ve düzenli bir gelişmeye sahip olmasıyla birlikte değişik amaçlara hizmet eden birçok farklı türde binayı da barındırmaktadır. Binaların geometrik şekilleri de kullanıma paralel olarak çeşitlilik arz etmektedir.

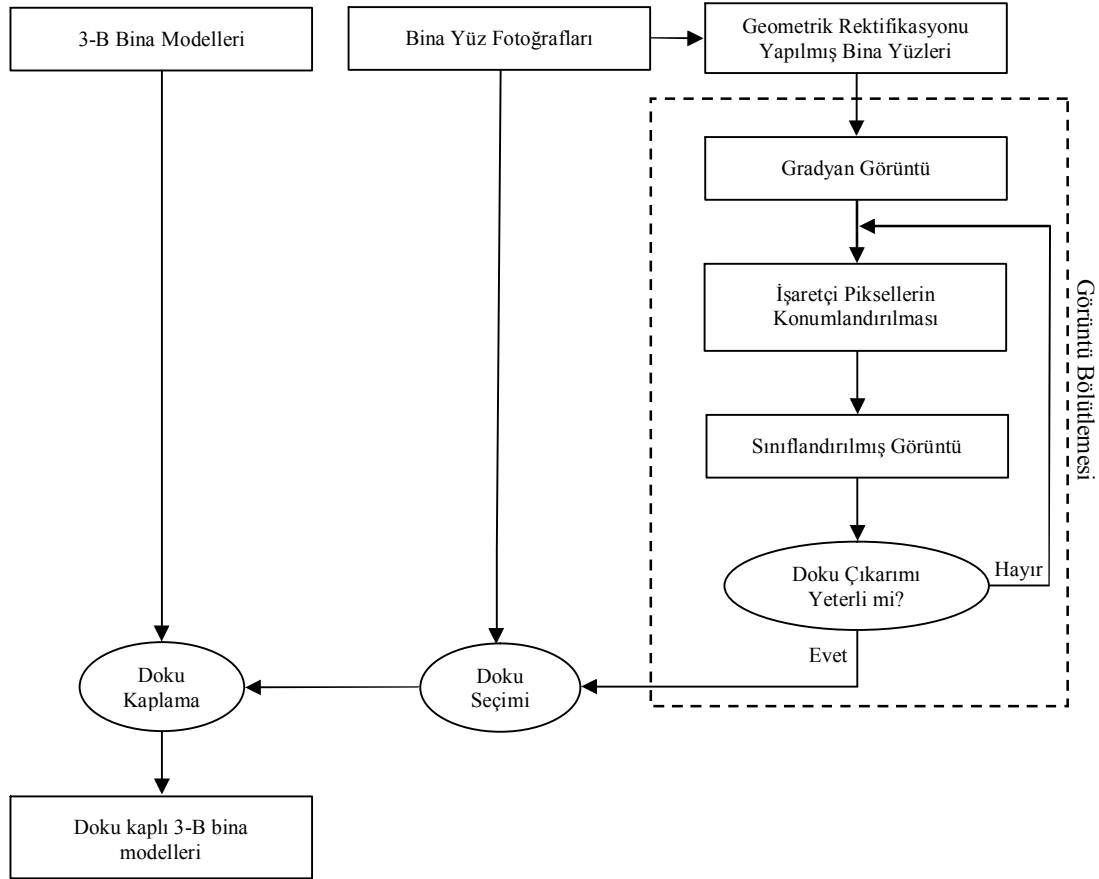
Bu çalışmada kullanılan temel veri kaynağı bölgede bulunan binaların tek bir cepheden çekilmiş yersel dijital fotoğraflarıdır. Bu fotoğraflar 3x optik zum, 5x dijital zum ve 5 megapiksel çözünürlüğe sahip Samsung S-500 dijital fotoğraf makinesi ile açık bir havada çekilmiştir. Veri kümesi dahiline çekilmiş bina fotoğraflarından bazıları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Veri kümesinde yer alan bazı bina fotoğrafları

### 3. GELİŞTİRİLEN YAKLAŞIM

Bina yüz dokularının çıkarılması ve üç boyutlu bina modelleri üzerine kaplanması için geliştirilen yaklaşımın temel işlem adımları Şekil 2’te verilmiştir.



Şekil 2: Geliştirilen yaklaşımın işlem adımları

#### 3.1 Görüntü Rektifikasyonu

Bina yüz görüntülerinin elde edilmesi sırasında fotoğraf makinesinin hedef objeye dik açılı bir pozisyonda tutulamamasına bağlı olarak farklı doğrultularda geometrik bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca, yüksek binaların yakın mesafeden görüntülenmesine bağlı olarak bir takım perspektif hatalar ortaya çıkmaktadır. Görüntü bölütlemesinin daha doğru yapılabilmesi ve elde edilen dokuların bina modelleri üzerine daha düzgün bir biçimde kaplanabilmesi için bu hataların düzeltilmesi gerekmektedir. Bunun için, çekilen bina yüzü fotoğraflarına izdüşümsel dönüşüm (projective transformation) uygulanarak hataların asgari düzeye indirgenmesi sağlanmıştır. Bu işlem için kullanıcı orijinal görüntü üzerinde belirli sayıda bağlantı noktası (tie point),  $((X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots (X_k, Y_k))$  belirler. Daha sonra, bu noktaların ilişkilendirileceği yeni noktalar  $((X'_1, Y'_1), (X'_2, Y'_2), \dots (X'_k, Y'_k))$  aynı görüntü üzerinde belirlenerek dönüşüm matrisi oluşturulur. Elde edilen dönüşüm matrisi orijinal görüntü ile çarpıldıktan sonra 'Küçük Konvolüsyon' yöntemi ile yeniden örneklenir. Şekil 3'te bir örnek binanın geometrik rektifikasyonu yapılmadan önceki ve sonraki görüntüleri verilmiştir.

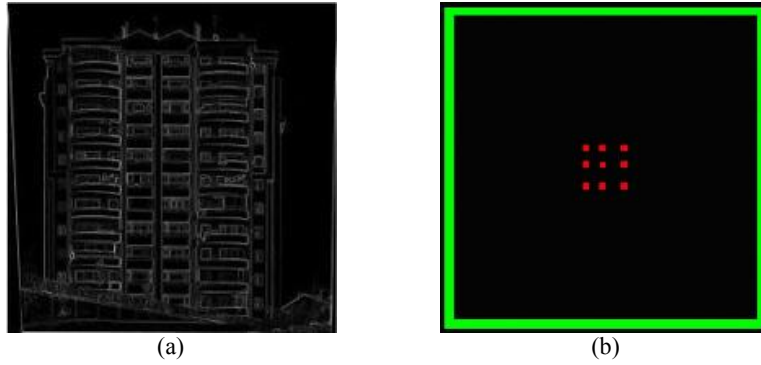


Şekil 3: Örnek bir binanın (a) geometrik rektifikasyonu yapılmadan önceki ve (b) yapıldıktan sonraki görüntüleri

### 3.2 Görüntü Bölütlemesi

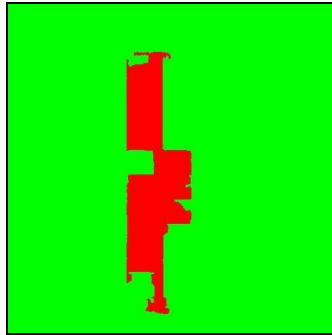
Geometrik rektifikasyonu yapılan bina fotoğrafları, “Görüntü Bölütlemesi” bileşenine girdi olarak verilir. Bölütleme işlemindeki temel amaç, görüntü üzerindeki bir objenin arka plandan ayrıştırılarak ortaya çıkarılmasıdır. Görüntü bölütleme algoritmaları eşikleme, kenar tespiti, bölge çıkarımı gibi farklı yaklaşımları temel alır. Bu çalışmada, bina yüz dokusunun arka plandan (gökyüzü, komşu binalar, vs) ayrımının yapılabilmesi için watershed bölütleme algoritması tekrarlı bir şekilde kullanılmıştır. Watershed, bölge çıkarımı temeline dayanan bir görüntü işleme algoritması olup topoğrafya biliminde yer alan su bölümü çizgileri ve su kaynağı havzası kavramlarını temel almaktadır (Beucher vd. 1992).

Watershed algoritmasının ilk adımı olarak görüntünün gradyan bilgisi elde edilir. Bu bilgi, piksel değerleri arasındaki değişimin görüntünün birinci türevi alınarak hesaplanması ile elde edilir (Şekil 4a). Bir sonraki adımda, görüntü bölütlemesinin başlatılabilmesi için gerekli olan işaretçi pikseller belirlenir. Görüntü bölütleme işleminin doğru bir yönde ilerleyebilmesi için, hedeflenen her bir sınıfa ait farklı işaretçi piksellere ihtiyaç duyulur. Bu piksellerin konumları ve sayıları bölütlemenin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, tekrarlı olarak çalıştırılacak olan watershed algoritmasının kullanacağı başlangıç işaretçi piksellerin sayısı ve görüntü üzerindeki konumları otomatik olarak belirlenmiştir. Şekil 4b’de gösterilen şablona göre, bina yüzünün belirlenmesi için kullanılacak olan kırmızı pikseller bina yüzünün çekilen fotoğrafın merkezinde yer alacağı varsayımına göre konumlandırılmıştır. Benzer şekilde arka planın belirlenmesi için kullanılacak olan yeşil piksellerin konumları ise arka plan objelerinin fotoğrafın kenar bölgelerinde yoğunlaştığı varsayımına göre belirlenmiştir. Şablonda yer alan işaretçi piksellerin sayıları, farklı test sonuçlarına göre sabit birer sayı olarak belirlenmiştir.



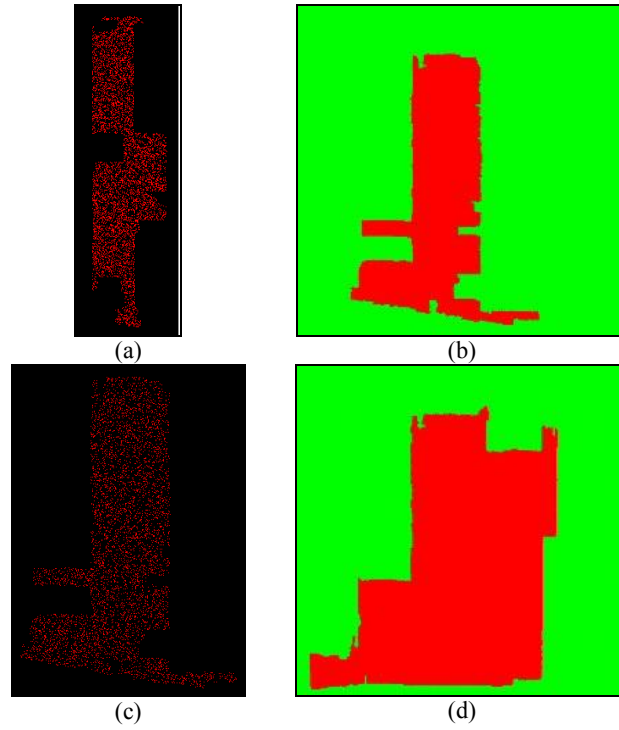
Şekil 4: Bir bina yüzü için oluşan gradyan görüntü ve başlangıç işaretçi piksel şablonu

Görüntü bölütleme işleminin son adımında, işaretçi pikseller gradyan görüntü üzerine yerleştirilir ve alan büyüme prensibine göre yayılarak iki sınıflı bir görüntü elde edilir. Bu sınıflar bina yüzünü (kırmızı) ve arka planı (yeşil) temsil ederler (Şekil 5).



Şekil 5: Watershed algoritmasının bir defa çalıştırılması sonucunda elde edilen ikili görüntü

Ancak, şekilde de görüldüğü üzere, başlangıçta belirlenen işaretçi piksel şablonuna göre watershed algoritmasının bir defa çalıştırılması bina yüzlerini çıkarmada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, algoritmanın tekrarlı olarak çalıştırılması fikri oluşmuştur. Buna göre, algoritmanın birinci çıktısında yer alan bina yüzüne ait (kırmızı) bölgelerin içerisine belli miktarda işaretçi pikselin gelişigüzel olarak atanması sağlanarak ikinci çıktı elde edilir. İkinci çıktı için de aynı işlemler tekrarlanır ve bu döngü, çıktı görüntüsünün istenilen bir düzeye gelmesi sağlanana kadar tekrar ettirilir. Aşağıdaki şekilde, birinci çıktının sonuçlarına göre üretilen yeni işaretçi piksellerin konumları (Şekil 6-a) ve bu işaretçi piksellerin oluşturduğu ikinci çıktı (Şekil 6-b); benzer şekilde, ikinci çıktıya bağlı olarak üretilen yeni işaretçi piksellerin konumları (Şekil 6-c) ve bu işaretçi piksellerin oluşturduğu üçüncü çıktı görülmektedir (Şekil 6-d).

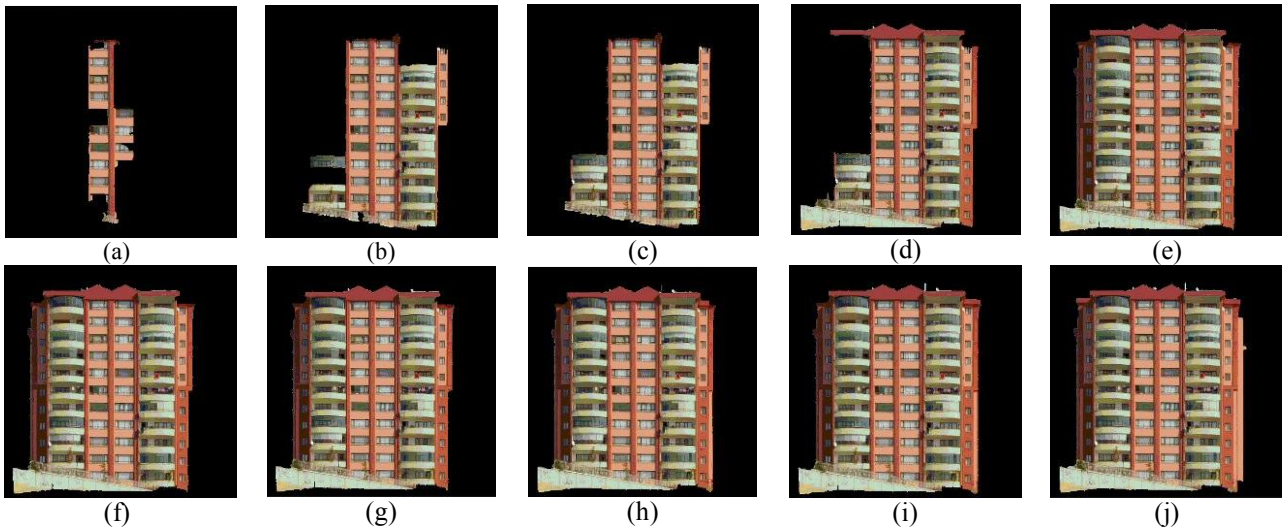


Şekil 6: Algoritmanın ikinci tekrarında belirlenen (a) yeni işaretçi piksellerin konumları ve (b) elde edilen ikinci çıktı; algoritmanın üçüncü tekrarında belirlenen (c) yeni işaretçi piksellerin konumları ve (d) elde edilen ikinci çıktı

Geliştirilen bu tekrarlı yöntemle göre, bir sonraki adımda üretilecek çıktının bir öncekine göre eşit veya daha fazla miktarda bina pikseli üretebileceği görülmektedir. Algoritmanın sonlandırılması için belirlenen tekrarlama sayısı 10, her bir tekrar için yeni üretilen işaretçi piksel sayısı ise yapılan farklı testler sonucunda 5000 olarak belirlenmiştir.

### 3.3 Doku Seçimi

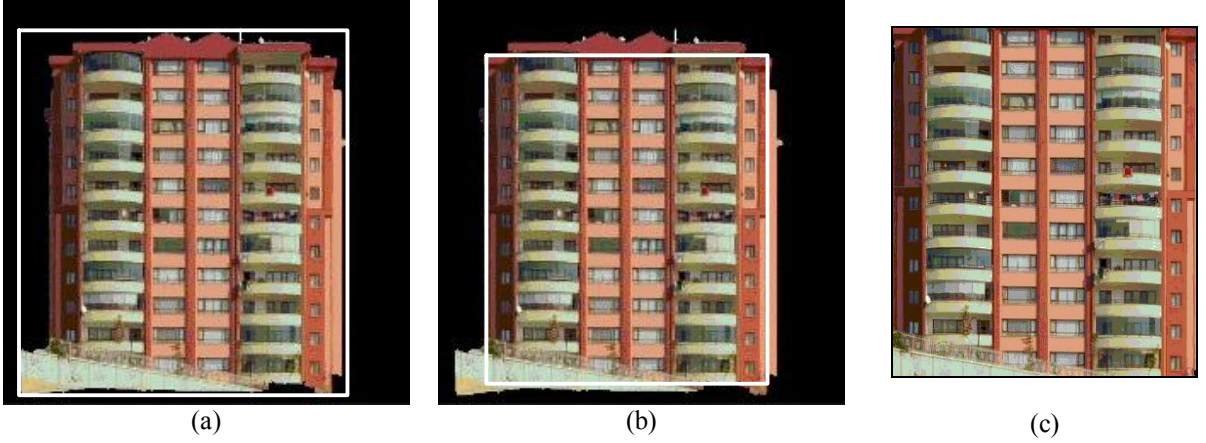
Watershed algoritmasının tekrarlı olarak uygulanması sonucu oluşan iki sınıflı görüntü, geometrik rektifikasyon işlemi yapılmış bina fotoğrafı ile karşılaştırılarak kırmızı renk ile belirlenmiş bölgenin altında kalan bina yüz dokusunun seçimi yapılır. Yeşil bölgenin altında kalan kısım ise gerçek görüntü üzerinde 0 değeri atanarak silinir. Algoritmanın her bir tekrarında üretilen iki sınıflı görüntülerin maske olarak kullanılması sonucunda elde edilen bina yüzleri Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7: Algoritmanın (a) 1., (b) 2., (c) 3., (d) 4., (e) 5., (f) 6., (g) 7., (h) 8., (i) 9. ve (j) 10. tekrarlarında elde edilen bina yüzleri

Elde edilen bina yüz dokularının dörtgen yüzeyli üç boyutlu bina modelleri üzerine kaplanabilmesi için doku parçalarının da dörtgen şekle getirilmesi gerekmektedir. Bunun için, seçilen bina yüz dokusu içerisinde kalan en büyük alanlı dörtgenin bulunması gerekmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen basit bir algoritma sayesinde seçilen dokuyu

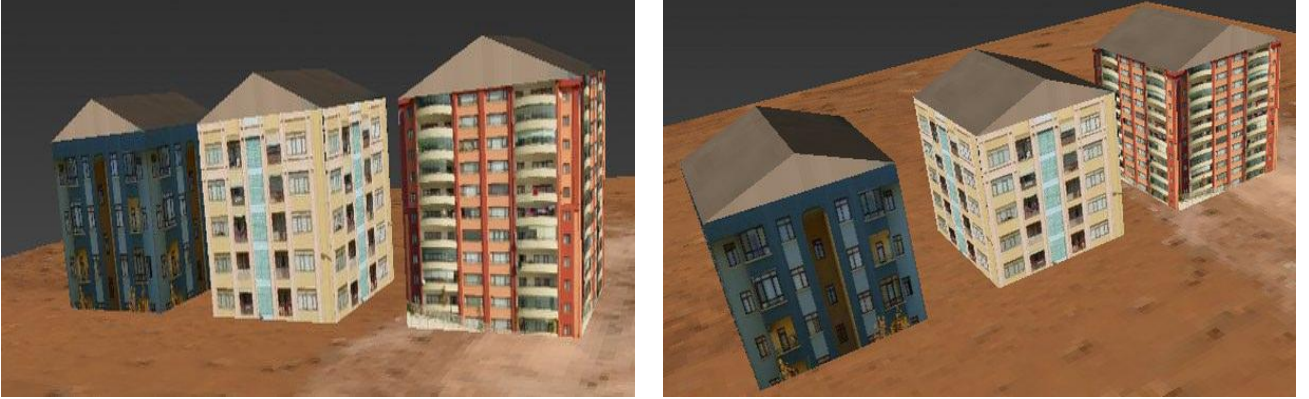
çevreleyen en küçük dörtgen çerçeve bulunur (Şekil 8-a). Bu çerçeve, dört kenarından belirli oranlarda içe doğru daraltılır (Şekil 8-b). Bu işlem, çerçevenin içerisinde herhangi bir arka plan pikseli kalmayınca dek devam ettirilir ve sonrasında bu çerçeve içerisinde kalan bölge otomatik olarak kesilerek doku deseni elde edilmiş olur (Şekil 8-c).



Şekil 8: Dörtgen şeklindeki dokuların elde edilmesi

### 3.4 Doku Kaplaması

Elde edilen doku desenleri, birbirlerine özdeş gelişigüzel üretilmiş bina modelleri üzerine kaplanmıştır. Dokunun kaplanması, VRML ortamında otomatik olarak dokunun yüzey üzerine yayılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Bina modelleri, kullanıcı tarafından girilen en, boy ve yükseklik parametreleri ile oluşturulmuştur. Bina çatıları ise üçgen prizma şeklinde, yapay bir doku ile kaplanarak gelişigüzel olarak üretilmiş ve bina modelleriyle birleştirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9: Özdeş bina modelleri üzerine kaplanmış dokuların iki farklı açıdan görünümü

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada, dörtgen şeklindeki binaların yüz dokularının otomatik olarak tespiti ve 3-B bina modelleri üzerine kaplanması için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, Ankara ili, Batıkent yerleşim bölgesinden seçilen düzgün dörtgen şekilli binalar üzerinde test edilmiştir. Yaklaşımın temel adımları; çekilen bina yüz fotoğraflarının geometrik rektifikasyonu, görüntü bölütleme, doku seçimi ve doku kaplaması olarak sıralanabilir. Geometrik rektifikasyon, görüntü bölütlemesi ve doku seçimi işlemleri MATLAB programlama dili ile gerçekleştirilmiştir. 3-B bina modellemesi ve elde edilen dokuların kaplanması işlemleri ise VRML ortamında yapılmıştır.

Önerilen yöntemde, watershed bölütleme algoritmasının tekrarlamalı bir biçimde kullanılması ile doku bilgisinin daha verimli bir şekilde çıkarılabileceği görülmüştür. Ayrıca, dörtgen şeklindeki binaların dokularının elde edilmesinde de otomatik bir yaklaşım kullanılmıştır. Öte yandan, bina fotoğraflarının geometrik rektifikasyonu, bina modellemesi ve doku kaplaması işlemleri kullanıcı destekli yarı-otomatik yöntemlerle gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma, 3-B sanal şehir modellerinin oluşturulmasında önemli bir adım olan gerçekçi bina yüz dokularının yüksek çözünürlüklü ve hızlı bir biçimde elde edilmesi bakımından önem arz etmektedir. Bina yüz fotoğraflarına uygulanan geometrik rektifikasyon işlemi sayesinde hem çekim kaynaklı bir takım hatalar (kamera sisteminin konumu,

çekim açısı, vs) hem de görüntü bölütleme sırasında yaşanabilecek bazı sorunlar asgari düzeye indirgenmiştir. Yaklaşımın bir takım kısıtlarının olduğu da söylenebilir. Örneğin, verinin elde edilmesinde, bina yüzlerinin başka objeler (ağaç, elektrik direği, araba, vs) tarafından kapatılması durumunda bu objeler de dokunun bir parçası olarak model üzerinde görünmektedir.

## KAYNAKLAR

- Beucher, S. and Meyer, F., 1992. *The morphological approach of segmentation: the watershed transformation*. In: *Mathematical Morphology in Image Processing*, E. Dougherty, Ed., Marcel Dekker, pp: 433–481.
- David, P., 2008. *Detection of Building Facades in Urban Environments*. *Proceedings of SPIE*, Vol. 6978, pp: 139-148.
- Früh, C., Zakhor, A., 2003. *Constructing 3D City Models by Merging Aerial and Ground Views*. *IEEE Transactions on Computer Graphics and Applications*, Vol. 23(6), pp: 52-61.
- Haala, N., Kada, M., 2005. *Panoramic Scenes for Texture Mapping of 3D City Models*. *Proceedings of ISPRS WG V/5 'Panoramic Photogrammetry Workshop'*, Berlin, Germany.
- Laycock, R.G., Ryder, G.D.G., Day, A.M., 2007. *Automatic Generation, Texturing and Population of a Reflective Real-Time Urban Environment*. *Computers and Graphics*, Vol. 31, pp: 625-635.
- Poullis, C., You, S., Neumann, U., 2008. *Rapid Creation of Large-scale Photorealistic Virtual Environments*. *Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference (VR'08)*, Vol. 153-160, Reno, Nevada, Usa.
- Tan, Y.K.A., Kwok, L.K., Ong, S.H., 2008. *Large Scale Texture Mapping of Building Facades*. *Proceedings of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS'08) Congress*, Beijing, China.
- Tsai, F., Lin, H.C., 2007. *Polygon-based Texture Mapping for Cyber City 3D Building Models*. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21(9), pp: 965-981.
- Tsai, F., Liu, J-K., Hsiao, K-H., 2006. *Morphological Processing of Video for 3-D Building Model Visualization*. *Proceedings of 27<sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2006)*, Ulaanbaatar, Mongolia.